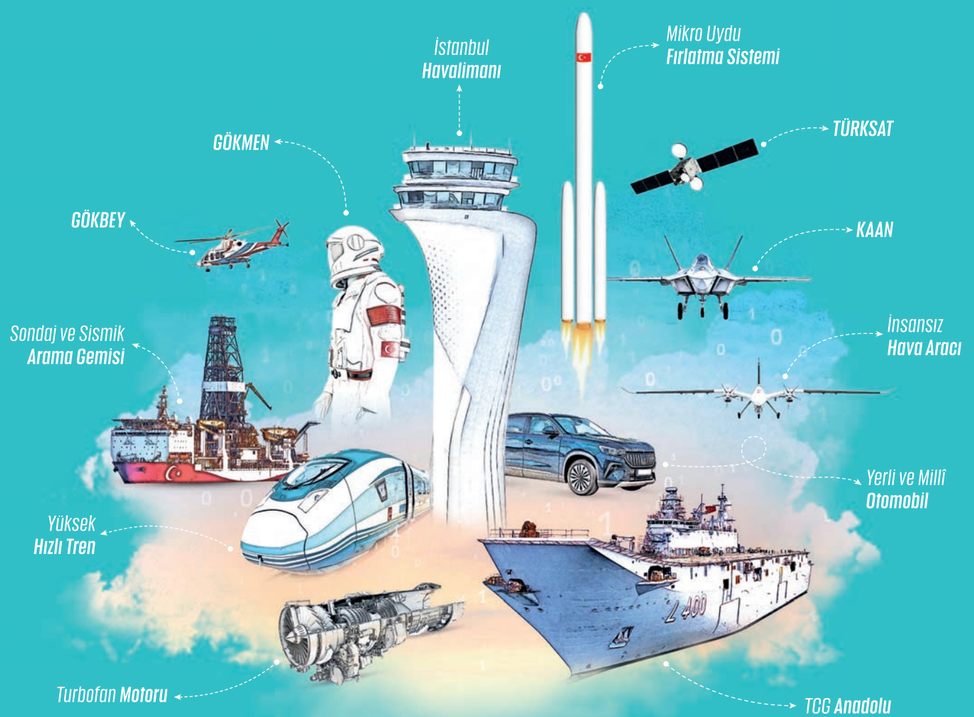
Bu kitaba sığmayan daha neler var!

eba
www.eba.gov.tr

Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!

Teknoloji Yolculuğumuz



BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.

ISBN: 978-975-11-8830-4

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşıması Zorunlu Değildir.

İNŞAAT TEKNOLOJİSİ ALANI **SANAT YAPILARI 11-12** DERS MATERYALİ

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

İNŞAAT TEKNOLOJİSİ ALANI

SANAT YAPILARI

11
12

DERS MATERYALİ

MEB__ 212800__SANAT YAPILARI 11-12 (İnşaat Teknolojisi)__21X29,7

MEB__ 212800__SANAT YAPILARI 11-12 (İnşaat Teknolojisi)__21X29,7

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

İNŞAAT TEKNOLOJİSİ ALANI

SANAT YAPILARI

11-12

DERS MATERYALİ

Yazarlar

CESUR ALTUNTAŞ

FATİH YILDIRIM

ÖZER ŞARKOĞLU

SAFFET YÜCE

SUAT ARIK

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI ..... : 9929
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ ..... : 3381

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Ders Materyalinin metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

DİL UZMANI
KORAY GÜNGÖR

PROGRAM GELİŞTİRME UZMANI
SEÇKİN SEÇİL BAŞARAN

ÖLÇME DEĞERLENDİRME UZMANI
FATMA YILMAZ

REHBERLİK UZMANI
DAVUT ŞENYÜREK

GÖRSEL TASARIM UZMANI
ALKIN TÜRKMEN

ISBN: 978-975-11-8830-4

Millî Eğitim Bakanlığının 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.

BASKI
Ayrıntı Basım Yayım ve Mat. Hiz. Sanayi Ticaret A.Ş.
Saray Mahallesi 126. Cadde No: 20
Kahramankazan/Ankara
Sertifika No: 49599

İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

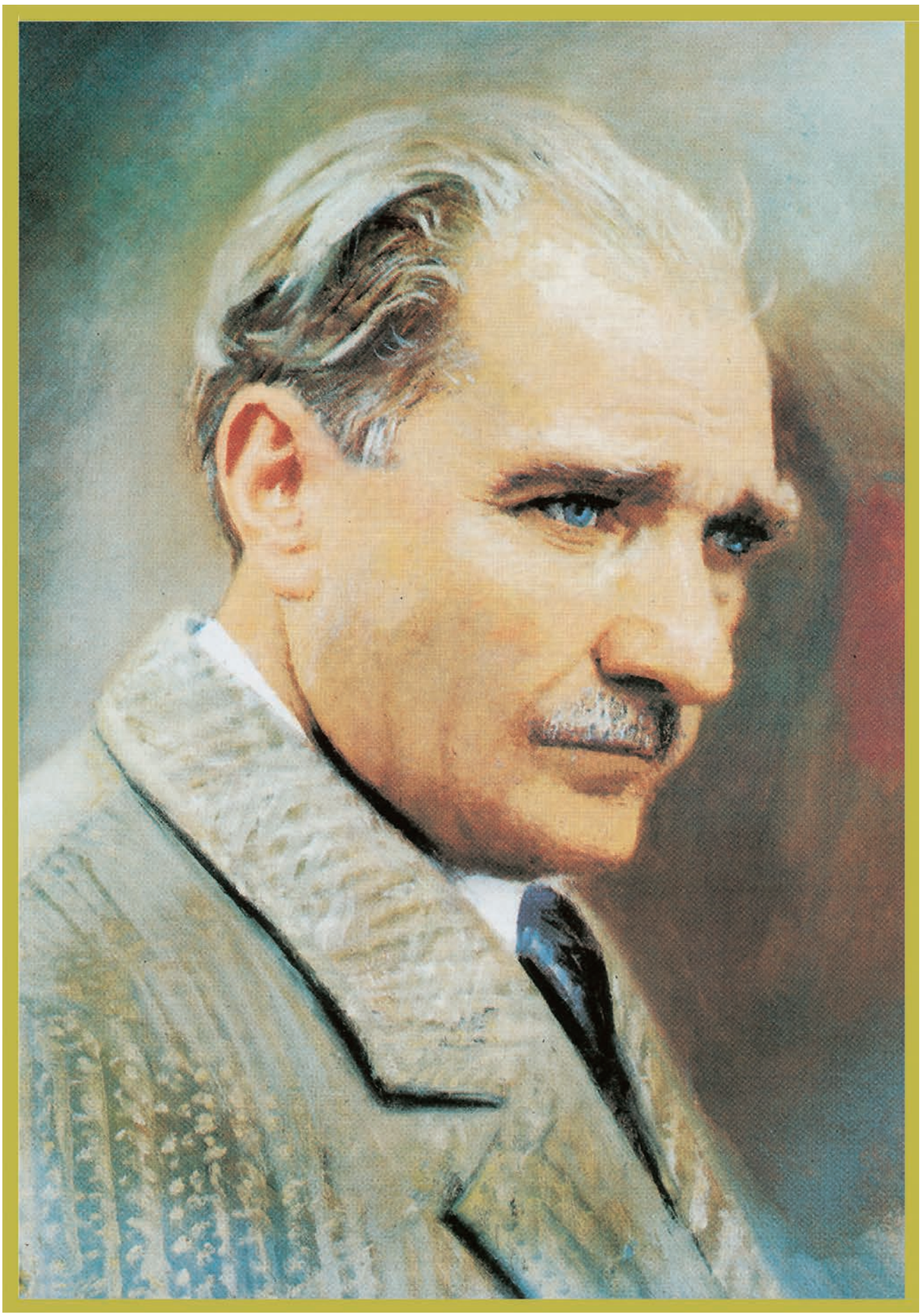
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

Ders Materyalinin Tanıtımı.....15

BÜZ VE MENFEZLER — 1. ÖĞRENME BİRİMİ

1.1. BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER.....22

1.1.1. Büz ve Menfez Çeşitleri.....**23**

1.1.2. Büz ve Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi.....**26**

1.2. UYGULAMA: BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER.....28

1.3. KÖPRÜ MENFEZLER.....30

1.3.1. Köprü Menfez Çeşitleri.....**31**

1.3.2. Köprü Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi.....**32**

1.4. UYGULAMA: KÖPRÜ MENFEZLER.....34

1.5. KUTU MENFEZLER.....36

1.5.1. Kutu Menfez Çeşitleri.....38

1.5.2. Kutu Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi.....39

1.6. UYGULAMA: KUTU MENFEZLER.....40

1.7. KEMERLİ MENFEZLER.....42

1.7.1. Kemerli Menfez Çeşitleri.....43

1.7.2. Kemerli Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çimlerinin İncelenmesi.....44

1.8. UYGULAMA: KEMERLİ MENFEZLER.....46

1.9. TABLİYELİ MENFEZLER.....48

1.9.1. Tabliyeli Menfez Çeşitleri.....49

1.9.2. Tabliyeli Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi.....50

1.10. UYGULAMA: TABLİYELİ MENFEZLER.....51

1. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI.....53

YAPILDIKLARI MALZEMEYE GÖRE KÖPRÜLER — 2. ÖĞRENME BİRİMİ

2.1. AHŞAP KÖPRÜLER.....58

2.1.1. Yapıldıkları Malzemeye Göre Köprü Çeşitleri.....58

2.1.2. Ahşap Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi.....59

2.1.3. Ahşap Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi.....61

2.2. UYGULAMA: AHŞAP KÖPRÜLER.....65

2.3. KÂGİR KÖPRÜLER.....67

2.3.1. Kâgir Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi.....67

2.3.2. Kâgir Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi.....72

2.4. UYGULAMA: KÂGİR KÖPRÜLER.....76

2.5. ÇELİK KÖPRÜLER....78
2.5.1. Çelik Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**79**
2.5.2. Çelik Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**80**
2.6. UYGULAMA: ÇELİK KÖPRÜLER....88
2.7. BETONARME KÖPRÜLER....90
2.7.1. Betonarme Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**90**
2.7.2. Betonarme Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**91**
2.8. UYGULAMA: BETONARME KÖPRÜLER....94
2. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI....96

KEMERLER VE KEMERLERİ OLUŞTURAN ELEMANLAR — 3. ÖĞRENME BİRİMİ

3.1. KEMER KÖPRÜLER....102
3.1.1. Taşıyıcı Sistemlerine Göre Kemer Köprü Çeşitleri....**103**
3.1.1.1. Mesnet Durumlarına Göre Kemer Köprüler....**103**
3.1.1.2. Tabliye Konumuna Göre Kemer Köprüler....**104**
3.1.2. Kemer Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**105**
3.1.2.1. Hitit Dönemi....**106**
3.1.2.2. Roma Dönemi....**107**
3.1.2.3. Bizans Dönemi....**108**
3.1.2.4. Selçuklu Dönemi....**109**
3.1.2.5. Osmanlı Dönemi....**110**
3.1.2.6. Cumhuriyet Dönemi....**111**
3.1.3. Kemer Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**112**
3.1.3.1. Kemer Köprü Temel Yapım Sistemi....**113**
3.1.3.2. Köprü Kemeri Yapımı....**114**
3.1.3.3. Kemer Köprü Tempan Duvarı Yapımı....**115**
3.1.3.4. Kemer Köprü Tabliyesi Yapımı....**115**
3.2. UYGULAMA: KEMER KÖPRÜLER....116
3.3. KİRİŞLİ KÖPRÜLER....118
3.3.1. Kirişli Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**118**
3.3.2. Kirişli Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**118**
3.4. UYGULAMA: KİRİŞLİ KÖPRÜLER....122
3.5. KAFES SİSTEMLİ KİRİŞLİ KÖPRÜLER....124
3.5.1. Kafes Sistemli Kirişli Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**125**
3.5.2. Kafes Sistemli Kirişli Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**125**
3.6. UYGULAMA: KAFES SİSTEMLİ KİRİŞLİ KÖPRÜLER....128
3.7. KONSOL KÖPRÜLER....130
3.7.1. Konsol Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**132**
3.7.2. Konsol Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**132**

3.8. UYGULAMA: KONSOL KÖPRÜLER....134

3.9. ASMA KÖPRÜLER....138

3.9.1. Asma Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**138**

3.9.2. Asma Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**141**

3.10. UYGULAMA: ASMA KÖPRÜLER....143

3.11. KABLO GERGİLİ KÖPRÜLER....145

3.11.1. Kablo Gergili Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**145**

3.11.2. Kablo Gergili Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**146**

3.12. UYGULAMA: KABLO GERGİLİ KÖPRÜLER....151

3. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI....153

KULLANIM AMACINA GÖRE KÖPRÜLER — 4. ÖĞRENME BİRİMİ

4.1. DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ....158

4.1.1. Taşıyıcı Sistemlerine Göre Kemer Köprü Çeşitleri....**158**

4.1.2. Demiryolu Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**158**

4.1.3. Demiryolu Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**163**

4.2. UYGULAMA: DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ....166

4.3. KARAYOLU KÖPRÜLERİ....168

4.3.1. Karayolu Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**168**

4.3.2. Karayolu Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**172**

4.4. UYGULAMA: KARAYOLU KÖPRÜLERİ....177

4.5. YAYA KÖPRÜLERİ....179

4.5.1. Kafes Sistemli Kirişli Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**179**

4.5.2. Yaya Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**182**

4.6. UYGULAMA: YAYA KÖPRÜLERİ....184

4.7. BORU HATTI KÖPRÜLERİ....186

4.7.1. Boru Hattı Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**187**

4.7.2. Boru Hattı Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**187**

4.8. UYGULAMA: BORU HATTI KÖPRÜLERİ....193

4.9. YÜK TAŞIMA AMAÇLI KÖPRÜLER....195

4.9.1. Yük Taşıma Amaçlı Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**195**

4.9.2. Yük Taşıma Amaçlı Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**197**

4.10. UYGULAMA: YÜK TAŞIMA AMAÇLI KÖPRÜLER....199

4.11. SU KEMERİ KÖPRÜLERİ....201

4.11.1. Su Kemeri Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi....**201**

4.11.2. Su Kemeri Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi....**204**

4.12. UYGULAMA: SU KEMERİ KÖPRÜLERİ....205

4.13. VİYADÜKLER.....207
4.13.1. Viyadükler ve Kullanım Amaçları.....**207**
4.13.2. Viyadüklerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi.....**209**
4.14. UYGULAMA: VİYADÜKLER.....210
4. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI.....212

TÜNELLER — 5. ÖĞRENME BİRİMİ

5.1. TÜNEL YAPIM TEKNİKLERİ.....216
5.1.1. Tünel İnşasında Zemin Özelliklerinin Plan ve Raporlar Üzerinden İncelenmesi.....**218**
5.1.1.1. Tünellerde Geoteknik Modelleme.....**226**
5.1.2. Tünellerde Stabilite, Deplasman Analizleri ve Proje Çizimleri.....**233**
5.1.3. Yumuşak Zemin Ortamında Tünel Açılması.....**236**
5.1.4. Kaya Ortamında Tünel Açılması.....**237**
5.1.5. Tünel Yapım Tekniklerinin İncelenmesi.....**237**
5.2. UYGULAMA: TÜNEL YAPIM TEKNİKLERİ.....244
5.3. TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ VE YÖNTEMLERİ.....246
5.3.1. Tünel Açma Makineleri.....**246**
5.3.1.1. Yarım Kesit (Parçalı) Tünel Açma Makineleri.....**247**
5.3.2. Tünel Kazı Yöntemleri.....**249**
5.3.3. Tünel Açmada Kullanılan Yöntemler.....**252**
5.4. UYGULAMA: TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ VE YÖNTEMLERİ.....266
5.5. TÜNEL GALERİLERİ VE TÜNELLERDE GÜVENLİK YOLLARI.....268
5.5.1. Tünel ve Galeri İnşasında Alınması Gereken Güvenlik Önlemleri.....**269**
5.5.2. Tünel ve Tünel Galerilerinin Güvenli İnşası.....**270**
5.5.3. Tünel Galeri ve Tünel Güvenlik Yollarının Belirlenmesi.....**272**
5.6. UYGULAMA: TÜNEL GALERİLERİ VE TÜNELLERDE GÜVENLİK YOLLARI.....275
5.7. TÜNELLERDE HAVALANDIRMA.....277
5.7.1. Tünel Havalandırmaları.....**277**
5.7.2. Tünel Havalandırma Planlaması.....**278**
5.8. UYGULAMA: TÜNELLERDE HAVALANDIRMA.....283
5. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI.....285

KULLANIM AMACINA GÖRE GEÇİTLER — 6. ÖĞRENME BİRİMİ

6.1. YAYA ALT GEÇİTLERİ (TÜNEL TİPİ).....294
6.1.1. Yaya Alt Geçitleri ve Kullanım Amaçları.....**294**
6.1.2. Yaya Alt Geçitlerinin Çevresel Şartlara ve Planlara Göre İncelenmesi.....**295**
6.2. UYGULAMA: YAYA ALT GEÇİTLERİ (TÜNEL TİPİ).....299

6.3. YAYA ÜST GEÇİTLERİ (YAYA KÖPRÜLERİ)....301
6.3.1. Yaya Üst Geçitleri ve Kullanım Amaçları....**301**
6.3.2. Yaya Üst Geçitlerinin Çevresel Şartlara ve Planlara Göre İncelenmesi....**302**
6.4. UYGULAMA: YAYA ÜST GEÇİTLERİ (YAYA KÖPRÜLERİ)....305
6. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI....307

YAPILDIKLARI MALZEMEYE GÖRE GEÇİTLER — 7. ÖĞRENME BİRİMİ

7.1. BETONARME ALT GEÇİTLER....312
7.1.1. Betonarme Alt Geçit Yapım Teknikleri....**312**
7.1.2. Betonarme Alt Geçitlerin Planlar Doğrultusunda İncelenmesi....**313**
7.2. UYGULAMA: BETONARME ALT GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI....316
7.3. BETONARME ÜST GEÇİTLER....318
7.3.1. Betonarme Üst Geçit (Yaya Köprüsü) Yapım Teknikleri....**318**
7.3.2. Betonarme Yaya Köprüleri (Yaya Üst Geçitleri) Farklı Tasarım Örnekleri ve Yapım Teknikleri....**320**
7.3.3. Betonarme Üst Geçitlerin Planlar Doğrultusunda İncelenmesi....**323**
7.4. UYGULAMA: BETONARME ÜST GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI....325
7.5. ÇELİK ÜST GEÇİTLER....327
7.5.1. Çelik Üst Geçit Yapım Teknikleri....**327**
7.5.2. Çelik Üst Geçitlerin Planlar Doğrultusunda İncelenmesi....**335**
7.6. UYGULAMA: ÇELİK ÜST GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI....338
7. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI....340

KEMERLER VE KEMERLERİ OLUŞTURAN ELEMANLAR — 8. ÖĞRENME BİRİMİ

8.1. YUVARLAK KEMERLERİ PLANLAMA....344
8.1.1. Selçuklu ve Osmanlı Mimarisi Sanat Yapılarında Kemerler....**345**
8.1.2. Yuvarlak (Yarım Daire) Kemerler ve Elemanları....**352**
8.1.3. Yuvarlak Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri....**354**
8.2. UYGULAMA: YUVARLAK KEMERLERİ PLANLAMA....361
8.3. BASIK KEMERLERİ PLANLAMA....363
8.3.1. Basık Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri....**364**
8.4. UYGULAMA: BASIK KEMERLERİ PLANLAMA....366
8.5. SİVRİ KEMERLERİ PLANLAMA....368
8.5.1. Sivri Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri....**369**
8.6. UYGULAMA: SİVRİ KEMERLERİ PLANLAMA....371
8.7. ATNALI KEMERLERİ PLANLAMA....373
8.7.1. Atnalı Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri....**374**

8.8. UYGULAMA: ATNALI KEMERLERİ PLANLAMA.....375

8.9. ÜÇÜZ KEMERLERİ PLANLAMA.....377

8.9.1. Üçüz Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**378**

8.10. UYGULAMA: ÜÇÜZ KEMERLERİ PLANLAMA.....379

8.11. TÜRK KEMERİNİ PLANLAMA.....381

8.11.1. Türk Kemerinin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**382**

8.12. UYGULAMA: TÜRK KEMERİNİ PLANLAMA.....383

8.13. SIRALAMA KEMERLERİ PLANLAMA.....385

8.13.1. Sıralama Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**385**

8.14. UYGULAMA: SIRALAMA KEMERLERİ PLANLAMA.....387

8.15. BİNDİRMELİ KEMERLERİ PLANLAMA.....389

8.15.1. Bindirmeli Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**389**

8.16. UYGULAMA: BİNDİRMELİ KEMERLERİ PLANLAMA.....390

8.17. BOYUNDURUK KEMERLERİ PLANLAMA.....392

8.17.1. Boyunduruk Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**392**

8.18. UYGULAMA: BOYUNDURUK KEMERLERİ PLANLAMA.....394

8.19. BAĞLAMA KEMERLERİ PLANLAMA.....396

8.19.1. Bağlama Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**397**

8.20. UYGULAMA: BAĞLAMA KEMERLERİ PLANLAMA.....398

8.21. DÖRT MERKEZLİ KEMERLERİ PLANLAMA.....400

8.21.1. Dört Merkezli Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**401**

8.22. UYGULAMA: DÖRT MERKEZLİ KEMERLERİ PLANLAMA.....402

8.23. TONOZ KEMERLERİ PLANLAMA.....404

8.23.1. Tonoz Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**405**

8.24. UYGULAMA: TONOZ KEMERLERİ PLANLAMA.....409

8.25. DİŞLİ KEMERLERİ PLANLAMA.....411

8.25.1. Dişli Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri.....**412**

8.26. UYGULAMA: DİŞLİ KEMERLERİ PLANLAMA.....414

8. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI.....416

TERİMLER SÖZLÜĞÜ.....420

CEVAP ANAHTARI.....422

KAYNAKÇA.....423

DERS MATERYALİNİN TANITIMI

Konu resimlerini gösterir.

Konu metinlerini gösterir.

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Büz menfezleri araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

1.1. BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER

Sanat yapıları; köprü, viyadük, tünel, menfez, kemer, istinat ve iksa duvarları, tahkimat vb. mühendislik yapılarıdır.

Hidrolik sanat yapıları, suyun belirli bir şekilde akıtılmasını ve böylece çevrede çeşitli ögelerin fonksiyonlarının yerine getirilmesini sağlamak amacıyla yapılan ve suların akışını düzenleyen yapılardır.

Menfezler; mücavir alanlardan yola gelecek her türlü suyun, yolun işletme süresi boyunca yerine getireceği fonksiyonu zedelemeyecek şekilde yoldan geçirilerek uzaklaştırılması amacıyla yol gövdesi altında inşa edilen ve açıklığı 10 metreye kadar olan sanat yapılarıdır.

Menfezlerin yapılış amaçları aşağıda verilmiştir.

- Yol hattını kesen akarsuları yola zarar vermeden uzaklaştırmak.
- Otoyol yüzeyinde toplanan suların otoyola zarar vermesini engellemek ve güvenli şekilde drene etmek.
- Otoyol altındaki yaya ve araç trafiğini kolaylaştırmak.
- Sağanak yağış ve sel gibi durumlarda ortaya çıkan, yola zarar verebilecek olan taşkın suyu güvenli şekilde tahliye etmek.
- Yabani hayvanların güvenli bir şekilde yoldan geçişlerini kolaylaştırmak.
- İklime bağlı olarak ortaya çıkan kar ve buzun erimesi sonucu oluşan suyu güvenli bir şekilde tahliye etmek.
- Menfez üzerinden geçen otoyolda akan trafiğe güvenli bir geçiş sağlamak.

Menfez yer seçimi yapılırken karayolunun profili, akarsu yatağının arazi özellikleri, taşkın hasar değerlendirmeleri, inşaat ve bakım maliyetleri ve hizmet ömrü tahminleri dikkate alınmaktadır. Tasarım yapılırken yerin sağlamlığı ve menfez üzerine yapılacak dolgu miktarı, suyun kolay geçmesi için menfez içi yüzey pürüzsüzlüğü, metalden yapılacaksa korozyon ve aşınmaya karşı direnci gibi hususlar da göz önünde bulundurulmaktadır.

Menfezler gelecek on yılın debisine göre projelendirilir ve yüz yıllık debiye göre kontrol edilir. Ancak kabarma seviyesi çevredeki yerleşim bölgelerinde veya tarım arazilerinde su basmasına sebep olacaksa projelendirme yüz yıllık debiye göre yapılır. Menfezler birçok farklı şekil ve malzemelerden yapılmaktadır. Menfez kesitleri daire, elips, kemer ve kare/dikdörtgen şeklinde olmaktadır (Şekil 1.1, Şekil 1.2).

Şekil 1.1: Daire ve elips menfez kesitleri

Şekil 1.2: Kemer ve kare/dikdörtgen menfez kesitleri

Menfez içindeki suyun akış hızı 1 m/sn'den düşük ve 10 m/sn'den büyük olmamalıdır. 1 m/sn'den düşük akış hızları menfez içinde tortu birikmesine, kötü koku oluşmasına, sinek ve sivrisinek üreme yerlerinin oluşmasına ve menfez yapısına zarar vermesine neden olmaktadır. 10 m/sn'nin üstünde olan akış hızlarında ise suyun hızla akıp gitmesi sonucu tortu kütlesinin dibe çökerek menfez kanalını doldurmasına, menfez yüzeylerinin zarar görmesine, menfez çıkış ağızlarında taşkın ve toprak yarılmalarına sebep olmaktadır.

En yaygın kullanılan menfez malzemeleri; betonarme (yerinde döküm/prefabrik), metal (alüminyum ve çelik boru), plastik (yüksek yoğunluklu polietilen: HDPE veya polivinil klorür: PVC, reçine cam elyaf: CTP) malzemelerden üretilir (Resim 1.1).

Resim 1.1a, b, c, d): Farklı malzemelerden üretilen büz borular

Ayrıca taş, tuğla, beton künk gibi malzemeler geçmişte kullanılmış ve günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir. Teknolojik yenilikler sayesinde reçine cam elyaf, polyester, kompozit ürünler (en az iki farklı malzemeden üretilen), karbon fiber gibi ürünlerin menfez imalatlarında kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Menfezlerin akarsu giriş ağızlarına mansap, akarsu çıkış ağızlarına memba denir. Boru menfeze giren ve çıkan suyun yol yapısına zarar vermemesi için memba ve mansap kısmına, betonarme veya kâgirden yapılan duvara baş duvar denir (Şekil 1.3).

Şekil 1.3: Menfez memba ve mansap yerleri

1.1.1. Büz ve Menfez Çeşitleri

Boru Menfezler: Su tahliye işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dairesel kesitli, sepet-kulpu vb. şekillerde inşa edilir.

Boru menfezler genellikle bir veya birden fazla borudan yapılır (Şekil 1.4). Küçük debili akıntıya sahip menfez yataklarında tek borulu menfezler kullanılır.

Şekil 1.4: Boru menfezler

Konu başlıklarını gösterir.

Konu alt başlıklarını gösterir.

Sayfa numaralarını gösterir.

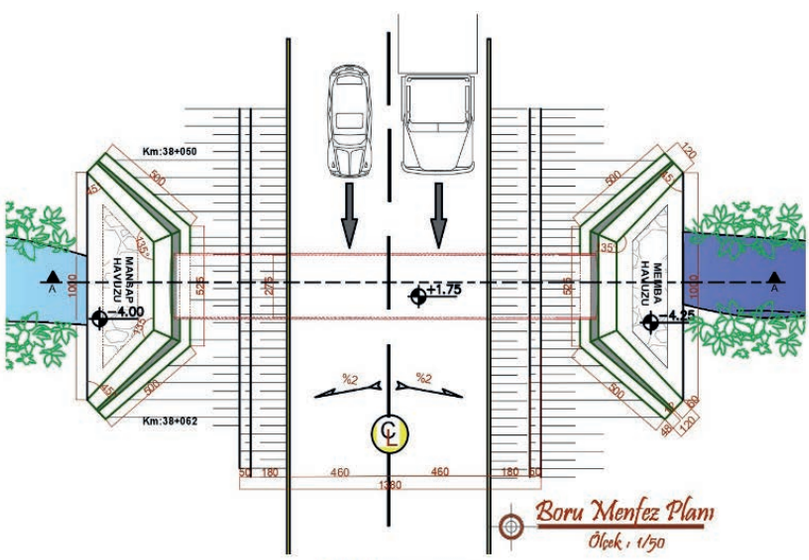
Resim açıklamalarını gösterir.

Konu şekillerini gösterir.

1.1.2. Büz ve Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi

Boru menfez plan çizimlerinde aşağıdaki hususlar yer alır (Şekil 1.6).

1. Yol eksen çizgisi yol hattının üzerinde çizilmiştir.
2. Eksen çizgisinin sağında ve solunda yer alan platform ile banket genişlikleri yol projesinden alınarak plana işlenmiştir.
3. Yol projesinde yer alan yol platform eğimleri ve yol üst kotu projeye işlenmiştir.
4. Menfez başlangıç noktasının yol kilometre değeri projeye işlenmiştir. Menfez başlangıç noktasında yazılan 38+050 değeri, menfez başlangıç noktasının yol başlangıç noktasına olan 38 km + 50 metre uzaklığı ifade etmektedir.
5. Menfez boru hattı akarsu yatağıyla aynı doğrultuda olacak şekilde gösterilmiştir.
6. Memba ve mansap elemanları projede gösterilmiştir (baş duvar, yan duvar, temel, havuz platformu vb.).
7. Yol en kesitinde, menfezin olduğu yere denk gelen arazi eğimleri yönlerine göre projede işaretlenmiştir.
8. Projedeki yatay ve kotlu ölçülendirmeler yapılmıştır.
9. Proje okunmasına kolaylık sağlayacak şekilde tefriş/tarama işlemleri yapılmıştır (akarsu, bitki, araçlar vb.).
10. En kesit yeri ve bakış yönü projeye işlenmiştir.
11. Projeye ait hesaplamalar planda tablo hâlinde gösterilmiştir.
12. Plan adı ve ölçeği belirtilmiştir.



Şekil 1.6: Boru menfez planı

26

Şekil açıklamalarını gösterir.

Uygulama başlığını gösterir.

Uygulama süresini gösterir.

Öğrenci uygulama kontrol listesini gösterir.

Uygulama kontrolü başlığını ve yönergeyi gösterir.

1.2 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER

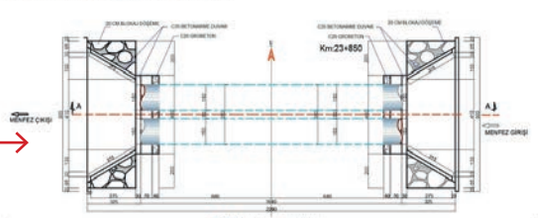
Bu çalışmanın amacı, menfez projelerinin okunması ve incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Menfez planı proje bilgileri okuma ve inceleme uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yapınız.

Verilenler

İki Borulu Menfez Planı, Ölçek 1/50 (Şekil 1.9).



Şekil 1.9: İki borulu menfez planı

İstenenler

Şekil 1.9'da verilen iki borulu menfez planı üzerinde verilen proje değerlerini okuyunuz/gösteriniz.

Menfez boru hatları, menfez boru çapları, blokaj yüksekliği, blokaj taş dolgu ölçüleri, menfez giriş ve çıkış ölçüleri, menfez kilometre değerleri, kesit yeri ve bakış yönü, beton kalitesi.

YÖNERGE

- Çalışmanızda proje değerlerini doğru okumaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

28

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Menfez projesi üzerindeki boru hatları bulunur.
2. Menfez projesi üzerindeki boru çaplarının değerleri bulunur.
3. Blokaj dolgu yüksekliği okunur.
4. Blokaj taş dolgu ölçüleri bulunur.
5. Menfez girişi ölçüleri okunur.
6. Menfez çıkışı ölçüleri okunur.
7. Menfez başlangıç kilometre değeri okunur.
8. Kilometre değerinde yer alan sayıların birimleri açıklanır.
9. Kesit yeri, kesit çizgisi ve bakış yönü projede görülür.
10. Menfez imalatı için kullanılacak beton kalitesi projeden okunur.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Menfez projesi üzerindeki boru hatlarını buldunuz mu?		
2	Menfez projesi üzerindeki boru çaplarının değerlerini okudunuz mu?		
3	Blokaj dolgu yüksekliğini okudunuz mu?		
4	Blokaj taş dolgu ölçülerini buldunuz mu?		
5	Menfez girişi ölçülerini okudunuz mu?		
6	Menfez çıkışı ölçülerini okudunuz mu?		
7	Menfez başlangıç kilometre değerini okudunuz mu?		
8	Kilometre değerinde yer alan sayıların birimlerini açıkladınız mı?		
9	Kesit yeri, kesit çizgisi ve bakış yönünü projede gördünüz mü?		
10	Menfez imalatı için kullanılacak beton kalitesini projede okudunuz mu?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

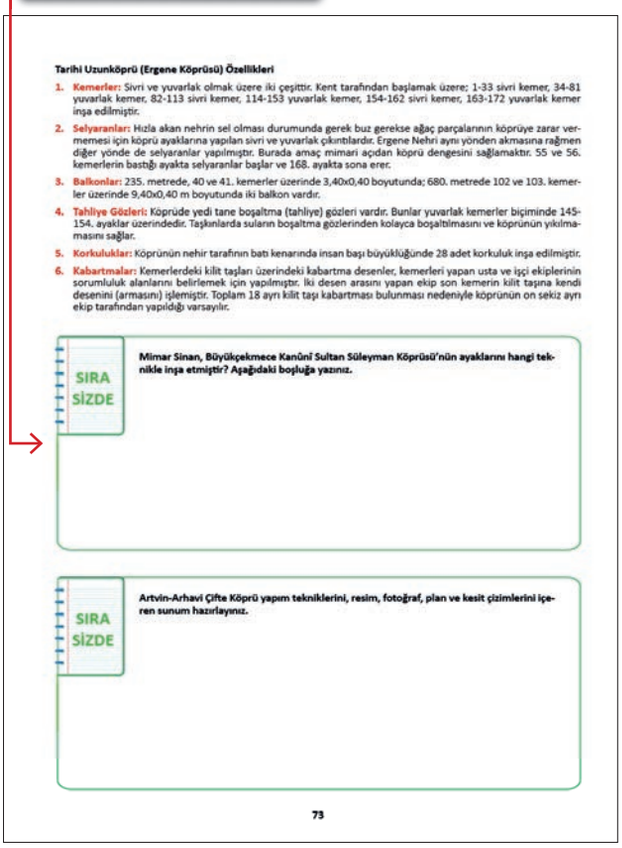
Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..../...../ 20.....			

29

Uygulama şekillerini gösterir.

Öğrenci değerlendirme kriterlerini gösterir.

Öğrencilere yönelik çalışmaları gösterir.



Tarihi Uzunköprü (Ergene Köprüsü) Özellikleri

1. **Kemerler:** Sivri ve yuvarlak olmak üzere iki çeşittir. Kent tarafından başlamak üzere; 1-33 sivri kemer, 34-81 yuvarlak kemer, 82-113 sivri kemer, 114-153 yuvarlak kemer, 154-162 sivri kemer, 163-172 yuvarlak kemer inşa edilmiştir.
2. **Selyaranlar:** Hızla akan nehrin sel olması durumunda gerek buz gerekse ağaç parçalarının köprüye zarar vermemesi için köprü ayaklarına yapılan sivri ve yuvarlak çıkıntılardır. Ergene Nehri aynı yönden akmasına rağmen diğer yönde de selyaranlar yapılmıştır. Burada amaç mimari açıdan köprü dengesini sağlamaktır. 55 ve 56. kemerlerin bastığı ayakta selyaranlar başlar ve 168. ayakta sona erer.
3. **Balkonlar:** 235. metrede, 40 ve 41. kemerler üzerinde 3,40x0,40 boyutunda; 680. metrede 102 ve 103. kemerler üzerinde 9,40x0,40 m boyutunda iki balkon vardır.
4. **Tahliye Gözleri:** Köprüde yedi tane boşaltma (tahliye) gözleri vardır. Bunlar yuvarlak kemerler biçiminde 145-154. ayaklar üzerindedir. Taşkınlarda suların boşaltma gözlerinden kolayca boşaltılmasını ve köprünün yıkılmamasını sağlar.
5. **Korkuluklar:** Köprünün nehir tarafının batı kenarında insan başı büyüklüğünde 28 adet korkuluk inşa edilmiştir.
6. **Kabartmalar:** Kemerlerdeki kilit taşları üzerindeki kabartma desenler, kemerleri yapan usta ve işçi ekiplerinin sorumluluk alanlarını belirlemek için yapılmıştır. İki desen arasını yapan ekip son kemerin kilit taşına kendi desenini (armasını) işlemiştir. Toplam 18 ayrı kilit taşı kabartması bulunması nedeniyle köprünün on sekiz ayrı ekip tarafından yapıldığı varsayılır.

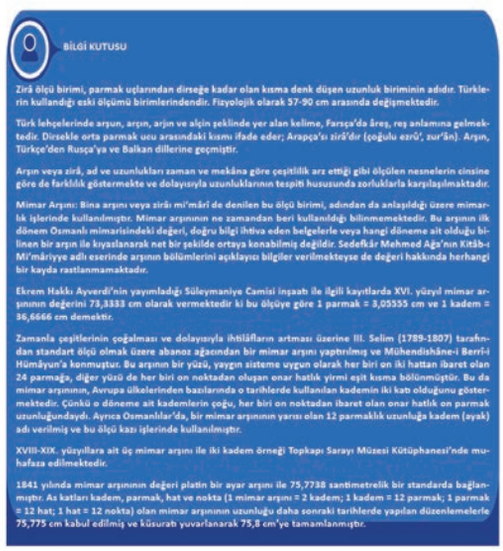
SIRA SİZDE

Mimar Sinan, Büyükçekmece Kanûnî Sultan Süleyman Köprüsü'nün ayaklarını hangi teknikle inşa etmiştir? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

Artvin-Arhavi Çifte Köprü yapım tekniklerini, resim, fotoğraf, plan ve kesit çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

73



BİLGİ KUTUSU

Zirâ ölçü birimi, parmak uçlarından dirseğe kadar olan kısma denk düşen uzunluk biriminin adıdır. Türklerin kullandığı eski ölçümü birimlerindendir. Fizyolojik olarak 57-90 cm arasında değişmektedir.

Türk lehçelerinde arşun, arşın, arşın ve alçın şeklinde yer alan kelime, Farsça'da âreş, reş anlamına gelmektedir. Dirsekle orta parmak ucu arasındaki kısmı ifade eder; Arapça'sı zirâ'dır (çoğulu ezrû', zur'ân). Arşın, Türkçe'den Rusça'ya ve Balkan dillerine geçmiştir.

Arşın veya zirâ, ad ve uzunlukları zaman ve mekâna göre çeşitlilik arz ettiği gibi ölçülen nesnelerin cinsine göre de farklılık göstermekte ve dolayısıyla uzunluklarının tespiti hususunda zorluklarla karşılaşılmaktadır.

Mimar Arşını: Bina arşını veya zirâ mi'mârî de denilen bu ölçü birimi, adından da anlaşıldığı üzere mimarlık işlerinde kullanılmıştır. Mimar arşınının ne zamandan beri kullanıldığı bilinmemektedir. Bu arşının ilk dönem Osmanlı mimarisindeki değeri, doğru bilgi ihtiva eden belgelerle veya hangi döneme ait olduğu bilinen bir arşın ile kıyaslanarak net bir şekilde ortaya konabilmiş değildir. Sedefkâr Mehmed Ağa'nın Kitâb-ı Mi'mâriyye adlı eserinde arşının bölümlerini açıklayıcı bilgiler verilmekteyse de değeri hakkında herhangi bir kayda rastlanmamaktadır.

Ekrem Hakkı Ayverdi'nin yayımladığı Süleymaniye Camisi inşaatı ile ilgili kayıtlarda XVI. yüzyıl mimar arşınının değerini 73,3333 cm olarak vermektedir ki bu ölçüye göre 1 parmak = 3,05555 cm ve 1 kadem = 36,6666 cm demektir.

Zamanla çeşitlerinin çoğalması ve dolayısıyla ihtilâfların artması üzerine III. Selim (1789-1807) tarafından standart ölçü olmak üzere abanoz ağacından bir mimar arşını yaptırılmış ve Mühendishâne-i Berrî-i Hümâyun'a konmuştur. Bu arşının bir yüzü, yaygın sisteme uygun olarak her biri on iki hattan ibaret olan 24 parmağa, diğer yüzü de her biri on noktadan oluşan onar hatlık yirmi eşit kısma bölünmüştür. Bu da mimar arşınının, Avrupa ülkelerinden bazılarında o tarihlerde kullanılan kademin iki katı olduğunu göstermektedir. Çünkü o döneme ait kademlerin çoğu, her biri on noktadan ibaret olan onar hatlık on parmak uzunluğundaydı. Ayrıca Osmanlılar'da, bir mimar arşınının yarısı olan 12 parmaklık uzunluğa kadem (ayak) adı verilmiş ve bu ölçü kazı işlerinde kullanılmıştır.

XVIII-XIX. yüzyıllara ait üç mimar arşını ile iki kadem örneği Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi'nde muhafaza edilmektedir.

1841 yılında mimar arşınının değeri platin bir ayar arşını ile 75,7738 santimetrelik bir standarda bağlanmıştır. As katları kadem, parmak, hat ve nokta (1 mimar arşını = 2 kadem; 1 kadem = 12 parmak; 1 parmak = 12 hat; 1 hat = 12 nokta) olan mimar arşınının uzunluğu daha sonraki tarihlerde yapılan düzenlemelerle 75,775 cm kabul edilmiş ve küsuratı yuvarlanarak 75,8 cm'ye tamamlanmıştır.

Günümüzde betonarme, çelik ve kompozit vb. karayolu köprülerinin inşasında en çok kullanılan yapım teknik ve yöntemleri aşağıda sıralanarak açıklanmıştır.

- Ardgermeli Köprüler
- İtme Sürme Köprüler
- Dilimsel Dengeli Konsol Köprüler
- Eğik Askılı Köprüler

Ardgermeli Köprüler: Ardgerme sisteminin yaygınlaşması sonucu pek çok köprü bu yöntemle inşa edilmeye başlanmıştır. Ardgerme, köprülerde çok büyük açıklıkların geçilmesini ve kiriş sürekliliğini sağlar. Bu yöntem ile estetik olarak farklı sanat yapıları yapılabilir. Köprü kirişinde oluşabilecek çatlaklar azalır. Ardgerme yönteminde halatlar kılıflar içerisinde grout ile korunduğu için korozyon ve dış etkenlere karşı direnci çok yüksek olur. Köprü elemanlarının kesitleri küçüleceğinden ekonomik olarak avantaj sağlar ve köprünün deprem performansını arttırır.

174

Bilgi notunu gösterir.

1. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

1.1. BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER
1.2. UYGULAMA: BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER
1.3. KÖPRÜ MENFEZLER
1.4. UYGULAMA: KÖPRÜ MENFEZLER
1.5. KUTU MENFEZLER
1.6. UYGULAMA: KUTU MENFEZLER
1.7. KEMERLİ MENFEZLER
1.8. UYGULAMA: KEMERLİ MENFEZLER
1.9. TABLİYELİ MENFEZLER
1.10. UYGULAMA: TABLİYELİ MENFEZLER

BÜZ VE MENFEZLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Büz menfezlerin yapım teknikleri incelemesini, büz menfez çeşitlerini ve projelendirmesini
- Büz menfezlerin yapım tekniklerinin incelenmesi ve okunması kapsamında projelendirme uygulamasını
- Köprü menfezlerin yapım teknikleri incelemesini, köprü menfez çeşitlerini ve projelendirmesini
- Köprü menfezlerin yapım tekniklerinin incelenmesi ve okunması kapsamında projelendirme uygulamasını
- Kutu menfezlerin yapım teknikleri incelemesini, kutu menfez çeşitlerini ve projelendirmesini
- Kutu menfezlerin yapım tekniklerinin incelenmesi ve okunması kapsamında projelendirme uygulamasını
- Kemerli menfezlerin yapım teknikleri incelemesini, kemerli menfez çeşitlerini ve projelendirmesini
- Kemerli menfezlerin yapım tekniklerinin incelenmesi ve okunması kapsamında projelendirme uygulamasını
- Tabliyeli menfezlerin yapım teknikleri incelemesini, tabliyeli menfez çeşitlerini ve projelendirmesini
- Tabliyeli menfezlerin yapım tekniklerinin incelenmesi ve okunması kapsamında projelendirme uygulamasını

Temel Kavramlar

büz menfez, hidrolik sanat yapısı, kemerli menfez, kutu menfez, künk boru menfez, köprü menfez, tabliyeli menfez, menfez çeşitleri, menfez detayı, menfez planı, menfez kesiti

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Büz menfezleri araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

1.1. BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER

Sanat yapıları; köprü, viyadük, tünel, menfez, kemer, istinat ve iksa duvarları, tahkimat vb. mühendislik yapılarıdır.

Hidrolik sanat yapıları, suyun belirli bir şekilde akıtılmasını ve böylece çevrede çeşitli ögelerin fonksiyonlarının yerine getirilmesini sağlamak amacıyla yapılan ve suların akışını düzenleyen yapılardır.

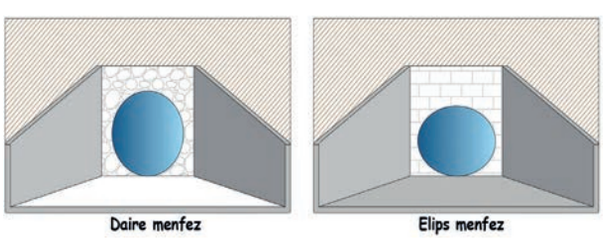
Menfezler; mücavir alanlardan yola gelecek her türlü suyun, yolun işletme süresi boyunca yerine getireceği fonksiyonu zedelemeyecek şekilde yoldan geçirilerek uzaklaştırılması amacıyla yol gövdesi altında inşa edilen ve açıklığı 10 metreye kadar olan sanat yapılarıdır.

Menfezlerin yapılış amaçları aşağıda verilmiştir.

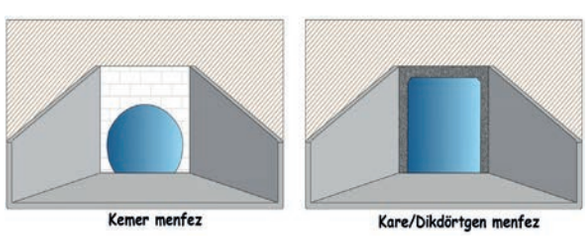
- Yol hattını kesen akarsuları yola zarar vermeden uzaklaştırmak.
- Otoyol yüzeyinde toplanan suların otoyola zarar vermesini engellemek ve güvenli şekilde drene etmek.
- Otoyol altındaki yaya ve araç trafiğini kolaylaştırmak.
- Sağanak yağış ve sel gibi durumlarda ortaya çıkan, yola zarar verebilecek olan taşkın suyu güvenli şekilde tahliye etmek.
- Yabani hayvanların güvenli bir şekilde yoldan geçişlerini kolaylaştırmak.
- İklime bağlı olarak ortaya çıkan kar ve buzun erimesi sonucu oluşan suyu güvenli bir şekilde tahliye etmek.
- Menfez üzerinden geçen otoyolda akan trafiğe güvenli bir geçiş sağlamak.

Menfez yer seçimi yapılırken karayolunun profili, akarsu yatağının arazi özellikleri, taşkın hasar değerlendirmeleri, inşaat ve bakım maliyetleri ve hizmet ömrü tahminleri dikkate alınmaktadır. Tasarım yapılırken yerin sağlamlığı ve menfez üzerine yapılacak dolgu miktarı, suyun kolay geçmesi için menfez içi yüzey pürüzsüzlüğü, metalden yapılacaksa korozyon ve aşınmaya karşı direnci gibi hususlar da göz önünde bulundurulmaktadır.

Menfezler gelecek on yılın debisine göre projelendirilir ve yüz yıllık debiye göre kontrol edilir. Ancak kabarma seviyesi çevredeki yerleşim bölgelerinde veya tarım arazilerinde su basmasına sebep olacaksa projelendirme yüz yıllık debiye göre yapılır. Menfezler birçok farklı şekil ve malzemelerden yapılmaktadır. Menfez kesitleri daire, elips, kemer ve kare/dikdörtgen şeklinde olmaktadır (Şekil 1.1, Şekil 1.2).



Şekil 1.1: Daire ve elips menfez kesitleri



Şekil 1.2: Kemer ve kare/dikdörtgen menfez kesitleri

Menfez içindeki suyun akış hızı 1 m/sn'den düşük ve 10 m/sn'den büyük olmamalıdır. 1 m/sn'den düşük akış hızları menfez içinde tortu birikmesine, kötü koku oluşmasına, sinek ve sivrisinek üreme yerlerinin oluşmasına ve menfez yapısına zarar vermesine neden olmaktadır. 10 m/sn'nin üstünde olan akış hızlarında ise suyun hızla akıp gitmesi sonucu tortu kütlesinin dibe çökerek menfez kanalını doldurmasına, menfez yüzeylerinin zarar görmesine, menfez çıkış ağızlarında taşkın ve toprak yarılmalarına sebep olmaktadır.

En yaygın kullanılan menfez malzemeleri; betonarme (yerinde döküm/prefabrik), metal (alüminyum ve çelik boru), plastik (yüksek yoğunluklu polietilen: HDPE veya polivinil klorür: PVC, reçine cam elyaf: CTP) malzemelerden üretilir (Resim 1.1).

a) Metal (çelik, alüminyum) büz boru

b) Beton büz boru

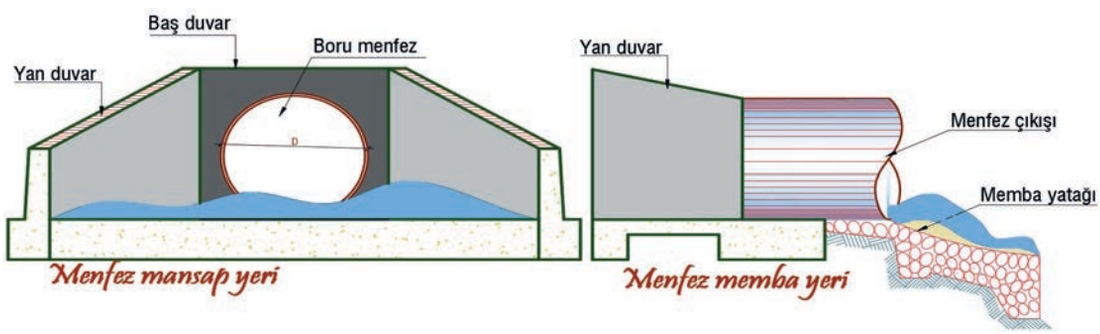
c) Kompozit (cam elyaf vb.) büz boru

d) Plastikbüz boru

Resim 1.1(a, b, c, d): Farklı malzemelerden üretilen büz borular

Ayrıca taş, tuğla, beton künk gibi malzemeler geçmişte kullanılmış ve günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir. Teknolojik yenilikler sayesinde reçine cam elyaf, polyester, kompozit ürünler (en az iki farklı malzemeden üretilen), karbon fiber gibi ürünlerin menfez imalatlarında kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Menfezlerin akarsu giriş ağızlarına mansap, akarsu çıkış ağızlarına memba denir. Boru menfeze giren ve çıkan suyun yol yapısına zarar vermemesi için memba ve mansap kısmına, betonarme veya kâgirden yapılan duvara baş duvar denir (Şekil 1.3).

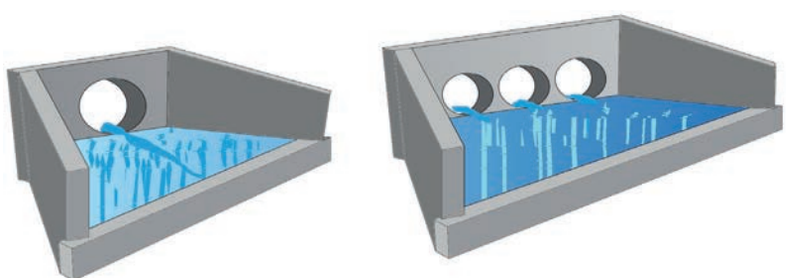


Şekil 1.3: Menfez memba ve mansap yerleri

1.1.1. Büz ve Menfez Çeşitleri

Boru Menfezler: Su tahliye işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dairesel kesitli, sepet-kulpu vb. şekillerde inşa edilir.

Boru menfezler genellikle bir veya birden fazla borudan yapılır (Şekil 1.4). Küçük debili akıntıya sahip menfez yataklarında tek borulu menfezler kullanılır.



Şekil 1.4: Boru menfezler

Debi miktarının fazla olduğu durumlarda çoklu boru menfezler tercih edilir. Alüminyum, beton, cam elyaf ve plastik borudan yapılan menfezler genellikle 0,60-0,80-1,00 ve 1,20 m çapında yapılır. Özel üretim olan çelik boru menfezlerin çap ölçüleri ise 0,60 m ile 9,00 m arasında değişmektedir. Boru menfezler veya diğer adıyla büzler genellikle dolgu yüksekliğinin az olduğu yol bölümlerinde uygulanır. Bu tür menfezler kırılma ve çatlamalara neden olacağından yüksek dolgu olan yerlerde kullanılmaz.

Boru menfezlerin kullanılan malzeme türüne göre özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Beton Boru Menfezler (Büzler): Yüzeysel drenaj için kullanılan daire kesitli betondan dökülmüş demirsiz beton borulara **büz** denir. Fazla yüksek olmayan dolgu altlarında kullanılan boru menfezler, betonun suyla kürlenmesi ve kalıplarda basınç uygulaması ile elde edilir. Kesitleri daire veya sepet-kulplu şekilde dökülür.

Betonarme boruların çapları 15-120 cm arasında, boyları ise 150-200 cm uzunluktadır. Boru menfezlerin uzunluğunu azaltmak, menfeze giren ve çıkan suyun yolun gövdesine zarar vermesine engel olmak için memba ve mansap kısmına beton veya kâgir malzemeden baş duvar yapılır.

Betonarme Boru Menfezler: Beton ile demir hasırın birleşiminden oluşur. Kalıp içine hasır yerleştirilir ve beton dökülür. Daha sonra kalıba yüksek basınç uygulanarak üretilir. Demir iskelete sahip olduğu için beton borulara göre daha sağlamdır. Boru çapları 80, 100, 120 cm ve uzunlukları 200 cm'dir. Borular proje doğrultusunda kazılan kanallara yerleştirilir (Resim 1.2). Betonarme borular birbirine geçmeli ve contalı olarak üretilir (Şekil 1.5).

Resim 1.2: Boru menfez döşeme

Şekil 1.5: Betonarme boru menfezler

Plastik Boru Menfezler: HDPE petrolden elde edilen, yüksek yoğunluklu polietilen malzemedir. Adı İngilizce karşılığı olan "High Density Polyetylene" sözcüklerinin kısaltmasından gelmektedir. HDPE sudan daha hafiftir. Darbelere karşı dayanımı oldukça yüksektir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda dayanımını korur. Kir ve su tutmaz, zehirli madde içermez. Çelik, alüminyum ve beton borulara nazaran daha hafif ve ekonomiktir. Boya ve bakım gibi ihtiyaçları yoktur, temizliği kolaydır. Çapları 2 cm'den 120 cm'ye, boyları ise 6 m'den 12 m'ye kadar değişmektedir. Ayrıca çap ve boylarına göre özel üretimleri yapılmaktadır (Resim 1.3).

Resim 1.3: Plastik boru menfezler

Oluklu Çelik Menfezler: Yüksek dayanımlı karbon çeliğinden üretilen, çelik borularla yapılan menfezlerdir. Çelik levha et kalınlıkları 1,5 mm ile 10 mm arasındadır. Korozyonu önlemek için oluklu metal menfez çelik borular 275 g/m² ile 1200 g/m² aralığında çinko ile galvanizlenir. Boru kesitleri yuvarlak, kemer, oval ve yarım daire şeklinde; çap aralıkları 30 cm'den 9 m'ye kadar olmaktadır (Resim 1.4). Borular birbirine flanşlı ve geçmeli olarak birleştirilir. Bu tür boruların hizmet ömürleri fazladır.

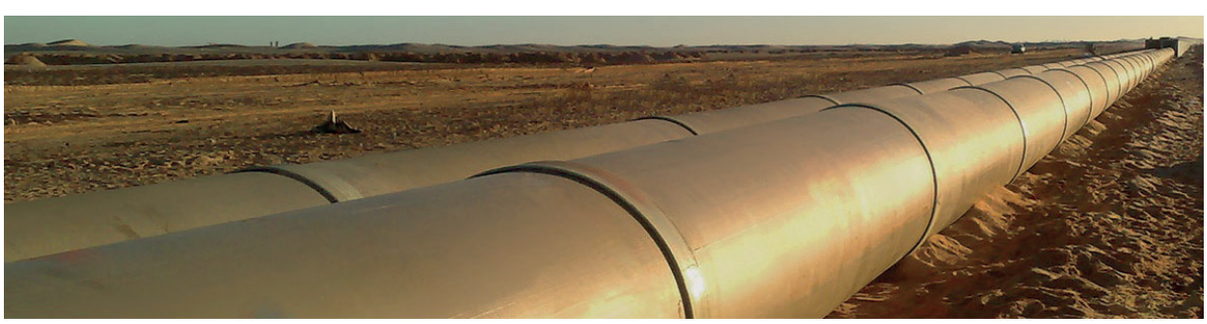
Resim 1.4: Oluklu çelik menfezler

Alüminyum Menfezler: Küçük akıntı olan yerlerde alüminyum menfezler uygun maliyetli ve pratik bir çözümdür (Resim 1.5). Alüminyum menfezler hafif olmasının yanında kurulumu hızlı ve kolaydır. 10 m açıklığa kadar menfez yapımına uygundur. Alüminyum malzemenin korozyon direnci yüksek değildir ve korozyon direncini arttırmak için genellikle eloksal (**Eloksal:** Elektrolitik yöntemle alüminyumun üzerinde koruyucu bir film tabakası oluşturma işlemidir.) ve boyama yöntemleri kullanılır.

Resim 1.5: Alüminyum menfez

Cam Elyaf Boru (CTP) Menfezler: Epoksi ve cam elyafın birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan kompozit borulardır. Epoksi ve cam elyaf malzeme daha güçlü bir bileşik oluşturmak için birbirini tamamlar. Epoksi basınç gerilmesine karşı dayanıklı malzemedir. Cam elyaf da çekme gerilmesine karşı dayanıklı bir malzemedir. İki malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan CTP hem basınç hem de çekme kuvvetlerine yüksek direnç gösteren bir malzeme hâline gelmektedir.

Cam elyaflı borular düşük ağırlığa, yüksek mekanik mukavemete, kimyasallara ve korozyona karşı dirence; UV ışınlarına, ısıya karşı dayanıma ve su geçirmezliğe sahip olduğu için tüm dış mekân uygulamalarında kullanılmaktadır (Resim 1.6). CTP boru çapları 0,3 m ile 4,00 m arasında; boyları 3,00 m, 6,00 m ve 12,00 m uzunluklarında üretilir.

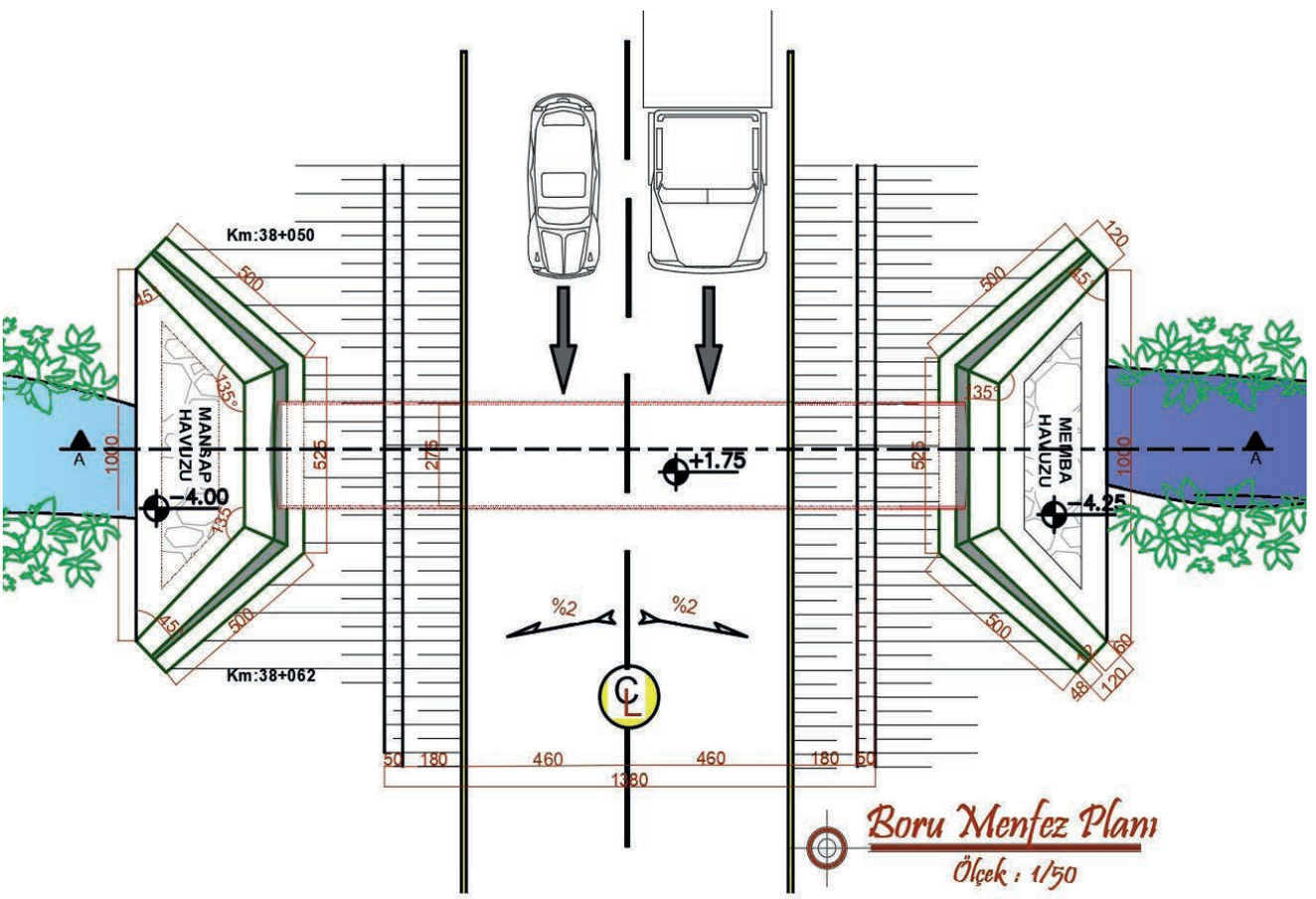


Resim 1.6: Cam elyaf boru

1.1.2. Büz ve Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi

Boru menfez plan çizimlerinde aşağıdaki hususlar yer alır (Şekil 1.6).

1. Yol eksen çizgisi yol hattının üzerinde çizilmiştir.
2. Eksen çizgisinin sağında ve solunda yer alan platform ile banket genişlikleri yol projesinden alınarak plana işlenmiştir.
3. Yol projesinde yer alan yol platform eğimleri ve yol üst kotu projeye işlenmiştir.
4. Menfez başlangıç noktasının yol kilometre değeri projeye işlenmiştir. Menfez başlangıç noktasında yazılan 38+050 değeri, menfez başlangıç noktasının yol başlangıç noktasına olan 38 km + 50 metre uzaklığı ifade etmektedir.
5. Menfez boru hattı akarsu yatağıyla aynı doğrultuda olacak şekilde gösterilmiştir.
6. Memba ve mansap elemanları projede gösterilmiştir (baş duvar, yan duvar, temel, havuz platformu vb.).
7. Yol en kesitinde, menfezin olduğu yere denk gelen arazi eğimleri yönlerine göre projede işaretlenmiştir.
8. Projedeki yatay ve kotlu ölçülendirmeler yapılmıştır.
9. Proje okunmasına kolaylık sağlayacak şekilde tefriş/tarama işlemleri yapılmıştır (akarsu, bitki, araçlar vb.).
10. En kesit yeri ve bakış yönü projeye işlenmiştir.
11. Projeye ait hesaplamalar planda tablo hâlinde gösterilmiştir.
12. Plan adı ve ölçeği belirtilmiştir.



Şekil 1.6: Boru menfez planı

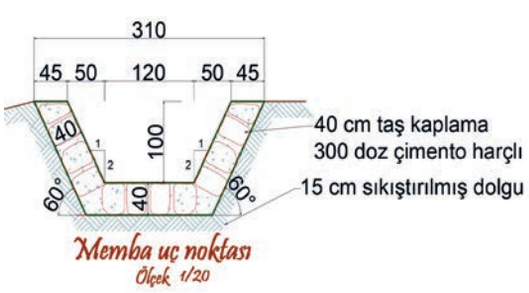
Boru menfez kesit görünüş çizimlerinde aşağıdaki hususlar yer alır (Şekil 1.7).

1. Yol eksen çizgisi çizilmiştir.
2. Kesit düzlemine göre plan üzerinde kesit düzlemini kesen veya görünüşte kalan bütün unsurlardan taşıma yapılmış ve sınırları tespit edilmiştir.
3. Taşınan bütün parçaların kot değerleri plandan alınarak kesit yükseklikleri gösterilmiştir.
4. Kesit ve görünüş resimlerinde görülen elemanların isimleri ve varsa özellikleri çizim üzerinde gösterilmiştir.
5. Kotlu ölçülendirmeler yapılmıştır.
6. Akış yönü ve eğimi gösterilmiştir.
7. Kesit düzleminin kestiği parçaların taramaları yapılmıştır.
8. Proje okunmasına kolaylık sağlayacak şekilde tefriş işlemleri yapılmıştır (akarsu, bitki, araçlar vb.).
9. Kesit, görünüş adı ve çizim ölçeği belirtilmiştir.

Şekil 1.7: Boru menfez kesiti

Boru menfezin menba detay çizimlerinde aşağıdaki hususlar yer alır (Şekil 1.8).

1. Ölçek olarak 1/1, 1/2, 1/5, 1/10, 1/20 ölçekleri kullanılmıştır.
2. Detayda yer alan parçanın yatay ve düşey ölçülendirmeleri yapılmıştır.
3. Resimde yer alan parçaların özellikleri gösterilmiştir.
4. Yüzeylerin eğimleri verilmiştir.
5. Detay resimlerinde yer alan parçaların taramaları yapılmıştır.
6. Pafta adı ve çizim ölçeği belirtilmiştir.



Şekil 1.8: Memba detay çizimi

1.2 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BÜZ (KÜNK BORU) MENFEZLER

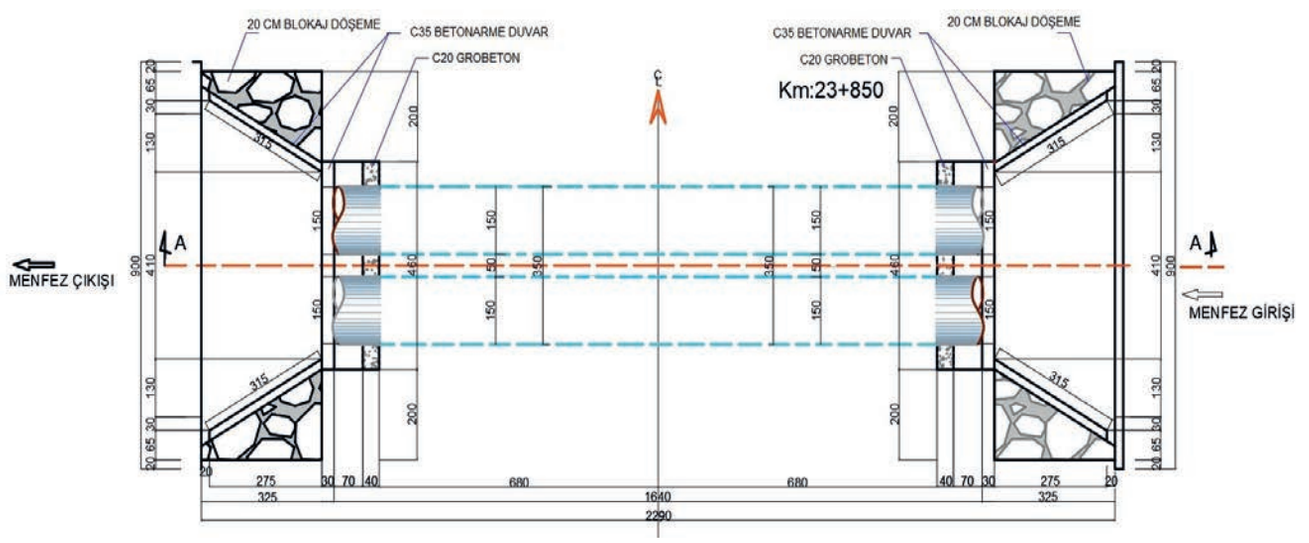
Bu çalışmanın amacı, menfez projelerinin okunması ve incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Menfez planı proje bilgileri okuma ve inceleme uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yapınız.

Verilenler

İki Borulu Menfez Planı, Ölçek 1/50 (Şekil 1.9).



Şekil 1.9: İki borulu menfez planı

İstenenler

Şekil 1.9'da verilen iki borulu menfez planı üzerinde verilen proje değerlerini okuyunuz/gösteriniz.

Menfez boru hatları, menfez boru çapları, blokaj yüksekliği, blokaj taş dolgu ölçüleri, menfez giriş ve çıkış ölçüleri, menfez kilometre değerleri, kesit yeri ve bakış yönü, beton kalitesi.

YÖNERGE

- Çalışmanızda proje değerlerini doğru okumaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Menfez projesi üzerindeki boru hatları bulunur.
2. Menfez projesi üzerindeki boru çaplarının değerleri bulunur.
3. Blokaj dolgu yüksekliği okunur.
4. Blokaj taş dolgu ölçüleri bulunur.
5. Menfez girişi ölçüleri okunur.
6. Menfez çıkışı ölçüleri okunur.
7. Menfez başlangıç kilometre değeri okunur.
8. Kilometre değerinde yer alan sayıların birimleri açıklanır.
9. Kesit yeri, kesit çizgisi ve bakış yönü projede görülür.
10. Menfez imalatı için kullanılacak beton kalitesi projeden okunur.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Menfez projesi üzerindeki boru hatlarını buldunuz mu?		
2	Menfez projesi üzerindeki boru çaplarının değerlerini okudunuz mu?		
3	Blokaj dolgu yüksekliğini okudunuz mu?		
4	Blokaj taş dolgu ölçülerini buldunuz mu?		
5	Menfez girişi ölçülerini okudunuz mu?		
6	Menfez çıkışı ölçülerini okudunuz mu?		
7	Menfez başlangıç kilometre değerini okudunuz mu?		
8	Kilometre değerinde yer alan sayıların birimlerini açıkladınız mı?		
9	Kesit yeri, kesit çizgisi ve bakış yönünü projede gördünüz mü?		
10	Menfez imalatı için kullanılacak beton kalitesini projede okudunuz mu?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Köprü menfezleri araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

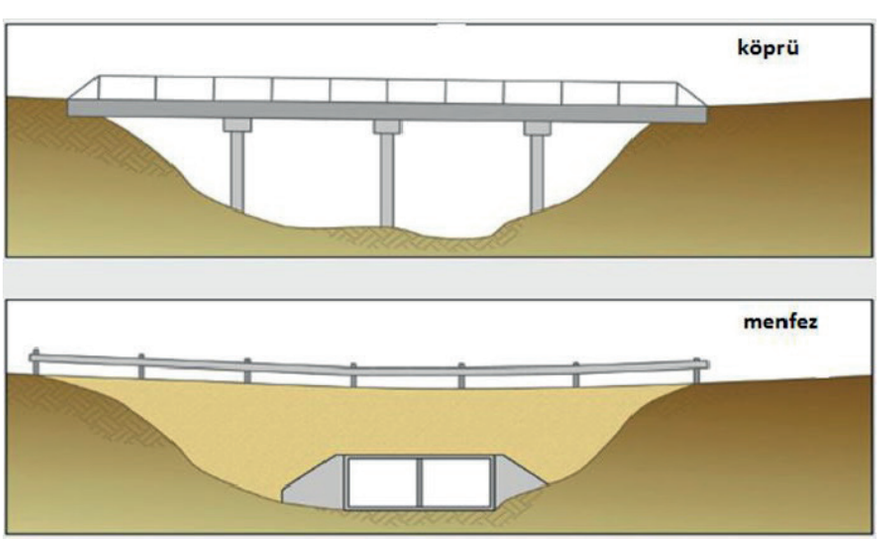
1.3. KÖPRÜ MENFEZLER

TDK sözlüğüne göre köprü; herhangi bir engelle ayrılmış iki yakayı birbirine bağlayan veya trafik akımının başka bir trafik akımını kesmeden üstten geçmesini sağlayan ahşap, kâgir, betonarme veya demir yapı olarak tanımlanmaktadır.

Köprü menfezler; hesap açıklığı 10 m'den büyük (10 m dâhil) akarsu, vadi, karayolu, demiryolu gibi engelleri geçmek amacıyla inşa edilen sanat yapılarıdır (Resim 1.7).

Köprü menfezleri köprü ve menfez görevi görerek ikili bir amaca hizmet eder. Genellikle bu menfezler dikdörtgen şeklinde olup nehir veya kanalların üzerine inşa edilir. Temel, zemin seviyesinin altında; kaldırım yüzeyi ise menfezlerin üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.10).

Resim 1.7: Köprü menfez



Şekil 1.10: Menfez ve köprü arasındaki fark

Köprülerle menfezleri birbirinden ayıran en belirgin özellikler aşağıda sıralanmıştır.

1. Menfezler en fazla 6 m açıklığa kadar inşa edilir. 6-10 m arası açıklıklarda tabliyeli menfezler tercih edilirken 10 m ve üzeri açıklıklarda ise köprüler inşa edilir.
2. Köprülerde taşıyıcı tabliye ve alt kirişler bulunur.
3. Köprü ayakları ve duvarları menfezlere göre daha büyük kesitte inşa edilir.
4. Köprü geçit kenarlarında bariyerler ve korkuluklar bulunurken menfez geçitlerde sadece kısa duvarlar bulunmaktadır.
5. Menfezler toprak dolgu altında inşa edilirken köprülerde dolgu yoktur.

1.3.1. Köprü Menfez Çeşitleri

Açıklıklarına göre köprü menfez çeşitleri aşağıda açıklanmıştır.

1. **Tek Açıklıklı Köprü Menfezler:** Açıklık mesafesinin az olduğu yerlerde yapılan köprü menfezlerdir (Resim 1.8).
2. **Çok Açıklıklı Köprü Menfezler:** Açıklık mesafesinin çok fazla olduğu yerlerde parçaların yan yana getirilmesiyle oluşturulmuş köprü menfezlerdir (Resim 1.9).

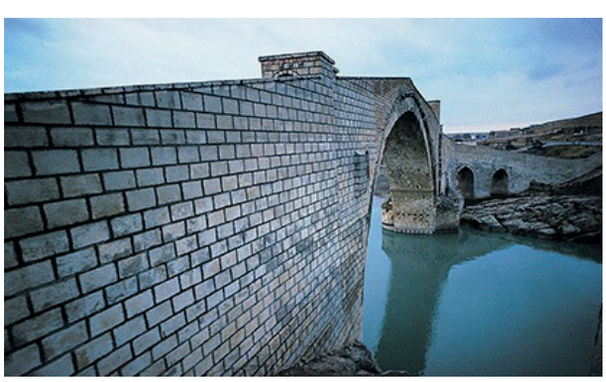
Resim 1.8: Tek açıklıklı köprü menfez

Resim 1.9: Çok açıklıklı köprü menfez

Kullanılan malzeme türlerine göre köprü menfezler aşağıda açıklanmıştır.

1. **Ahşap Köprü Menfezler:** Betonarme, taş vb. malzemelerle ayakların temeller üzerine ahşap malzeme kullanılarak inşa edilen köprü menfezlerdir. Ahşap kirişler ayaklar üzerine yerleştirildikten sonra köprü döşemesi ve korkulukları yerleştirilir. Kışın kar ve buzda kaymayı önlemek için bu köprülerin üst kısmı çatı ile kapatılır (Resim 1.10).
2. **Taş Köprü Menfezler:** Yörenin sağlam kesme taşları kullanılarak yapılan köprülerdir. Açıklıkları çok fazla olabilmektedir (Resim 1.11).

Resim 1.10: Ahşap köprü menfez



Resim 1.11: Taş köprü menfez

3. **Betonarme Köprü Menfezler:** Gerek yerinde döküm gerekse prefabrike olarak hazırlanan ve ana malzemesi betonla çelik olan köprülerdir (Resim 1.12). Yerinde dökme betonarme köprü menfezlerin yapımında C 25/30, betonarme prefabrik köprüler için en az C 30/37, öngerilmeli betonarme köprü kirişlerinde en az C 35/45 kalitesinde betonarme betonu kullanılmaktadır. Köprü inşaatlarında yüksek dayanım mukavemetine sahip B420C nervürlü donatı çeliği tercih edilir.

4. **Çelik Köprü Menfezler:** Sıcak daldırma galvanize çelikten üretilir. Betonarmeye göre hafif olması, bakım gerektirmemesi ve modüler sistem olarak istenen açıklıklarda fabrikada üretilip yerinde montajı yapılması bu köprü menfezlerin en önemli avantajlarıdır (Resim 1.13).

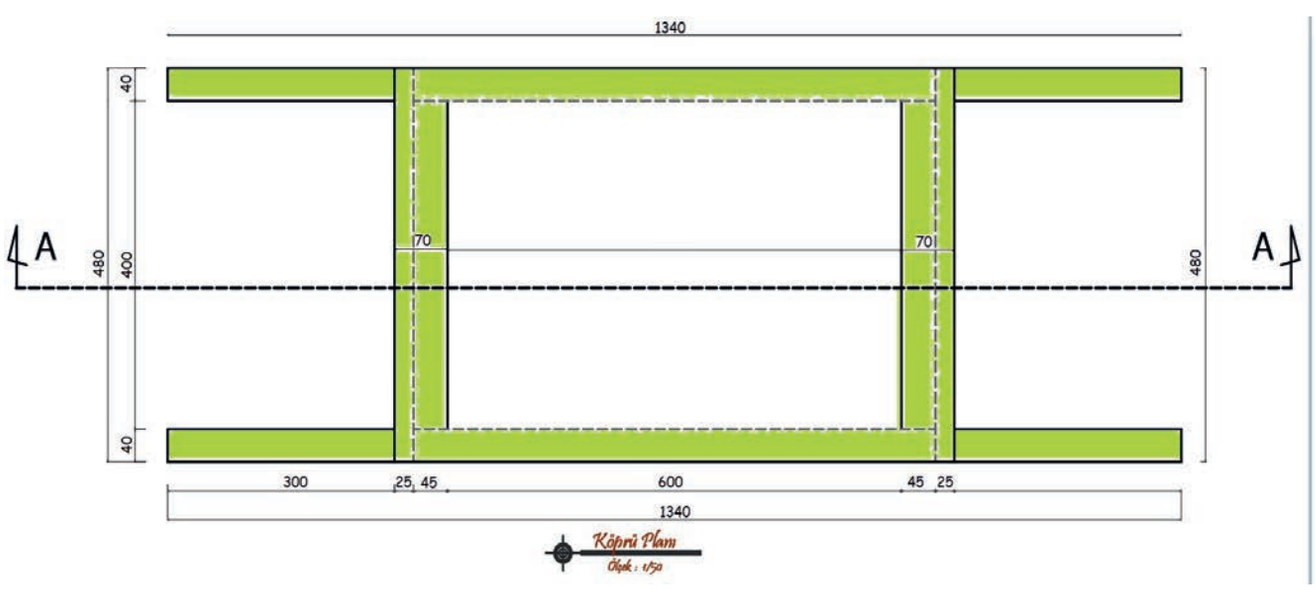
Resim 1.12: Betonarme köprü menfez

Resim 1.13: Çelik köprü menfez

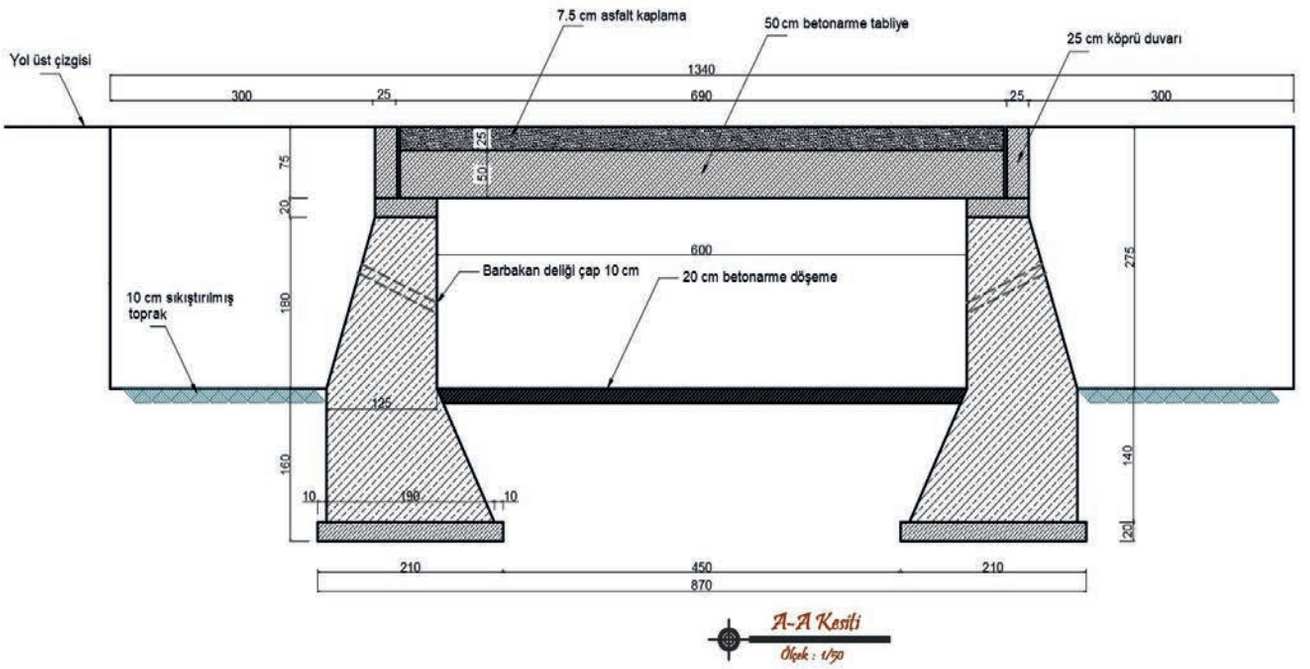
1.3.2. Köprü Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi

Köprü menfez projeleri kapsamında genel vaziyet planı, köprü planı, köprü boy kesiti, köprü en kesitleri, köprü memba ve mansabına ait akarsu en kesit ve detayları ile yaya ve taşıt korkulukları, genleşme derzleri, mesnet elemanları, drenaj, aydınlatma ve benzer işlere ait her türlü detay ve boyutları belirlenir.

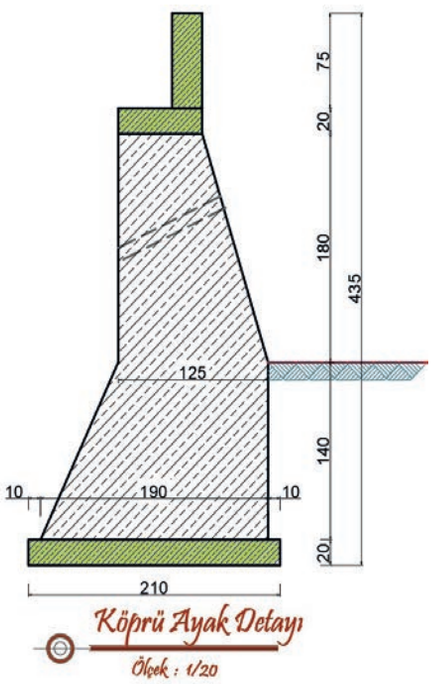
Bütün köprü elemanlarının plan, kesit, teçhizat ve/veya donatı paftalarının 1/1000, 1/500, 1/250, 1/200, 1/100, 1/50 1/25, 1/10 veya her biri için tanımlanmalarına yeterli ölçeklerde ve standartlara uygun olarak hazırlanır (Şekil 1.11, Şekil 1.12, Şekil 1.13).



Şekil 1.11: Köprü menfez planı



Şekil 1.12: Köprü menfez kesiti



Şekil 1.13: Köprü menfez ayağı detay çizimi

SIRA SİZDE

Köprülerle menfezleri birbirinden ayıran en belirgin özellikler nelerdir? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

1.4 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KÖPRÜ MENFEZLER

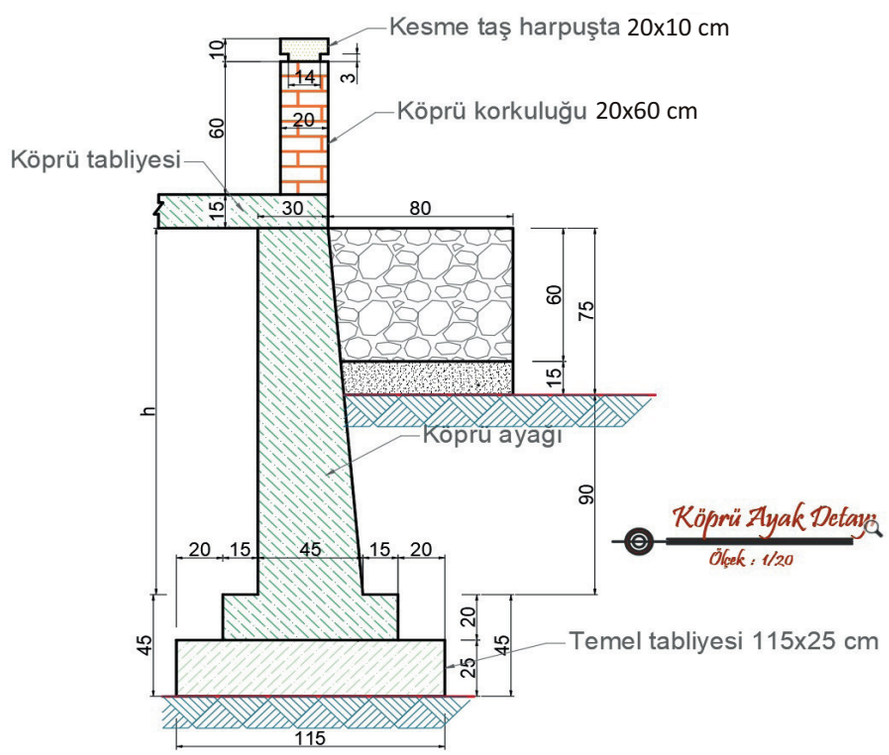
Bu çalışmanın amacı, köprü menfezler detay çizimi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Köprü ayak detayı proje bilgileri okuma uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Köprü Menfez Ayak Detay Çizimi, Ölçek 1/20 (Şekil 1.14).



Şekil 1.14: Köprü menfez ayağı detay çizimi

İstenenler

Şekil 1.14'te verilen köprü menfez ayak detay çizimi proje okumasını yapınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda proje değerlerini doğru okumaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız aşağıda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Temel tabliyesi ölçüleri okunur.
2. Köprü ayağı gösterilir.
3. Köprü ayağına ait ölçüler okunur.
4. Köprü tabliyesi gösterilir.
5. Köprü korkuluğu gösterilir.
6. Köprü korkuluğu ölçüleri okunur.
7. Kesme taş harpuşta ölçüleri okunur.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Temel tabliyesi ölçülerini okudunuz mu?		
2	Köprü ayağını resimde gösterdiniz mi?		
3	Köprü ayağına ait ölçüleri okudunuz mu?		
4	Köprü tabliyesini resimde gösterdiniz mi?		
5	Köprü korkuluğunu resimde gösterdiniz mi?		
6	Köprü korkuluğu ölçülerini okudunuz mu?		
7	Kesme taş harpuşta ölçülerini okudunuz mu?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Kutu menfezleri araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

1.5. KUTU MENFEZLER

Kutu Menfezler: Yüzeysel drenaj sırasında dolgunun bir tarafında biriken veya bu taraftan gelen akarsuyu yol gövdesinin diğer tarafına geçirmek için kullanılan kare veya dikdörtgen kesitli betonarme su geçitlerine kutu menfez adı verilir (Resim 1.14).

Resim 1.14: Kutu menfez

Kutu menfezler toprağın zayıf olduğu ve akarsu rejiminin fazla değişmediği yerlerde yekpare dökülen, sert çerçeveli yapılardır. Menfezin alt levhası altındaki zemine basıncı azaltır. Bu nedenle ayrı bir temele ihtiyaç duyulmaz.

Serbest açıklıkları 1,00-1,50-2,00-2,50-3,00 m ve serbest yükseklikleri 0,60-1,00-1,50-2,00-3,00 m olan, her iki ucunda yani memba ve mansap tarafında kanat duvarları bulunan, kutu kesitli olarak yapılan menfezlere **betonarme kutu menfez** denir. Belli açıklık ve yüksekliklerde tek gözlü, iki gözlü ve üç gözlü olarak standartlaştırılmıştır.

Tek gözlü menfezlerden serbest açıklığı 1,00 m ve 1,50 m olanlar en fazla 15,00 m; serbest açıklığı 2,00-2,50 ve 3,00 m olanlar ise en fazla 9,00 m yükseklikteki dolguların altında kullanılır. İki ve üç gözlü olanlar en fazla 6,00 m dolgu yüksekliğine kadar uygulanabilir.

Betonarme menfezin yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

1. Menfezin beton sınıfı C25, betonarme demiri S420, menfez altına dökülen grobeton C16 beton sınıfı olarak yapılır.
2. Menfez taban betonarmesinin temiz ve düzgün bir yüzeyde olabilmesi için kutu menfezin altına yani zemin üzerine 5 cm kalınlığında C16 grobeton dökülür ve menfez bunun üzerine inşa edilir.
3. Menfez taban uzunluğu 15,00 m'yi geçerse bir dilatasyon derzi bırakılır.
4. Menfezin konulduğu kesitte arazi fazla eğim değişikliği gösteriyor ve menfezin tek eğimli yapılması fazla kazıyı gerektiriyor ise bu durumda menfez tabanı araziye uydurulur ve menfez birden fazla eğimde yapılır. Eğim değişme noktalarında dilatasyon derzi bırakılır.
5. Menfezin yapımı bittikten sonra yan ve üst yüzeylerine, ayrıca kanat duvarlarının dış yüzeylerine katran sürülür.
6. Menfezin üzerine yapılacak dolgu, menfezin iki tarafında aynı zamanda teşkil olunur. Bu sırada büz menfezlerde olduğu gibi sıkıştırmaya önem verilir. Aksi takdirde yol trafiğe açıldıktan sonra menfezin bulunduğu kesitlerde, menfezin iki kenarında olmak üzere düzensiz oturmalar meydana gelir.
7. Su akım hızı yüksek olan, fazla taş ve sürüntü maddesi getiren derelerde kutu menfez yerine başka tür menfez yapılmalıdır. Bu mümkün olamıyorsa ve kutu menfez seçimi zorunlu ise radye üstü taş ile kaplanmalı, yan duvarların aşınma etkisine maruz kalan kısımlarının demir teçhizat dışındaki beton et kalınlıkları 8 cm'ye çıkarılmalıdır.
8. Kutu menfezlerin tiplerine göre taban, tavan, yan duvarlar ile kanat duvarlarına ait ölçüleri, ayrıca kalıp ve demir teçhizatı, dilatasyon derzleri ile her türlü ayrıntılar "KGM Standart Kutu Menfez Tiplerine" uygun olarak planlanır.

Kutu menfezler, genellikle drenaj sisteminin bir parçası olarak suyu kanalize etmek için yaygın olarak kullanılan bir tür prefabrik betonarme yapıdır. Kutu menfezler, yekpare olarak dikilen iki yatay ve iki dikey döşemeden yapıldıklarından yüksek setli bir karayolu veya demiryolu köprüsünün altından sınırlı akışı olan akarsuyu geçmek için kullanılması uygundur. Kare veya dikdörtgen açıklıklı betonarme sert çerçeveli kutu menfezler 4,00 m açıklığa kadar kullanılır. Menfezin yüksekliği genellikle 3,00 m'yi geçmez.

Kutu menfezler, sağlamlıkları ve yekpare hareketleri nedeniyle ekonomiktir. Alt döşeme, radye döşeme işlevi gördüğü ve doğrudan zemine dayandığı için ayrı temellere ihtiyaç duyulmaz. Daha küçük deşarjlar tek hücreli kutu menfezlerle, daha büyük deşarjlar ise çok hücreli kutu menfezlerle yönetilir.

Kutu menfezler, en sık kullanılan menfez tasarımlarından biridir. Kutu menfezlerin tabanının beton olması nedeniyle su içlerinden serbestçe akabilir. Suyun yön değiştirmesi gerektiğinde veya büyük bir su akışı beklendiğinde kompozit yapı kullanılarak kutu menfezler inşa edilebilir.

Kutu menfezler, yüksek dolgu altlarında açıklıkları 2,00-4,00 m arasında kutu kesitli olarak inşa edilen menfezlerdir. Montajları kolay ve dayanıklı yapılardır. Kemerli menfezler genellikle üzerine fazla yük binmeyen küçük çaplı yolların altına inşa edilir.

Kutu menfez kalıp sistemi uygulamaları; tarımsal alanlara su taşımada, sel suyunu engellemede, dere suyunu köy ve kasabalara bağlama gibi birçok alanda kullanılmak üzere inşa edilen yapıdır. Ayrıca kutu menfezler, yapıların altından elektrik, su ve doğal gaz hattı geçirilmesi ihtiyacı hâlinde kullanılır.

Kutu menfezlerin kullanım alanları aşağıda açıklanmıştır.

Köprü Yapımı: Kutu menfezler genellikle köprü oluşturmak için kullanılır ve altındaki akarsuların bütünlüğünü korurken yolların, trenlerin ve rayların inşasına olanak tanır.

Drenaj Yapıları: Prefabrik kutu menfezler yağmur suyu drenaj sistemlerinin iyi çalışmasını ve taşkınların önlenmesini sağladığından drenaj sistemleri için de kullanılır.

Endüstriyel Kullanım İçin Kanallar: Kutu menfezler elektrik kablolarının taşınmasında, buhar, hava veya su kanalı olarak kullanılır. Bazı durumlarda acil çıkış yolları olarak da kullanılabilir.

Kutu Menfezlerin Faydalı Yönleri

Drenaj ve ulaşım amacıyla kullanılan ve diğer yapı türlerine kıyasla birçok faydası olan kutu menfezlerin özelliklerinden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

a. Yapısal Dayanıklılık: Kutu menfezler, sağlamlıkları ve dayanıklılıklarıyla bilinir. Bu da onları ağır yüklere, toprak basıncına ve su akışına maruz kaldıkları zorlu ortamlarda kullanım için ideal kılar.

b. Kolay Kurulum: Kutu menfezler saha dışında önceden üretilir ve daha sonra inşaat sahasına taşınır. Bu da kurulumlarını kolay ve hızlı hâle getirerek genel inşaat süresini ve maliyetini azaltır.

c. Az Bakım: Kutu menfezler, önemli bir onarım gerektirmeden uzun süre dayanacak şekilde tasarlandıkları için minimum bakım gerektirir. Ayrıca korozyon, aşınma ve kimyasal bozulma gibi çevresel faktörlere karşı dayanıklıdır.

d. Çok Yönlü Tasarım: Kutu menfezler farklı boyut, şekil ve açılara uyum sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Bu da onları farklı saha koşullarına ve gereksinimlere uyarlanabilir hâle getirir.

e. Çevresel Sürdürülebilirlik: Kutu menfezler dayanıklı ve geri dönüştürülebilir bir malzeme olan betondan üretildiği için çevre dostudur.

f. Geliştirilmiş Akış Kapasitesi: Kutu menfezler, diğer drenaj yapılarına kıyasla daha büyük bir akış kapasitesine sahiptir. Bu durum kutu menfezlerin daha yüksek hacimde su taşımasına ve su baskını riskini azaltmasına olanak tanır.

Kutu Menfezlerin Sakıncalı Yönleri

Kutu menfezler birçok avantaj sunarken belirli bir projede kullanılmadan önce dikkate alınması gereken bazı potansiyel dezavantajlara sahiptir. Kutu menfezlerin ana dezavantajlarından bazıları aşağıda açıklanmıştır.

a. Sınırlı Açıklık Uzunluğu: Kutu menfezler genellikle daha kısa açıklıklar için kullanılır ve taşıma kısıtlamaları nedeniyle uzunlukları sınırlıdır. Daha uzun açıklıklar daha karmaşık taşıma düzenlemeleri gerektirir ve bu da projenin maliyetini önemli ölçüde arttırır.

b. Kısıtlı Açıklıklar: Kutu menfezlerin sabit bir yüksekliği ve genişliği vardır. Bu durum sınırlı açıklığa sahip projelerde sorun oluşturabilir. Kazı ve dolgu gerektirebilir. Projenin genel maliyetine ve süresine katkıda bulunabilir.

c. Onarım ve Bakım Zorluğu: Kutu menfezlerin onarılması veya elemanlarının değiştirilmesi zordur. Menfeze erişim genellikle sınırlı olup onarımları maliyetlidir.

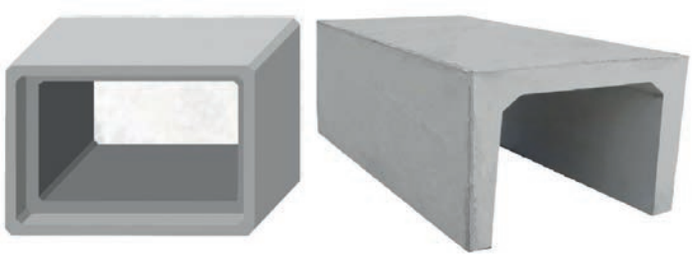
d. Bazı Alternatiflere Göre Daha Yüksek Maliyet: Kutu menfezler gerekli kazı, dolgu ve nakliye nedeniyle borular veya açık kanallar gibi diğer drenaj yapılarına göre daha maliyetlidir.

e. Estetiklik: Kutu menfezler estetik yapıya sahip olmadığından görsel etkinin önemli olduğu alanlarda kullanılması önerilmez.

1.5.1. Kutu Menfez Çeşitleri

Her birinin kendine özgü tasarımı ve amacı olan kutu menfezlerin en yaygın olarak kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

1. **Prefabrik Kutu Menfezler:** En yaygın kullanılan kutu menfez türüdür. Prefabrik betondan yapılır ve sürekli bir yapı oluşturmak için sahada birbirine uyacak şekilde tasarlanır (Resim1.15).
2. **Kemer Kutu Menfezler:** Üst kısmı kemer şeklinde olan kutu menfezlerdir (Resim 1.16).



Resim 1.15: Prefabrik kutu menfez

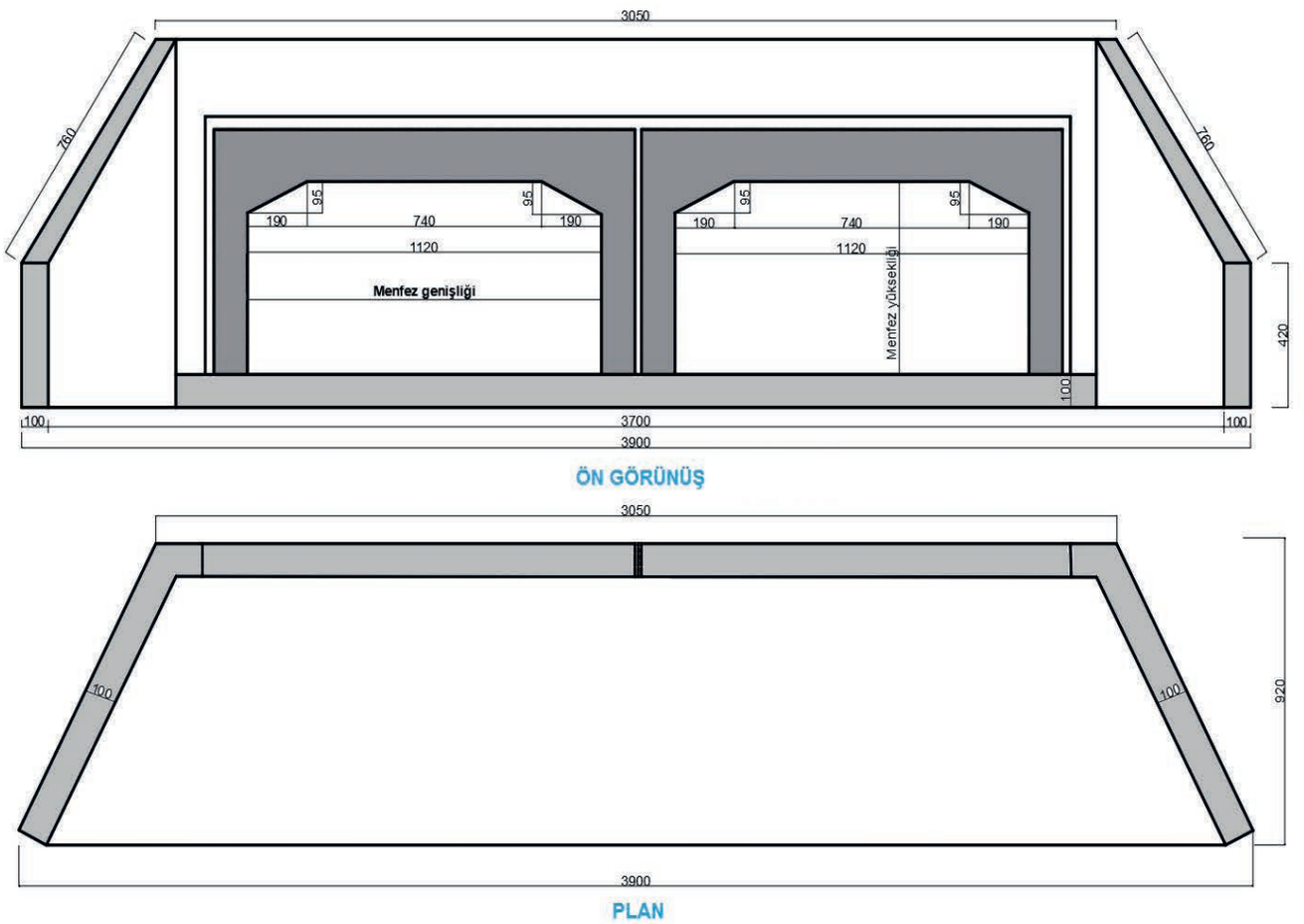
Resim 1.16: Kemer kutu menfez

3. **Üç Kenarlı Kutu Menfezler:** Daha kısa açıklıklar ve daha düşük akış hızları için kullanılan üç kenarlı, U kesitli kutu menfezlerdir.
4. **Çift Kutu Menfezler:** Yan yana yerleştirilen ve aralarında ortak bir duvar bulunan iki kutudan oluşan menfezlerdir. Bu tasarım, gerekli desteği sağlamaya devam ederken akış kapasitesinin arttırılmasına da olanak tanır.
5. **Çelik Takviyeli Beton Kutu Menfezler:** Çelikle takviye edilen, ilave güç ve dayanıklılık sağlayan kutu menfezlerdir. Kutu menfez içine yerleştirilen demir çubuklar menfez alanında kaynak yapılarak menfez takviyesi sağlanır.
6. **Yerinde Dökme Kutu Menfezler:** Menfez yerinin kazılması, kalıbın hazırlanması, donatıların yerleştirilmesi, betonun dökülmesi, kalıbın alınması, yalıtım ve dolgu yapım aşamaları ile oluşturulan menfezlerdir (Resim 1.17).

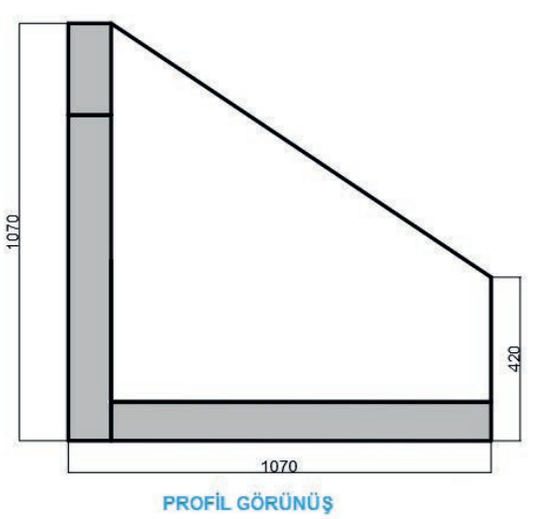
Resim 1.17: Yerinde dökme kutu menfez

1.5.2. Kutu Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi

Kutu menfez plan, kesit ve görünüşlerinin çizimi boru menfez çizimleri ile benzerlik gösterir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15.a: Kutu menfez plan (yatay kesit) ve ön kesit görünüş çizimi



Şekil 1.15.b: Kutu menfez profil kesit görünüş çizimi

1.6 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KUTU MENFEZLER

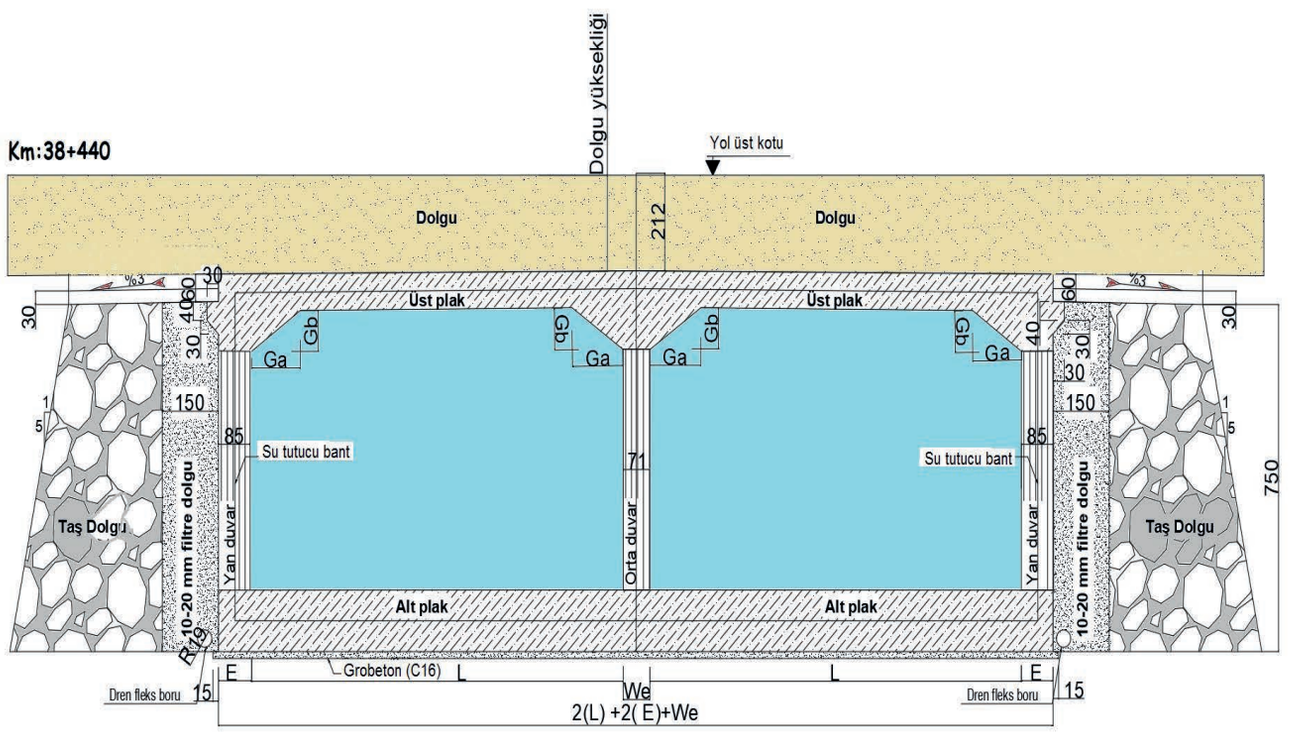
Bu çalışmanın amacı, menfez projelerinin okunması ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Menfez kesit çizim proje bilgileri okuma uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Menfez kesit çizimi (Şekil 1.16).



Şekil 1.16: Kutu menfez kesit çizimi

İstenenler

Şekil 1.16'da verilen kutu menfez kesit çizimi proje okumasını yapınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda proje değerlerini doğru okumaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Proje üzerinde “we” değeri bulunur.
2. Proje üzerinde “E” değeri bulunur.
3. Menfez üst dolgu yüksekliği okunur.
4. Taş dolgu yüksekliği okunur.
5. Taş dolgu yan eğim değeri plan üzerinden okunur.
6. 10-20 mm filtre dolgu genişliği okunur.
7. Menfez başlangıç kilometre değeri okunur.
8. Kilometre değerinde yer alan sayıların birimleri açıklanır.
9. Dren fleks boru yarıçapı okunur.
10. %3 eğimin projedeki karşılığı açıklanır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için “Evet”, kazanamadığınız beceriler için “Hayır” kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Proje üzerinde “we” değerini buldunuz mu?		
2	Proje üzerinde “E” değerini buldunuz mu?		
3	Menfez üst dolgu yüksekliğini okudunuz mu?		
4	Taş dolgu yüksekliğini okudunuz mu?		
5	Taş dolgu yan eğim değerini plan üzerinden okudunuz mu?		
6	10-20 mm filtre dolgu genişliğini okudunuz mu?		
7	Menfez başlangıç kilometre değerini okudunuz mu?		
8	Kilometre değerinde yer alan sayıların birimlerini açıkladınız mı?		
9	Dren fleks boru yarıçapını okudunuz mu?		
10	%3 eğimin projedeki karşılığını açıkladınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

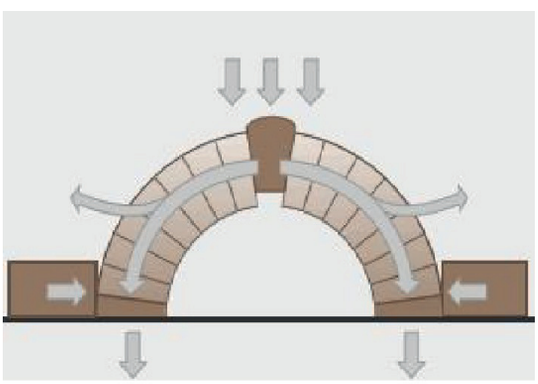
HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Kemer menfezlerde kilit taşının kullanım nedeni ile ilgili düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız ve ortaya çıkan düşünceleri listeleyiniz.

1.7. KEMERLİ MENFEZLER

TDK sözlüğüne göre kemer; iki sütun veya ayağı birbirine üstten yarım çember, basık eğri, yonca yaprağı vb. biçimlerde bağlayan ve üzerine gelen duvar ağırlıklarını iki yanındaki ayaklara bindiren tonoz bağlantı olarak tanımlanır. Kemer şeklinde yapılan menfezlere **kemer menfez** denir. Dolgu yüksekliği fazla olan yerlerde ve dar akarsu geçitlerinde yaygın olarak kullanılır. Geleneksel olarak kemer, birbirine uyum sağlayacak şekilde dikkatlice kesilerek bir dizi bloktan yapılmış ve yarım daire şeklinde oluşturulmuş kavisli bir kiriştir. Bu bloklar kama şeklindedir.

Kemerin basit kirişe göre gelişmesini sağlayan temel özellik, dikey kuvvetlerin yatay olarak kısmen dağıtılmasıdır (Şekil 1.17). Bu tip menfezler boru menfeze benzemektedir, ancak bu menfezde kemerin altında kemer ayakları bulunmaktadır. Bu menfezin geçişi çok geniştir ve büyük bir su akışını iletebilir. Estetik güzellikleri bu menfezlerin en belirgin özellikleridir (Resim 1.18). Kemer menfezler tuğladan, taş duvardan, metalden veya betonarmeden yapılmaktadır. Kemer yapımında kullanılacak malzeme, inşaat malzemesinin bulunabilirliğine ve ucuzluğuna göre seçilir. Her bir kemerin açıklığı 3,00 m'den fazla tutulmamalıdır.



Şekil 1.17: Kemerde yük dağılımı

Resim 1.18: Kemerli menfez

Kemer menfezler yapı itibarı ile su seviyesi ve altında yapıldıklarından özellikle göç eden balık kolonileri için bir engel teşkil etmemekte ve çevreyle ilgili yapıyı bozmamaktadır. Bu tip menfezler tek veya birden fazla kemerle de yapılmaktadır.

Kemerli menfezlerin faydalı yönleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Açıklıkları ve yük taşıma güvenlikleri nedeniyle dayanıklı yapılardır.
2. Düşük bir bütçe ile tamamlanabilmektedir.
3. Sağlam bir temele sahiptir.

Kemerli menfezlerin sakıncalı yönleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Tasarımları ve uygulamaları biraz zordur.
2. İnşa etmek için fazla malzeme gereklidir.

Büzler ve kutu menfezler belli bir dolgu yüksekliğine kadar kullanılabildiklerinden yüksek dolgular altında kemer menfezler uygulanır. Üzerindeki dolgu yüksekliğine, geçireceği debiye ve taban eğimine göre boyutları belirlendikten sonra önceden hazırlanmış tiplere göre projeleri hazırlanır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve serbest açıklığı 0,70-1,00-10,00 m olan kemer menfezler için tip projeler mevcuttur.

1.7.1. Kemerli Menfez Çeşitleri

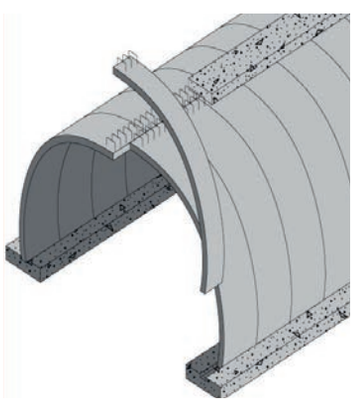
Kemerli menfez çeşitleri kullanılan malzeme türüne göre aşağıda açıklanmıştır.

1. **Taş Menfezler:** Suya dayanıklı taşların çimento harcı, Horasan harcı veya Roma harcı ile örülmesi sonucu oluşur. Kemer ayakları arasına kurulan kalıp üzerine taşlar her iki yandan örülür ve en son kemer orta noktasına kilit taşı sıkıştırılır (Resim1.19).
2. **Tuğla Menfezler:** Tuğla suya karşı dayanıklı bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı ilk zamanlarda kemerli menfez yapımlarında kullanılmıştır (Resim 1.20). Günümüzde restorasyon çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Tuğla, suya karşı dayanıklı olan kireç harcı, çimento harcı, Roma harcı veya Horasan harcı ile beraber kullanılmıştır.

Resim 1.19: Taş menfez

Resim 1.20: Tuğla menfez

3. **Betonarme Menfezler:** Beton ve çelikten yapılan menfezlerdir (Şekil 1.18, Resim 1.21).
4. **Metal Kemerli Menfezler:** Alüminyum ve çelikten özel üretilmiş parçalar menfez alanında cıvatalarla birleştirilir. Daha sonra uygun dolgu malzemesi ile üstleri doldurulur (Resim 1.22).



Şekil 1.18: Betonarme menfez

Resim 1.21: Betonarme menfez

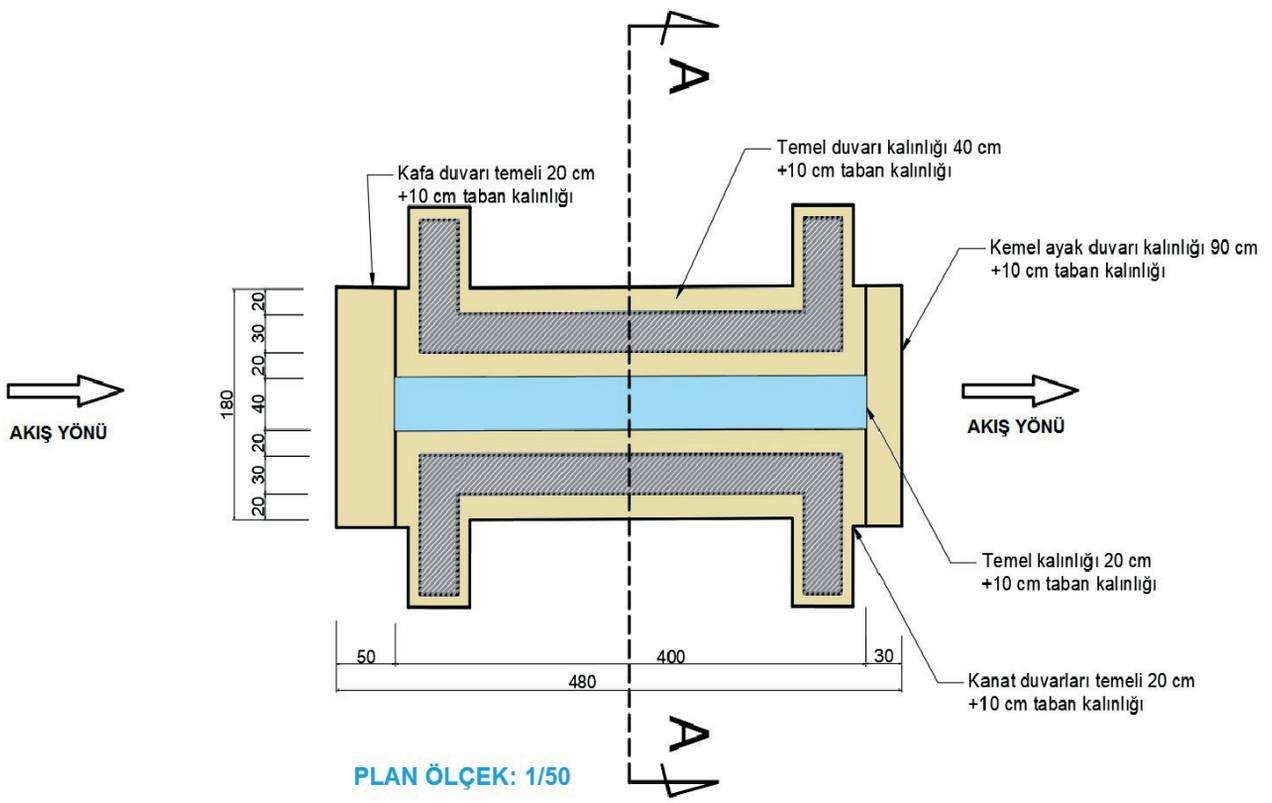
Resim 1.22: Metal kemerli menfez

Kemerli menfez çeşitleri yapılış şekillerine göre aşağıda açıklanmıştır.

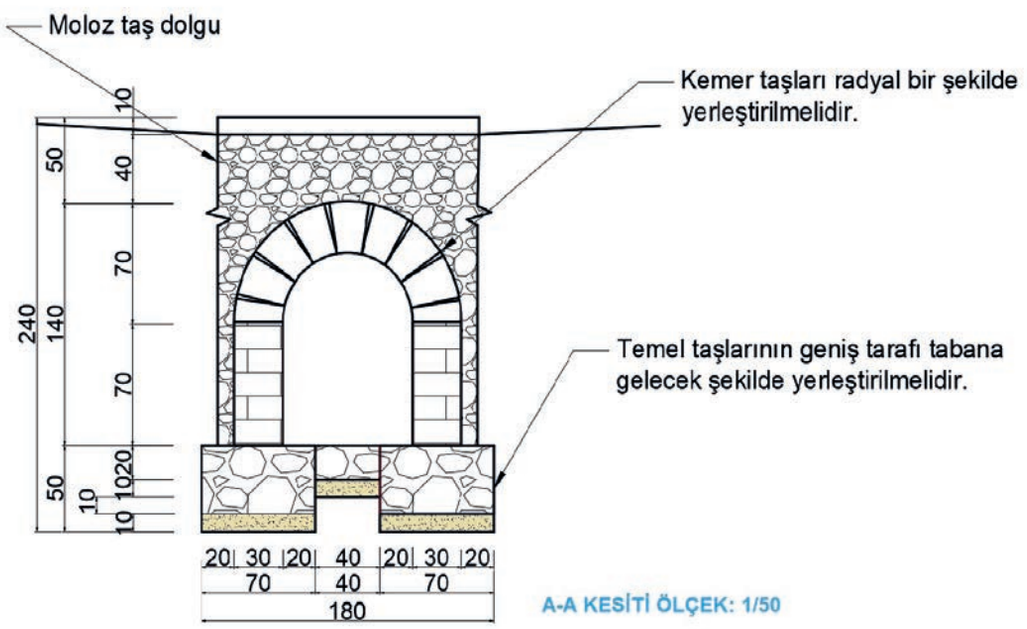
1. **Menfez Alanında İnşa Edilen Menfezler:** Özellikle kâgir malzeme veya metal malzeme kullanılarak yapılan kemer menfez inşası bu gurupta yer alır. Kemer ayakları hazırlama, kalıp hazırlama, kemer gövdesini tamamlama, kanat ve kafa duvarları hazırlama gibi işlem basamakları bulunmaktadır. Kalıp işçiliğinin zorluğu ve kutu menfezlerin yaygın kullanımından dolayı bu menfez çeşidi pek tercih edilmemektedir.
2. **Prefabrik Kemerli Menfezler:** Kemer ayakları hazırlandıktan sonra prefabrik olarak üretilen betonarme kemer parçaları temel üzerindeki kanallara yerleştirilir ve hizaya getirilir. Birleşim yerlerine tasarlandığı şekilde su yalıtımı uygulanır. Taç kirişi betonu kemerin üst kısmı boyunca dökülerek her iki tarafı birbirine kilitler. Daha sonra kafa duvarları veya kanat duvarları tasarlandığı gibi monte edilir. İstenilen açıklığa göre üretilme imkânı vardır.

1.7.2. Kemerli Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi

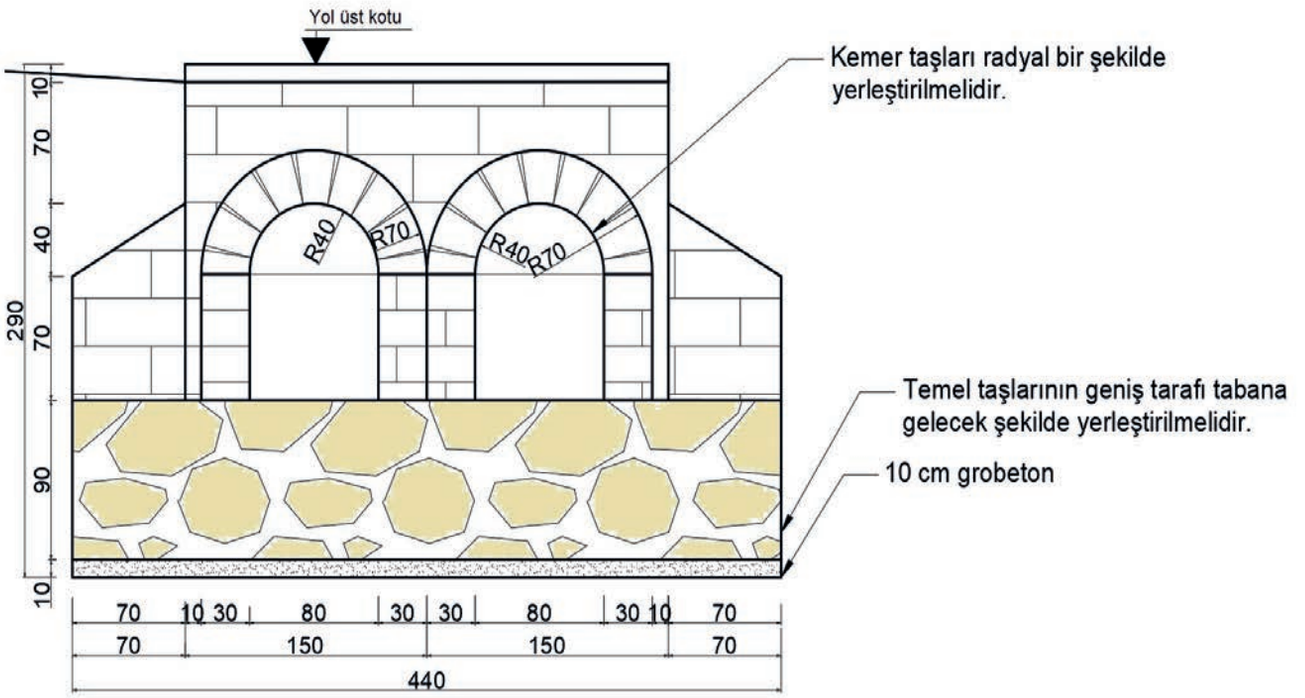
Menfez çizimleri plan kesit görünüş ve detay olarak çizilir (Şekil 1.19, Şekil 1.20, Şekil 1.21). Ülkemizde T.C. Karayolları Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu çizim esaslarına göre çizimler yapılmaktadır.



Şekil 1.19: Kemerli menfez planı



Şekil 1.20: Kemerli menfez kesit çizimi



Şekil 1.21: Kemerli menfez ön görünüş çizimi

SIRA SİZDE

Kemer menfezler hangi malzemelerden yapılır? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

1.8 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KEMERLİ MENFEZLER

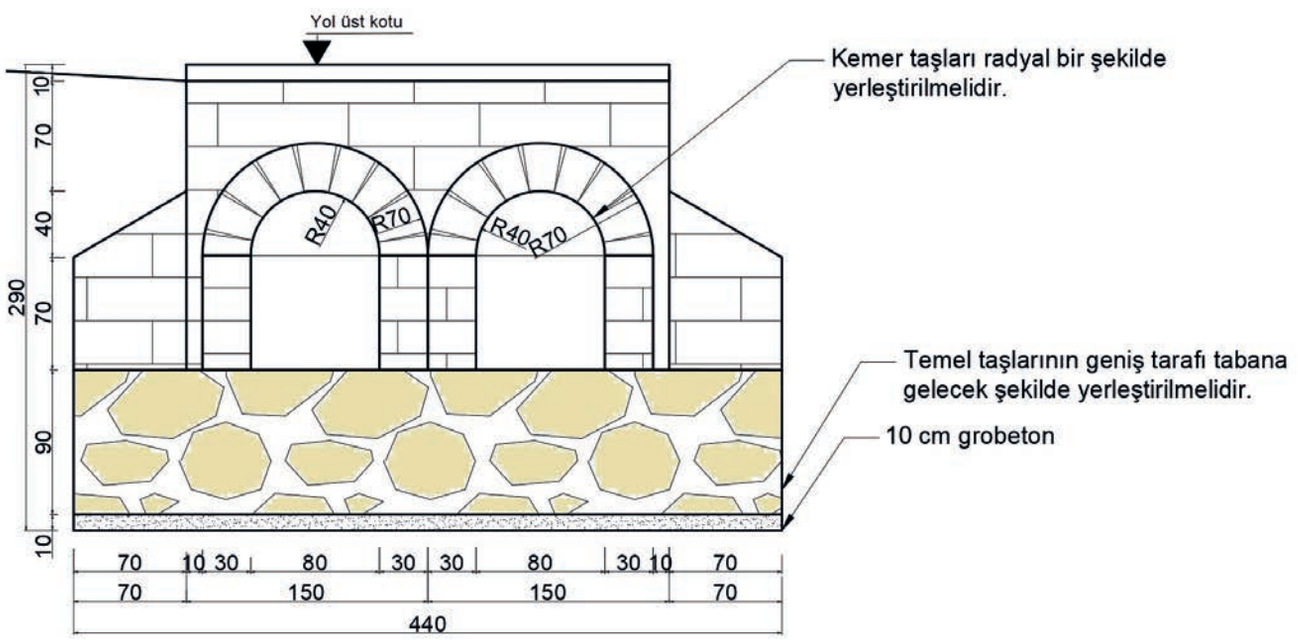
Bu çalışmanın amacı, kemer menfez kroki çizimleri uygulaması yapmaktır.

GÖREV

Taslak kroki çizim uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve resim verilerini dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Kemerli Menfez Görünüş Çizimi, Ölçek 1/50 (Şekil 1.22).



Şekil 1.22: Kemerli menfez görünüş çizimi

İstenenler

Şekil 1.22'de verilen kemerli menfez görünüş çizim krokisini serbest elle çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda ölçüleri doğru okumaya dikkat ediniz.
- Ölçülerin cm olarak verildiğine ve ölçeğin 1/50 olduğuna dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Yaklaşık ölçüde temel altı grobeton çizimi yapılır.
2. Grobeton üzerine menfez havuzu çizilir.
3. Menfez yan kanat duvarları çizilir.
4. Yaklaşık ölçüde kemerler çizilir.
5. Kemer üstü dolgu duvarı çizilir.
6. Yol platformu çizilir.
7. Taramalar yapılır.
8. Yatay ve düşey ölçülendirmeler yapılır.
9. Proje üzerindeki açıklamalar yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Yaklaşık ölçüde temel altı grobeton çizimini yaptınız mı?		
2	Grobeton üzerine menfez havuzunu çizdiniz mi?		
3	Menfez yan kanat duvarlarını çizdiniz mi?		
4	Yaklaşık ölçüde kemerler çizdiniz mi?		
5	Kemer üstü dolgu duvarını çizdiniz mi?		
6	Yol platformunu çizdiniz mi?		
7	Taramaları yaptınız mı?		
8	Yatay ve düşey ölçülendirmeleri yaptınız mı?		
9	Proje üzerindeki açıklamaları yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

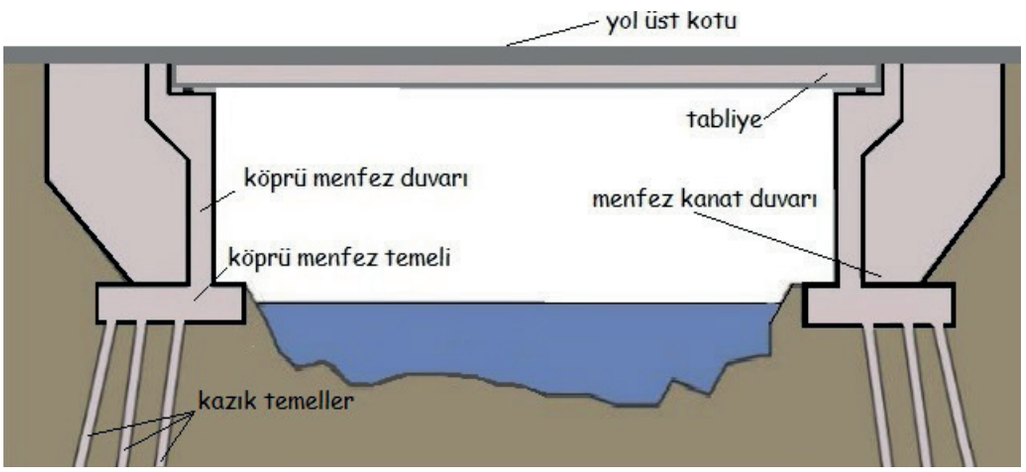
Tabliye menfezler hakkında araştırma yapınız ve sonuçlarını arkadaşlarınızla paylaşınız.

1.9. TABLİYELİ MENFEZLER

Karayolu taşıtlarında büyük kanalların ve nehirlerin küçük bir köprü olarak kullanıldığı yerlerde tabliyeli menfezler kullanılır. Bu tip menfezlerde temeller zemin yüzeyinin altına yapıldıktan sonra tabliyeyi taşıyacak duvarlar hazırlanır (Şekil 1.23). En son tabliyenin inşaatı yapılır. Tabliyeli menfez ve köprülerde, tabliye betonu ara verilmeksizin sürekli bir çalışma ile dökülmelidir.

Tabliyeli menfezler, beton veya kâgir kenar ayaklar ve ricat duvarları ile üst tabliyeden oluşur. Bu menfezler için açıklıkları 1,20 m ile 10,00 m arasında değişen muhtelif tip projeler geliştirilmiştir. Açıklık adedi ne olursa olsun iki kenar ayak mesnedi arasındaki mesafe 8,00 m'den küçük ise tabliyeli menfez; 8,00 m'den büyük ise köprü olarak adlandırılır. Tabliyeli menfezlerde bordürler arasındaki açıklık yol türlerine göre aşağıda verilmiştir.

- Tali köy yolları için 4,00 m
- İşlek köy yolları için 6,00 m
- İl yolları için 7,00 m
- Devlet yolları için 8,00 m



Şekil 1.23: Tabliyeli menfez temel bağlantısı

Köprüler üzerinde yaya kaldırımı ve korkuluk tesisi zorunludur. Tabliye menfezler üzerinde bu zorunluluk yoktur. Menfezlerde tabliye, plaka şeklinde sadece duvarlar üzerine otururken köprülerde kirişler üzerinde yer alır. Tabliyeli menfezler ve köprüler, genellikle dolgu altına yapılmaz ve tabliye üst kotu kırmızı kot olarak alınır. Yapımında betonarme, çelik ve kâgir malzemeler kullanılır. Bu menfezler karayolları standartlarına göre 1,20-10,00 m açıklıklarında yapılır. Orman yollarında ise tabliyeli menfezlere 0,60-3,00 m'ye kadar açıklık verilir. Tabliyeli menfezler altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Altyapı biçim ve boyutları karayolları tarafından hazırlanmış bulunan, tablolar yardımıyla saptanan beton ya da kâgir kenar ayaklarından; üstyapı da bu ayaklar üzerine iki uçtan basan betonarme bir tabliyeden oluşur.

1.9.1. Tabliyeli Menfez Çeşitleri

Tabliyeli menfez çeşitleri aşağıda açıklanmıştır.

1. **Taş Tabliyeli Menfezler:** Küçük menfez çeşididir. Bunlar isminden de anlaşılacağı üzere yol hatlarında genellikle üst kısmı kapalı olarak yapılır. Yan menfez duvarları büyük taşlardan dikme olarak veya taş duvar örgüsü olarak hazırlandıktan sonra elverişli, sağlam yassı taşlarla kapatılır (Şekil 1.24). Taş tabliyeli menfezlerin açıklıkları 0,30-0,80 m arasında olur.

Menfez ayak duvarları 0,40-0,60 m olarak tertiplenir ve üzerine en az 0,30 m kalınlığında kumtaşından oluşan bir taş tabliye kapak oturtulur. Menfez tabanları %8 eğimli yapılır. Bu tip menfezlerde basıncı, iki dayanaklı köprülerde olduğu gibi sağlam mesnetlere oturan taş tabliye karşılar. Bu nedenle taş cinsinin ve taş kalınlığının, dayanak açıklığına ve üstten bastıran yüke göre uygun biçimde seçilmesine dikkat edilmelidir. Bunun için menfezin üzerinden geçen yükün ağırlığı, menfezin taşıdığı dolgu toprak yüksekliği, yol kaplamasının kalınlığı ve taş tabliyenin bastığı iki dayanak arasındaki açıklığın belirlenmesi gereklidir.

2. **Betonarme Tabliyeli Menfezler:** Kâgir veya betonarme ayaklar üzerine betonarmeden yapılan tabliyelerle oluşan menfezlerdir. Kalıp hazırlama, donatı hazırlama ve beton dökme işlemlerini kapsar. Köprü menfezlerde olduğu gibi yapımında C25/30 kalitesinde betonarme betonu ve yüksek dayanım mukavemetine sahip B420C nervürlü donatı çeliği kullanılır.
3. **Çelik Tabliyeli Menfezler:** Taşıyıcı sistem ayakları tamamlandıktan sonra üst tabliye kısmı çelikten üretilen menfezlerdir. Ana taşıyıcı kirişler yerleştirildikten sonra ara kirişler taşıyıcı kirişlere dik olarak bağlanır. Çapraz diyagonal profiller bağlandıktan sonra döşemenin tabliye kısmı yerleştirilir.
4. **Ahşap Tabliyeli Menfezler:** Patika veya yürüyüş yollarında sıkça kullanılan menfezlerdir. Ahşap kirişler üzerinde kaplama tabliyelerden ve korkuluklardan oluşur.

SIRA SİZDE

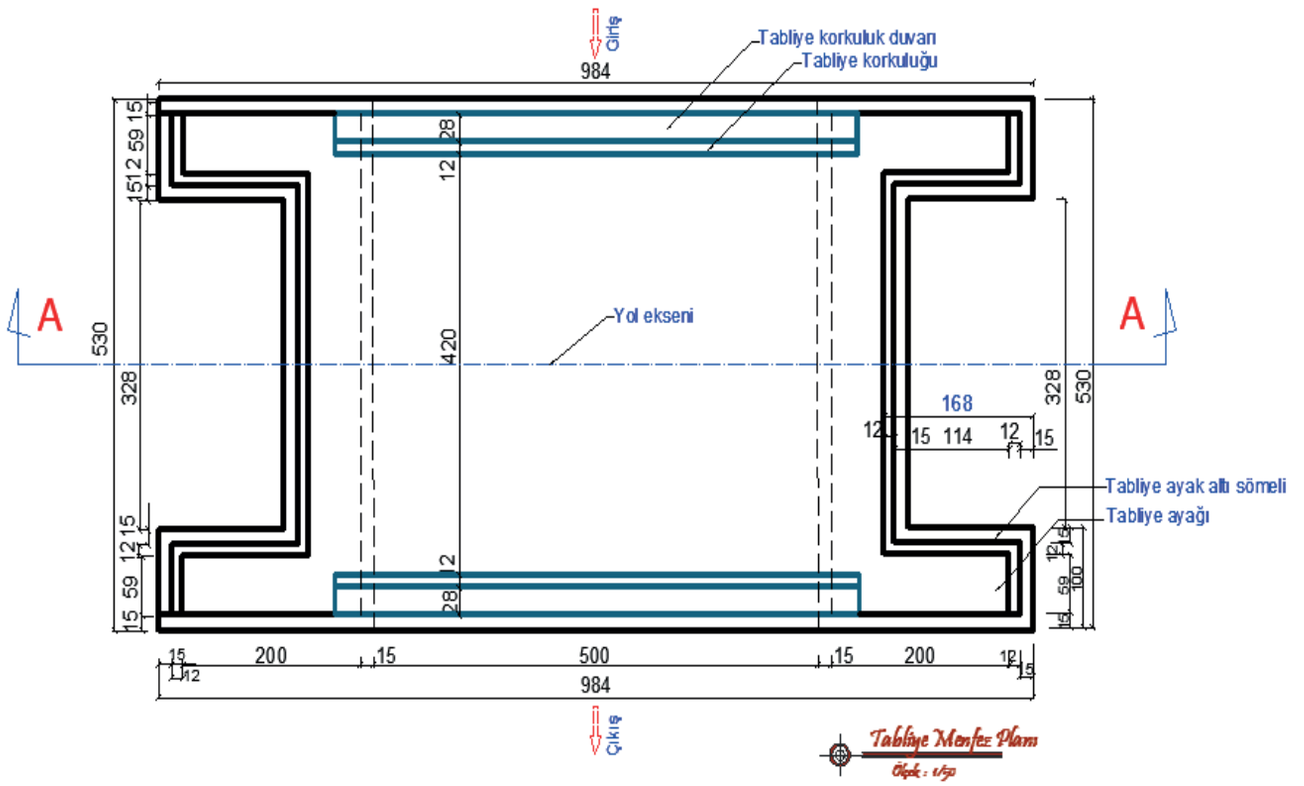
Tabliyeli menfezlerde açıklıklar ne kadar olmalıdır? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

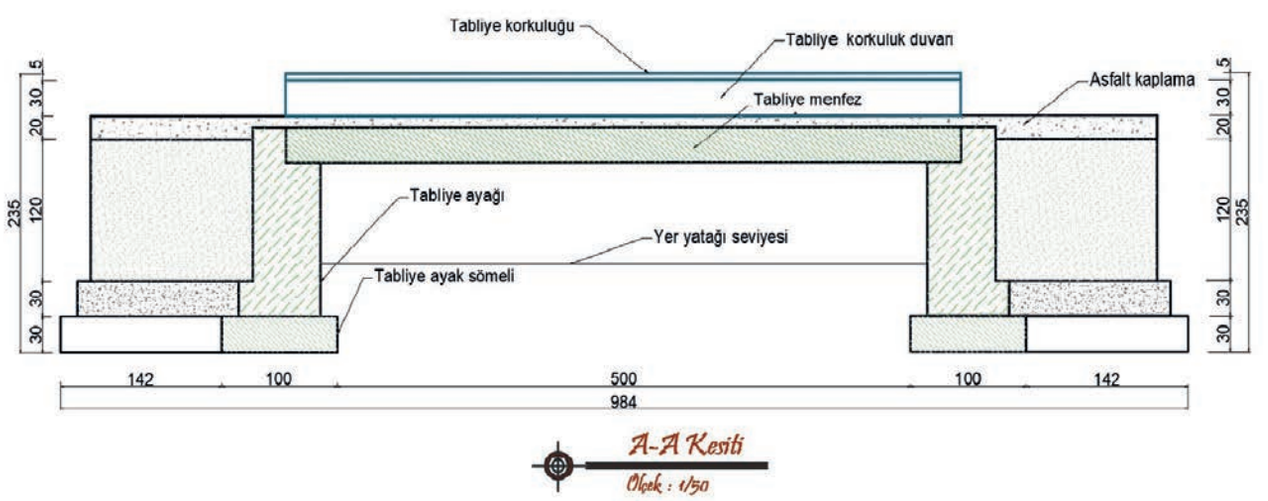
Tabliyeli menfezlerde yol türlerine göre bordürler arası açıklık mesafelerini aşağıdaki boşluğa yazınız.

1.9.2. Tabliyeli Menfez Plan, Görünüş, Kesit, Detay Çizimlerinin İncelenmesi

Tabliye menfez çizimleri; plan, kesit, görünüş ve detay çizimlerinden oluşur. Çizimler, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen ilke ve esaslar doğrultusunda yapılır. Betonarme tabliye menfez planı Şekil 1.24'te ve betonarme tabliye menfez kesiti Şekil 1.25'te verilmiştir.



Şekil 1.24: Betonarme tabliyeli menfez planı



Şekil 1.25: Betonarme tabliyeli menfez kesiti

1.10 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TABLİYELİ MENFEZLER

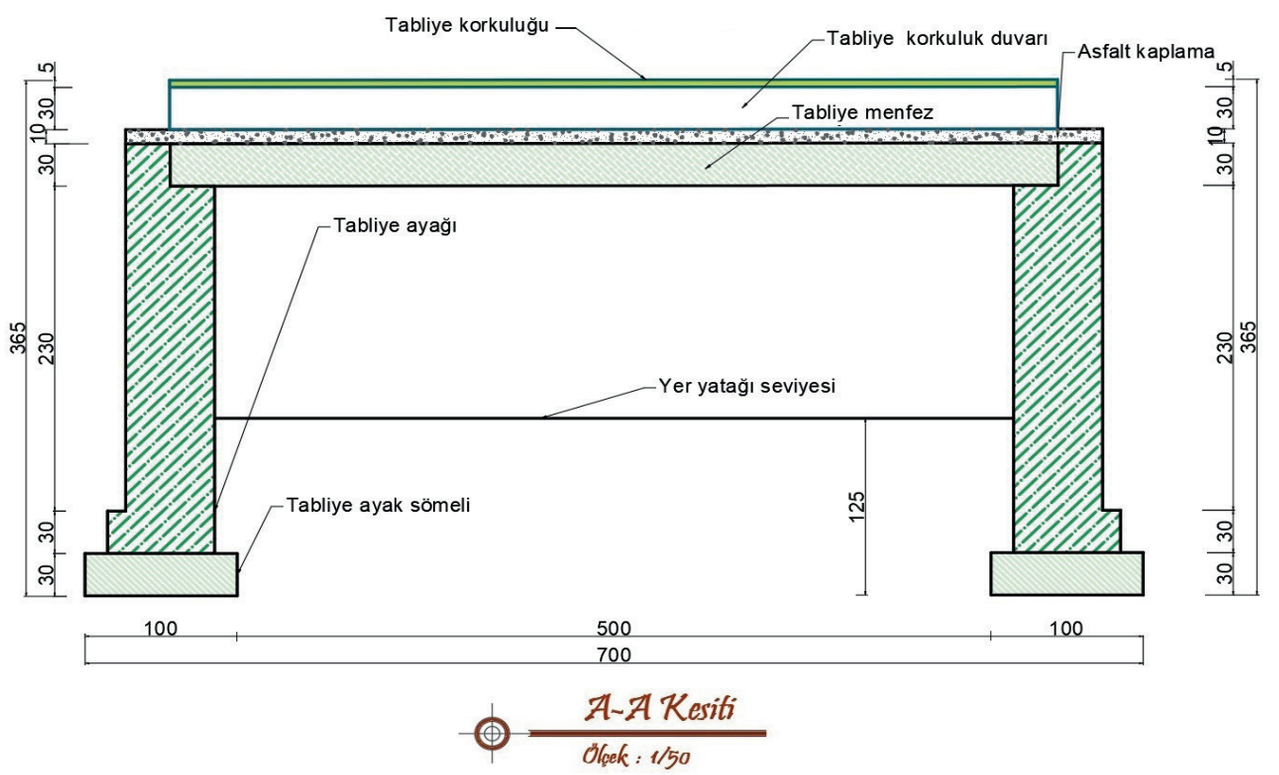
Bu çalışmanın amacı, tabliyeli menfez kesit çizim okuması ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Tabliye menfez kesitine ait şekil üzerinde proje verilerini okuma uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve proje verilerini dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Menfez A-A Kesiti, Ölçek 1/50 (Şekil 1.26).



Şekil 1.26: Betonarme tabliyeli menfez kesiti

İstenenler

Şekil 1.26'da verilen betonarme tabliyeli menfez kesiti çizim krokisini serbest elle çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda ölçüleri doğru okumaya dikkat ediniz.
- Ölçü birimlerine dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Menfez açıklığı gösterilir.
2. Tabliye ayak sömeli gösterilir.
3. Köprü ayak sömeline ait ölçüler okunur.
4. Tabliye ayağı ölçüleri okunur.
5. Yer yatağının seviyesi gösterilir.
6. Tabliye menfez ölçüleri okunur.
7. Asfalt kaplama yeri gösterilir.
8. Asfalt kaplama ölçüleri okunur.
9. Köprü korkuluk duvarı ölçüleri okunur.
10. Kesme taş harpuşta kesit ölçüleri okunur.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Menfez açıklığını projeden gösterdiniz mi?		
2	Tabliye ayak sömelini projeden gösterdiniz mi?		
3	Köprü ayak sömeline ait ölçüleri projeden okudunuz mu?		
4	Tabliye ayağı ölçülerini projeden okudunuz mu?		
5	Yer yatağının seviyesini projeden gösterdiniz mi?		
6	Tabliye menfez ölçülerini projeden okudunuz mu?		
7	Asfalt kaplama yerini resimde gösterdiniz mi?		
8	Asfalt kaplama ölçülerini projeden okudunuz mu?		
9	Köprü korkuluk duvarı ölçülerini projeden okudunuz mu?		
10	Kesme taş harpuşta kesit ölçülerini projeden okudunuz mu?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

1. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. Köprü, viyadük, tünel, menfez, kemer, istinat ve iksa duvarı, tahkimat gibi mühendislik yapılarına ne ad verilir?

A) Hidrolik su yapıları

B) Jeolojik tünel yapıları

C) Mimari sanat yapıları

D) Sanat yapıları

E) Topoğrafik sanat yapıları

2. Menfez içindeki suyun akış hızı hangi değerler arasında olmalıdır?

A) 0,2 m/sn'den düşük ve 5 m/sn'den büyük olmalıdır.

B) 1 m/sn'den düşük ve 10 m/sn'den büyük olmamalıdır.

C) 10 m/sn'den düşük ve 20 m/sn'den büyük olmamalıdır.

D) 10 m/sn'den düşük ve 100 m/sn'den büyük olmalıdır.

E) 20 m/sn'den düşük ve 40 m/sn'den büyük olmalıdır.

3. Menfez yer seçimi yapılırken aşağıdakilerden hangisi dikkate alınmaz?

A) Akarsu yatağının arazi özellikleri

B) İnşaat ve bakım maliyetleri

C) Karayolunun profili

D) Taşkın hasar değerlendirmeleri

E) Yörenin nüfus artış hızı

4. Aşağıdakilerden hangisi menfez kesitlerinden değildir?

A) Daire **B)** Dikdörtgen **C)** Elips **D)** Kare **E)** Üçgen

5. Menfezlerin akarsu giriş ağızlarına ne ad verilir?

A) Mancap **B)** Mankap **C)** Mansap **D)** Mantap **E)** Memba

6. Boru menfeze giren ve çıkan suyun yol yapısına zarar vermemesi için menfeze giriş ve çıkış kısmına, betonarme veya kâgirden yapılan duvara ne ad verilir?

A) Baş **B)** Gövde **C)** Ön **D)** Perde **E)** Yığma

7. Çelik boru menfezlerin çap ölçüleri hangi değerler arasındadır?

A) 30 cm ile 10 m

B) 50 cm ile 20 m

C) 60 cm ile 9 m

D) 120 cm ile 50 m

E) 200 cm ile 12 m

8. Yüzeysel drenaj için kullanılan daire kesitli betondan dökülmüş demirsiz beton borulara ne ad verilir?

A) Büz

B) Betonarme

C) Dökme boru

D) Font

E) Menfez boru

9. Oluklu çelik menfez borularda meydana gelebilecek korozyonu önlemek için oluklu metal menfez çelik boruların 275 g/m² ile 1200 g/m² aralığında çinko ile kaplanması işlemine ne ad verilir?

A) Eloksal

B) Galvanizleme

C) Oksitlenme

D) Kaynaklama

E) Teflonlama

10. Boru menfez planlarında menfez başlangıç noktasında yazan 23+075 km değerinin anlamı aşağıdakilerden hangisidir?

A) Menfez başlangıç noktası, yol başlangıç noktasına 23 m + 75 cm uzaklıktadır.

B) Menfez başlangıç noktası, yol başlangıç noktasına 23 dam + 75 cm uzaklıktadır.

C) Menfez başlangıç noktası, yol başlangıç noktasına 23 km + 7,5 cm uzaklıktadır.

D) Menfez başlangıç noktası, yol başlangıç noktasına 23 km + 75 cm uzaklıktadır.

E) Menfez başlangıç noktası, yol başlangıç noktasına 23 km + 75 m uzaklıktadır.

11. Planlarda yol eksen çizgisi hangi harflerle gösterilir?

A) C ve L **B)** K ve M **C)** R ve K **D)** Y ve C **E)** Y ve E

12. Hesap açıklığı 10 m'den büyük (10 m dâhil) akarsu, vadi, karayolu, demiryolu gibi engelleri geçmek amacıyla inşa edilen yapılara ne ad verilir?

A) Boru menfez

B) Köprü menfez

C) Kutu menfez

D) Tabliye köprü

E) Tünel

13. Taş kemerli menfez yapımında aşağıdaki harçlardan hangisi kullanılmaz?

A) Alçı **B)** Çimento **C)** Horasan **D)** Kireç **E)** Roma

14. Aşağıdakilerden hangisi kemerli menfezlerin tercih edilme sebeplerinden biri değildir?

A) Açıklıkları ve yük taşıma güvenlikleri nedeniyle dayanıklı ve güçlü yapılardır.

B) Düşük bir bütçe ile tamamlanabilmektedir.

C) Göç eden balık kolonileri için bir engel teşkil etmemektedir.

D) Sağlam bir temele sahiptir.

E) Tasarımları ve uygulamaları oldukça kolay olan menfezlerdir.

15. Suya karşı dayanıklı bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı ilk zamanlarda kemerli menfez yapımlarında kullanılmıştır. Günümüzde restorasyon çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır.

Yukarıda özellikleri verilen ve kemer menfez yapımında kullanılan malzeme hangisidir?

A) Betonarme **B)** Briket **C)** Gaz beton **D)** Taş **E)** Tuğla

16. Kemerli menfezlerde, ayaklar arasına kurulan kalıp üzerine taşlar her iki yandan örülür ve en son kemer orta noktasına ..... sıkıştırılır.

Yukarıda boş bırakılan yere hangisi gelmelidir?

A) Kemer taşı **B)** Kilit taşı **C)** Kilitli parke taşı **D)** Mihenk taşı **E)** Üzengi taşı

17. Betonarme tabliye menfezlerinde kullanılacak beton ve donatı çeliği aşağıdaki özelliklerden hangisine sahip olmalıdır?

A) Beton; C10/15 Donatı: Düz donatı çeliği K180D

B) Beton; C15/45 Donatı: Nervürlü donatı çeliği B120C

C) Beton; C20/15 Donatı: Düz donatı çeliği B220C

D) Beton; C25/15 Donatı: Nervürlü donatı çeliği B320D

E) Beton; C25/30 Donatı: Nervürlü donatı çeliği B420C

18. Köprü menfezlerin;

1. Hafif olması,
2. Uzun yıllar bakım gerektirmemesi,
3. Modüler sistem olarak istenilen açıklıklarda fabrikada üretilmesi,
4. Yerinde montaj yapılması en önemli avantajlarındandır.

Yukarıda en önemli avantajları verilen köprü menfez türü hangisidir?

A) Ahşap **B)** Betonarme **C)** Çelik **D)** Taş **E)** Tuğla kemer

19. Yüzeysel drenaj sırasında, dolgunun bir tarafında biriken veya bu taraftan gelen akarsuyu yol gövdesinin diğer tarafına geçirmek üzere kullanılan kare veya dikdörtgen kesitli betonarme su geçitleri olan menfez türü hangisidir?

A) Alüminyum menfez

B) Boru menfez

C) Çelik menfez

D) Kemer menfez

E) Kutu menfez

20. Ülkemizde yol sanat yapıları projelerini düzenleme esaslarını belirleyen kurum aşağıdakilerden hangisidir?

A) T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

B) T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü

C) T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü

D) T.C. Orman Genel Müdürlüğü

E) T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

2. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

2.1. AHŞAP KÖPRÜLER
2.2. UYGULAMA: AHŞAP KÖPRÜLER
2.3. KÂGİR KÖPRÜLER
2.4. UYGULAMA: KÂGİR KÖPRÜLER
2.5. ÇELİK KÖPRÜLER
2.6. UYGULAMA: ÇELİK KÖPRÜLER
2.7. BETONARME KÖPRÜLER
2.8. UYGULAMA: BETONARME KÖPRÜLER

YAPILDIKLARI MELZEMEYE GÖRE KÖPRÜLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Ahşap köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesini ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Ahşap köprülerin yapım dönemlerine göre incelenmesi ve yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Kâgir köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesini ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Kâgir köprülerin yapım dönemlerine göre incelenmesi ve yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Çelik köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesini ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Çelik köprülerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Betonarme köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesini ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Betonarme köprülerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını

Temel Kavramlar

ahşap köprüler, ahşap köprüleri planlama, betonarme köprüler, çelik köprüler, çelik köprülerin korunması, kâgir köprüler, kemer köprüler, tarihi köprüler, köprü ayakları, köprü açıklıkları, köprü eğimleri, köprü elemanları, kompozit köprü, köprü yapım metotları, viyadük köprü

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Klasik Dönem Osmanlı ahşap köprülerini araştırınız ve araştırmalar sonucu edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

2.1. AHŞAP KÖPRÜLER

Kara ve deniz üzerinde geçirilmesi istenen yolların, akarsuların, kanalların ve su borularının herhangi bir engelin ya da vadinin aşılması istenen yerlerinde yapılan ve bunlar için bir dayanak oluşturan sanat yapılarına **köprü** denir.

Köprüler; hizmet ettikleri amaca, köprü altında kalan serbest boşluktan yararlanma biçimine, sabit ya da hareketli olmalarına, yapımda kullanılan malzemenin cinsine, işlevlerinin kısa ya da uzun süreli olmasına göre adlandırılır ve sınıflandırılır.

2.1.1. Yapıldıkları Malzemeye Göre Köprü Çeşitleri

Yapımında kullanılan malzemenin cinsine göre köprüler; ahşap köprüler, kâgir köprüler, çelik ve metal köprüler, beton ve betonarme köprüler şeklinde sınıflandırılır. Ayrıca malzeme cinsine göre kompozit (ahşap ve kâgir, beton ve kâgir, betonarme ve çelik malzemelerin birlikte kullanımı) ve yüksek dayanımlı kompozit malzemelerle de köprüler inşa edilmektedir.

Köprüler yapı elemanlarına ve şekillerine göre dolu gövdeli, kirişli, kafes kirişli, kemer, asma, askılı, açılıp kapanan, yüzer köprüler şeklinde sınıflandırılır. Statik tasarımına göre hiperstatik, izostatik, mafsallı, ankastre, bir veya çok açıklıklı köprüler şeklinde sınıflandırılır.

Yapılış amaçlarına göre yayalar için yaya köprüleri (geçitler), kara ulaşım araçları için karayolu köprüleri, trenler için demiryolu köprüleri, borular için boru köprüleri ve su galerilerinin geçmesi için yapılan galeri köprüleri, suların taşınmasını sağlayan kanallar üzerine yapılan kanal köprüleri olarak sınıflandırılır.

İlk köprülerin tamamı ahşap veya kâgir malzeme olan, taştan yapılan kemerli köprülerdir. Betonarme, metal ve çelik köprülerin yapımına 19. yüzyılın sonlarından itibaren başlanmıştır. 20. yüzyılın başlarından itibaren öngerilmeli betonarme köprüler gerçekleştirilmiş; çelik kalitesinin iyileştirilmesi, kaynak tekniğindeki ve statik hesap metotlarındaki ilerlemeler ile estetik ve büyük açıklıklı betonarme, metal, çelik köprülerle asma ve askılı köprülerin inşası yapılmıştır.

Hangi malzemeyle yapılırsa yapılsın köprüler, genellikle köprü altyapısı ve köprü üstyapısı olmak üzere iki kısımdan oluşur.

Köprü altyapısı, doğrudan doğruya zemine oturan orta ve kenar ayakları ile ayakların oturtulduğu temellerden oluşur.

Köprü üstyapısı; aşılacak engel üzerindeki boşluğu sağlayan tabliyeyi (köprü döşemesini) oluşturan kalaslar, yolu meydana getiren asfalt, kırma taş, kum vb. yapı malzemesi ve taşıyıcı kirişlerden oluşur.

Köprüyü oluşturan elemanlar, işlevleri açısından taşıyıcı elemanlar ve tamamlayıcı elemanlar olmak üzere iki grupta ele alınır.

Taşıyıcı elemanlar; temel blokları, köprü ayakları, duvar kirişleri, köprü tabliyesi, taşıyıcı kirişler (köprü kirişleri) ve köprü kalaslarından oluşur.

Tamamlayıcı elemanlar; kiriş koruma tahtaları (kapak tahtaları), kenar eşikleri ve kenar korkuluklarından oluşur.

2.1.2. Ahşap Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

İlk yapılan modern ahşap köprüler, daha çok kafes sistem türü taşıyıcı sistemler olarak inşa edilmiştir. Kemer türü ahşap taşıyıcı sistem, ahşap köprülerde sık olmasa da kullanılmıştır. Kafes sistem köprülerde alt başlık, çekme gerilmelerinin etkisi altındadır. Üst boşluk ise basınç gerilmelerini karşılar. Ahşap köprülerde köşegen türü elemanlar, kesme kuvvetlerini karşılar. Bazı dönemlerde ahşap köprülerde demir çubuklar da kullanılmıştır.

Tarihi envanter kayıtlarına göre Roma, Doğu Roma, Selçuklu, Osmanlı ve Erken Cumhuriyet dönemlerinden günümüze ulaşan pek çok tarihi köprü bulunmaktadır. Tarihi köprüler yapım tekniğine göre ahşap, kâgir (taş, tuğla vb.) demir ve betonarme kemer şeklinde gruplandırılır. Osmanlı Dönemi köprüleri, Selçuklu Dönemi ve önceki dönem emsalleri gibi günümüze kadar ayakta kalanları kâgir malzeme ile yapılan köprülerdir. Ahşap köprülerin günümüze ulaşanları pek azdır. Kazıklar üzerine oturtulan ahşap köprülerde zamanla çok büyük değişiklikler olmuş ve kemer, kiriş, kafes kiriş, çerçeve, asma ve dolu gövdeli şeklinde adlandırılan köprüler geliştirilmiştir.

Bilinen en eski ahşap köprü, Sabinalı Ancus Martius'un MÖ 620 yılında Tiber Nehri üzerine yaptırdığı Roma'daki Pons Sublicius Köprüsü'dür. Julius Sezar'ın Ren Nehri ve Trayan'ın Tuna Nehri üzerine yaptırdığı köprüler de ahşap köprülerin en eskileri arasında sayılabilir. Kanûnî Sultan Süleyman'ın Karaboğdan Seferi'nde ordunun ağırlıklarıyla birlikte Prut Nehri'ni geçebilmesi için Mimar Sinan'a yaptırdığı ahşap köprünün çok beğenilmesi, kendisini mimarbaşılığa getirilmesini sağlamıştır.

Ahşap malzeme, köprülerin yapımında kullanılan en eski yapı malzemesidir ve doğal koşullar karşısındaki dayanımı taşa göre çok daha zayıftır. Bu nedenle günümüze yapım tarihleri en fazla 150 yıl öncesine dayanan az sayıda köprü ulaşabilmiştir. Karadeniz Bölgesi'nde yerel halk tarafından inşa edilen ahşap köprüler bulunmaktadır ve bir kısmının eski fotoğraflarına ulaşılabilmiştir.

Ülkemizdeki ahşap köprüler genellikle taş ayaklar üzerine inşa edilmiştir. Basit kirişlerle geçilen ana açıklıklar, enine ve boyuna kirişlerin birbiri üzerine bindirilmesi suretiyle teşkil edilen konsol kirişler üzerine oturtulmuştur. Döşeme kaplaması, dikmeler ve korkulukların yapımında yine ahşap malzeme kullanılmıştır ve bazılarının üzeri çatı ile örtülmüştür. Köprülerin yapımında genellikle çam, meşe ve kestane cinsi ağaçlar kullanılmıştır. Ahşap elemanların bağlantılarında geçme tekniği ya da demir çiviler kullanılmıştır. Bugüne kadar ayakta kalan ahşap köprüler; kiriş, konsol, asma ve kompozit formlarda inşa edilmiştir.

Tarihi Ahşap Kirişli Köprüler: Ahşap köprülerin ilk ve en eski örnekleri, nehrin bir tarafından diğer tarafına uzatılan ağaç gövdelerinden oluşturulmuştur. Benzer sistemlerin geliştirilmesiyle ilk basit kirişli köprüler inşa edilmiştir. Türkiye'de bu sistemle inşa edilen en eski köprü, günümüzde Çorum ili sınırları içinde yer alan, Hitit İmparatorluğu'nun başkenti Hattuşa yakınlarındaki Hitit Köprüsü'dür. 8,5 m açıklığı geçen ve Ambarlıkaya Geçidi'nin bulunduğu yerde inşa edilmiş olan köprü, basamak şeklinde oyulan kayaların üzerine taşların üst üste bindirilmesiyle oluşturulmuş ve üstyapısı ahşap kirişlerle geçilmiştir.

Basit kirişli ahşap köprülerden Tarihi Pulur Köprüsü, Erzurum'un Pulur köyü sınırları içerisinde, Pulur Çayı üzerinde yapılmıştır. 15. yüzyılda Osmanlı Dönemi'nde inşa edilmiş olan köprü, dört açıklıklı olup 135,35 m uzunluğunda ve 5,50 m genişliğindedir. Pulur köyü sınırları içerisinde bulunan tarihi Pulur Köprüsü, kâgir ayaklar üzerine ahşap kirişli tabliyeli olarak inşa edilmiştir ve günümüze ulaşan tek ahşap kirişli karayolu köprüsüdür (Resim 2.1).

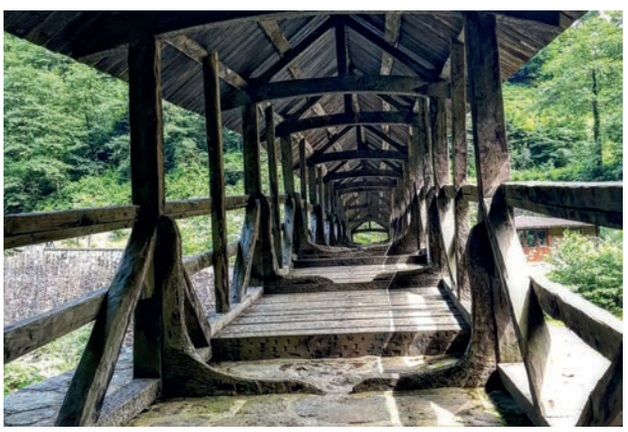
Resim 2.1: Pulur Köprüsü kısmi görünüm

Ahşap kirişli köprülere bir diğer örnek ise 19. yüzyılın sonlarında inşa edilmiş Kastamonu ili, Abana ilçesinde bulunan Tarihi Yakaören Köprüsü'dür. 18,50 m uzunluğunda ve ortalama 2,80 m genişliğinde olan tek açıklıklı köprü, taş kenar ayaklar üzerine oturtulan 40 cm çapında iki adet ahşap boyuna kiriş ile 11,50 m açıklığı geçmektedir. Köprü üst yapısını oluşturan karkas sistem, ahşap payandalar ile içeriden desteklenmiştir (Resim 2.2).

Resim 2.2: Yakaören Köprüsü

Tarihi Ahşap Konsol Köprüler: Daha geniş mesafeleri aşabilmek amacıyla, kiriş köprülerin gelişmiş bir formu niteliğinde ahşap konsol köprüler inşa edilmiştir. Ülkemizde konsol kirişlerle inşa edilmiş ahşap köprüler genellikle ilave sistemlerle desteklendiği için kompozit köprüler içerisinde değerlendirilir. Bununla birlikte az sayıda da olsa sadece konsol kirişlerle inşa edilen köprüler de bulunmaktadır.

Rize ili, Çayeli ilçesi, Buzlupınar köyünde ve Madenli Deresi üzerinde bulunan tarihi Buzlupınar Köprüsü, bu köprülere ülkemizden bir örnektir. 1906 yılında çıkan yangın sonrası yerel ustalar tarafından yeniden inşa edilen köprü 35 m uzunluğunda ve 2,20 m genişliğindedir. İki kenar ayağı arasındaki 21,80 m olan mesafe, konsol kirişler yardımı ile 13,50 m'ye indirilmiştir. İstaponos Köprüsü olarak adlandırılan köprünün yapımında kestane cinsi ağaç kullanılmıştır (Resim 2.3).



Resim 2.3: Buzlupınar (İstaponos) Köprüsü

Tarihi Ahşap Asma Köprüler: Ülkemizde bulunan ahşap askı köprü örneklerinde, taşıyıcı sistemi oluşturan ana kirişlerin kuşaklanması ile kilitli bir askı sistemi oluşturulmakta ve bu sistem ile köprü üzerine gelen düşey yüklerin mesnetlere aktarılması sağlanarak ana kirişlerin sehim (esneme) yapmasının önüne geçilmektedir. Kastamonu ili, Tosya ilçesinde bulunan ve 19. yüzyıldan günümüze ulaşan tarihi Dört Ocak Köprüsü 11,20 m uzunluğunda ve 3,90 m genişliğindedir. Tek açıklıklı köprü, taş kenar ayaklar üzerine oturtulan 35 cm çapında beş adet ahşap boyuna kiriş ile 10 m'lik açıklığı geçmektedir. Köprünün taşıyıcı ana kirişleri, ahşap askı elemanları ve çift askı ile asılmıştır. Köprü tabliyesi üzerinde, tabliye boyunca at arabalarının kolay erişimini sağlamak amacıyla izlik tahtaları yerleştirilmiştir (Resim 2.4).

Resim 2.4: Dört Ocak Köprüsü

Tarihi Ahşap Kompozit Köprüler: Türkiye'de kompozit ahşap köprü örnekleri genellikle konsol ve asma sistemler bir arada kullanılarak inşa edilmiştir.

Çankırı'nın Bayramören ilçesi, Melan Çayı üzerinde bulunan köprü, ilçe yerleşimi ile Melan Çayı'nın karşı yakasında bulunan ekin tarlaları arası ulaşımı sağlamak için yaklaşık 150 yıl önce inşa edilmiştir. 64,80 m uzunluğunda ve 4,00 m genişliğinde olan köprünün 12,20 m ile 17,05 m açıklığında iki gözü bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde bulunan köprü, kızılçam cinsi ahşaplar kullanılarak inşa edilmiş ve üstü kiremitli çatı ile örtülmüştür. Köprü, konsol ve asma sistemlerin bir arada kullanıldığı kompozit köprülere güzel bir örnektir. Köprünün taşıyıcı ana kirişleri, birbiri üzerinden taşırılan konsol kirişleri üzerine oturtulmuş ve aynı zamanda kilitli ahşap askı kirişleri ile desteklenmiştir. Ana kirişler üzerine, nehir taban seviyesinden 9,00 m yükseklikte köprü döşemesi teşkil edilmiş ve döşeme üzerine köprü boyunca devam eden iz tahtaları yerleştirilmiştir. Yük çeken hayvanların köprü üzerinden geçerken köprü döşemesine zarar vermemesi için yapılan iz tahtaları, aynı zamanda korkuluk ve çatı dikmelerinin payandalarının desteklenmesine yardımcı olmaktadır (Resim 2.5).

Kompozit köprülere diğer örnek ise 19. yüzyılda inşa edilen Ordu'nun Kabadüz ilçesinde bulunan Başkotanı Köprüsü'dür. 30 m uzunluğunda ve ortalama 2 m genişliğinde olan tek açıklıklı köprü, ahşap konsol kirişleri üzerine oturtulan ana taşıcı kirişleri ile 18 m'lik açıklığı geçmektedir. Köprünün taşıyıcı boy kirişleri aynı zamanda ahşap askı elemanları ile asılarak düşey yüklerin mesnetlere aktarılması sağlanmıştır (Resim 2.6).

Resim 2.5: Bayramören Köprüsü

Resim 2.6: Başkotanı Köprüsü

2.1.3. Ahşap Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Ahşap köprüler yapım teknikleri açısından yaygın olarak tek açıklıklı, basit ahşap kirişli ve masif ayaklı küçük köprüler şeklinde inşa edilmektedir.

Köprü Eğimleri: Köprü eğimi, çevredeki arazinin konumuna ve yolun eğimine bağlı olmakla birlikte düz arazide %2,5 (1/40), dalgalı arazide yaklaşık %3,5 (1/30), dağlık arazide %5 (1/20) eğimi aşmamalıdır.

Köprü Açıklıkları: Irmak ve çaylar üzerinde yapılacak köprülerde, suların yükseldiği zamanlarda köprü altında suyun aktığı en kesitin daraltılmamasına özen gösterilmelidir. Böylece suyun köprü altından akışı sırasında hızı arttırılmamış, köprü ayaklarının çevresinde aşınma ve kazılmalar önlemiş olur.

Oran köprüleri, genellikle rejimleri düzensiz derelerin ve sel yataklarının üzerinde yapılır. Sel yatakları üzerinde yapılacak köprülerde, köprü açıklığının dikkatle yapılacak inceleme ve hesaplara dayandırılması gerekir. Sel yatakları üzerinde inşa edilecek köprülerin açıklıkları incelenmeli ve hesaplamaları yapılmalıdır.

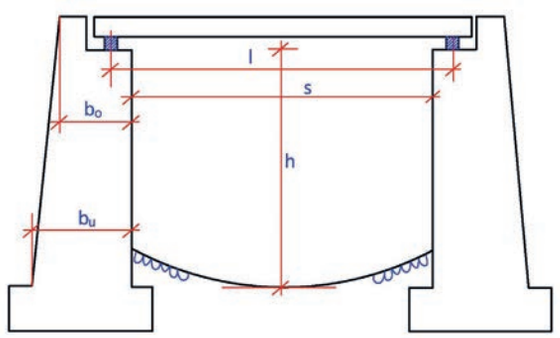
Serbest açıklığın ve ayak yüksekliğinin, yüksek suların köprü altından güvenle akabileceği yeterlikte seçilmesi gerekir. Ancak böyle yer ve durumlarda serbest açıklığının gereğinden fazla olması zararlıdır. Çünkü köprü altları kum ve jellerin getirdiği iri taşıntı materyalleriyle dolar. Sel yatağının uygun ve yeterli görülen serbest açıklıktan daha geniş olması durumunda ise köprünün yukarı tarafında kalan mecra kıyılarına mahmuzlar yapılır. Böylece sel sularının köprü altına yönlendirilmesi ve köprü ayaklarının menba tarafına kanat duvarları yapılması gibi önlemler alınır.

Yüksek su düzeyi ile köprü kirişleri arasındaki koruma yüksekliği, sel sularıyla sürüklenip gelebilecek ağaç gövdelerinin, kütük, tomruk ve dalların köprüye zarar vermeden geçmesini sağlayacak şekilde planlanmalıdır.

Örneğin küçük dereler üzerinde yapılacak köprülerde, üst yapının en alt düzeyi ile yüksek su düzeyi arasındaki mesafenin 0,3-1,0 m arasında olması uygun olur. Eğer dere zaman zaman küçük kütükler taşıyorsa yüksek su düzeyi üzerindeki bu serbest yükseklik en az 0,7 m yapılması gereklidir. Köprülerde görülen çökme, sürüklenme, yıkılma gibi zarar ve hasarlar çoğunlukla suların kabarma zamanlarında temellerde meydana gelen oyulmalar yüzünden olur. Bu nedenle sular yükseldiğinde köprü altından geçecek suların hızı, tabanda kazılma ve oyulmalara olanak verecek hızın altında tutulmalıdır.

Köprü Ayakları: Aşılacak engelin iki yanına yapılan baş ayaklarla (kenar ayakları, sahil ayakları) açıklığı fazla olan köprülerde dayanak açıklığını küçültmek amacıyla yapılan ara ayaklardan oluşur.

Köprü iki ayağının iç yüzleri arasındaki açıklık **serbest açıklık (s)** olarak adlandırılır. Taşıyıcı kirişlerin ayaklar üzerinde dayandığı noktalar arasındaki açıklığa **dayanak açıklığı (l)** denir. Serbest açıklıkları 6 m'ye kadar olan ahşap kirişli köprülerde dayanak açıklığı, **l = 1,05s+0,20** bağıntısıyla hesaplanır. Köprü ayakları ahşap ya da demir yapı malzemesi ile yapılabildiği gibi masif (kâgir ya da beton) olarak da yapılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Köprü dayanak açıklığı (l), serbest açıklık (s), köprü yüksekliği (h), ayak üst genişliği (b_o) ve ayak alt genişliği (b_u)

Masif ahşap köprü ayaklarında ayak üst ve alt genişlikleri, köprü yüksekliği (h) parametresi doğrultusunda aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanır.

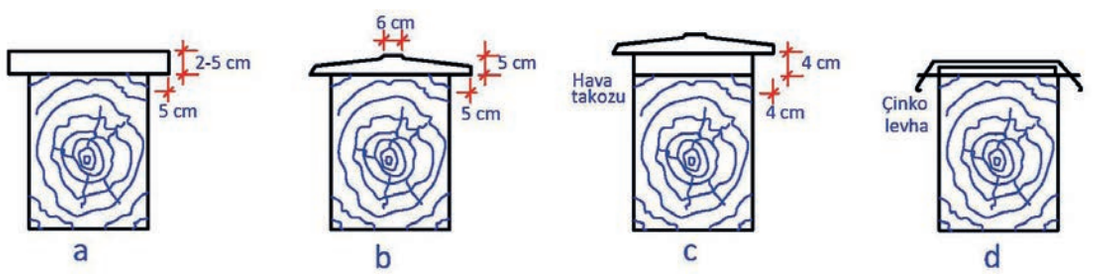
Köprü ayak üst genişlik: $b_0 = 0,20h + 0,30$

Köprü ayak alt genişlik: $b_u = 0,33h + 0,15$ olarak alınmaktadır.

Masif ayaklar, zemine 0,8-1,0 m arasında gömülmüş temeller üzerinde yapılır. Bu ayakların su yüzü genellikle düşey yükseklikte olanlarda ise 1:1/5-1:1/10 oranında eğimli; arka yüzü düşey ya da eğimli, özellikle beton ayaklarda basamaklı olarak yapılmaktadır. Köprü yüksekliği (h), yüksek su düzeyine bağlıdır. Ayakların yüksekliği, taşıyıcı kirişler yüksek su düzeyinden en az 30 cm yukarıda kalacak biçimde ayarlanmalıdır.

Duvar Kirişleri: Ayaklar üzerine ayak iç kenarından 10-15 cm içeride olacak şekilde boylamasına oturtulan, genellikle 20x25 cm kesitinde yapılan kirişlerdir. Taşıyıcı kirişler (köprü kirişleri), duvar kirişleri üzerine oturtulur. Taşıyıcı kirişlerle duvar kirişlerinin birbiri üzerine bindiği kısımlarda kirişler 2-3 cm yontularak birbirine kavratılır ve böylelikle taşıyıcı kirişlerin ileriye, geriye, sağa ve sola oynamaları ve kaymaları önlenmiş olur.

Taşıyıcı Kirişler: Köprü üzerinden geçecek yükleri taşıyan ve bunların ağırlığını ayaklara aktaran kirişlerdir. Kesitleri dayanak açıklığına, köprü üzerinden geçecek taşıtların yüklü ağırlığına ve kullanılan ağacın cinsine göre değişir. Taşıyıcı kirişler, köprü ayakları üzerine konulan duvar kirişleri üstüne genellikle 0,8-1,2 m aralıkla yerleştirilir. İki yan kiriş arasındaki genişlik olan köprü genişliği genel olarak 4,0 metredir. Taşıyıcı kirişlerin başlangıcı duvar kirişini 0,25-0,50 m arasında geçmelidir. Her taşıyıcı kirişin, sızacak sulara karşı koruma tahtalarıyla ya da asfaltlı mukavva ve çinko levhalarla [Şekil 2.2(a, b, c, d)] üstü kapanarak korunması gerekir.

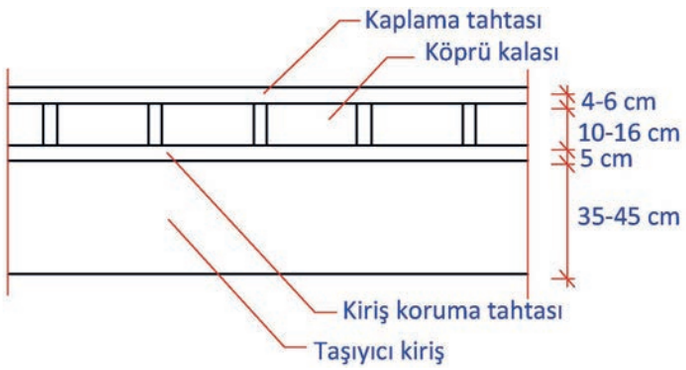


Şekil 2.2(a, b, c, d): Taşıyıcı kiriş (a) Koruma tahtası, (b, c) Damlalık kirişi, (d) Bitümlü mukavva ve çinko levha

Köprü Döşemesi (Tabliye): Köprü döşemesi çoğunlukla kalaslardan, kaplama tahtalarından, kırma taş ve kum tabakalarından, kenar eşiği de denen yan ağaçlardan meydana gelir.

Kalaslar (Madriyeler): 0,10-0,16 m kalınlıkta ve 0,20-0,35 m genişlikte olur ve taşıyıcı kirişler üzerine, köprü eksenine dikey olarak 3-4 cm aralıkla yan yana çakılır. Kalasların boyutları, köprü üzerinden geçecek taşıtların ağırlığına göre saptanır.

Bir yandan bu köprü kalaslarını korumak, öte yandan da köprü üzerinden geçecek yükün basıncını eşit biçimde dağıtmak amacıyla kalaslar üzerine, 4-6 cm kalınlığında kaplama tahtaları yan yana ve aralıksız olarak çakılır. Kalaslarla aynı doğrultuda yani köprü eksenine dikey doğrultuda konan kaplama tahtaları ile kalasların ara kesitleri şaşırtılır (Şekil 2.3).



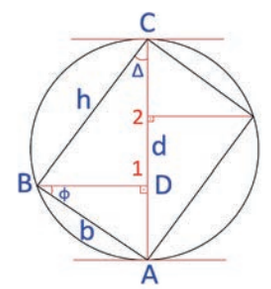
Şekil 2.3: Köprü kalasları ile kaplama tahtalarının ara kesitlerinin şaşırtılması

Kaplama tahtaları, mukavemet hesabında göz önünde bulundurulmaz. Çoğu kez yol kaplaması köprü üzerinde de devam ettirilmektedir. Bu takdirde kaplama tahtaları üzerine 5 cm kalınlıkta kırma taş ya da çakıl döşenir ve üzeri yeterli kalınlıkta kum tabakasıyla örtülür. Kırma taş tabakasının köprü üzerinde de devam ettirileceği durumlarda çoğunlukla kırma taş tabakasının biraz daha kalın döşenmesi, örneğin 8-12 cm kalınlıkta yapılması uygun olur. Yan ağaçlar ya da kenar eşikleri, köprü kalasları üzerine ve bunlara dikey doğrultuda, 15x20 cm kesitinde köprünün iki kenarına çakılır. Bunlar hem kalasların farklı çalışmalarını önler hem de köprü üzerinde devam ettirilen kırma taş ve kum tabakasının zamanla yanlardan dökülmesini engeller. Yan ağaçlara, baskı kirişleri de denmektedir.

Korkuluklar: Orman yolları köprülerinde genellikle korkuluk yapılmaz. Bunun nedeni, korkulukların uzun tomruk taşınmasını güçleştirmeleridir. Köprülerde taşıyıcı kiriş olarak kullanılan ağaçlar, çeşitli kesit ve biçimlerde olabilir. Ancak daha çok dikdörtgen kesitli kirişler kullanılmaktadır. Bu kirişlerin genişliği (b) ve yüksekliği (h) arasındaki oranın (b /hmin) 5/7-3/4 olması, mukavemet ve maliyet açısından aranan bir koşuldur.

Yuvarlak bir kirişin (gövde ya da tomruğun) kesit boyutları arasındaki oranı 5/7 olacak bir dikdörtgen kesitli kirişe dönüştürülmesinde yuvarlak kesit yüzeyi üzerinde çap (d) işaretlenir. Çap 3 eşit parçaya bölünür. Çapın ortadaki 1/3'ünü belirleyen iki noktadan karşıt yönlerde olmak üzere çapa birer dik çıkılır. Bu diklerin yarım dairelerin çevresini kestiği noktalar belirlenir. Tomruk çapının iki başı ile bu iki noktanın birleştirilmesiyle elde edilecek dikdörtgende kenarlar arasındaki oran 5/7 olur. Şekil 2.4'teki ABD ve ABC dik üçgenleri göz önüne alındığında bu iki dik üçgende Δ ve ϕ açıları, kenarlar dik olduğundan birbirine eşittir.

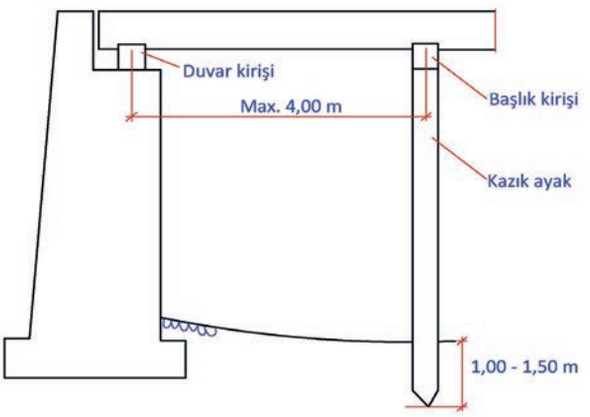
Yuvarlak bir kirişten b/h = 5/7 oranında dikdörtgen kiriş elde edilmesi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Yuvarlak tomruğun dikdörtgen kesitli kirişe dönüştürülmesi

Duvar kirişlerinin meşe ya da sedirden; taşıyıcı kirişlerin meşe, sedir, ladin ya da köknardan yapılması uygun olur. Köprü yapımında kullanılacak ahşap malzemenin (kiriş vb.) elde edileceği ağaçların gelişim faaliyetlerinin en az olduğu mevsimde kesilmeleri, kesimin kullanmadan en az 6 ay önce yapılması ve kullanma zamanına kadar havada kurumaya bırakılması, köprünün ömrünü uzatacak masrafsız önlemlerdir. Köprü yapımında kullanılacak ağaçların olanaklar ölçüsünde az dallı olmaları, farklı çekme ve gerilmeleri önlemek bakımından önem taşır.

Basit ahşap kirişli köprülerde kullanılabilen en büyük kesitli taşıyıcı kirişlerin bulunabileceği kabulü ile normal demiryolları için basit (tek) taşıyıcı (ahşap) kirişlerle yapılacak köprülerin maksimum dayanak açıklığı 6,0 m olabilir. Yol köprülerinde basit (tek) ahşap kirişli köprülerin en büyük dayanak açıklıkları, köprü üzerinden geçecek ağırlığa göre 20 ton için 4,2 m; 12 ton için 5,3 m; 6 ton için 6,5 m olarak verilmektedir. Gerektiğinde altlık ağacı (başlık kirişi) ve kazık ayaklardan yararlanılarak (Şekil 2.5) ya da başlıklı ve payandalı kiriş kullanılarak (Şekil 2.6) dayanak açıklıkları arttırılır. Genişlikleri 30-35 cm, yükseklikleri 35-45 cm arasındadır.



Şekil 2.5: Dayanak açıklığının başlık kirişi ve kazık ayaklarla arttırılması

Şekil 2.6: Dayanak açıklığının başlıklı ve payandalı kirişle arttırılması

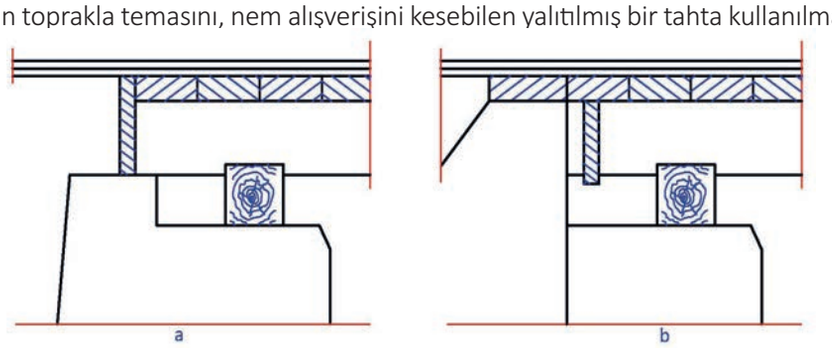
Köprünün Yola Bağlanması: Kâgir, beton ya da betonarme kenar ayaklı köprülerde köprünün yol ile bağlanması farklı şekillerde olabilir [(Şekil 2.7(a, b)].

Bu bağlantılarda dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yol ve köprünün aynı düzeyde birleşmesi sağlanmalıdır.

2. Taşıyıcı kiriş başları nemden korunmalıdır.

Kiriş başlarının nemden korunması amacıyla kesit yüzeylerinin katran, çimento, yağlı boya gibi maddelerle sıvanması ya da katranlı-kumlu kâğıtlarla izole edilmesi, kiriş içerisindeki nemin buharlaşmasını engelleyeceği için sakıncalıdır. Bu nedenle kiriş başlarının toprakla temasını, nem alışverişini kesebilen yalıtılmış bir tahta kullanılmalıdır [Şekil 2.7(a, b)].



Şekil 2.7(a, b): Ahşap köprünün farklı biçimlerde yola bağlanması ve kiriş başlarının korunması krokileri

2.2 UYGULAMA

2(4) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

AHŞAP KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, ahşap köprülerin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Ahşap köprülerin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Trabzon-Çaykara, Eğridere köyü Kiremitli Köprü

Çanakkale-Sarıçay Tahta Köprüsü

İstenenler

Verilen ahşap köprülerin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf, plan, kesit rölöve çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, ahşap köprülerin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Eğridere köyü, Kiremitli Köprü yapım dönemleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Eğridere köyü, Kiremitli Köprü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Eğridere köyü, Kiremitli Köprü yapım dönemleri ve teknikleri kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hale getirilir.
4. Sarıçay Tahta Köprüsü yapım dönemleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Sarıçay Tahta Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Sarıçay Tahta Köprüsü yapım dönemleri ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen verileri sunuma hazır hale getirilir.
7. Eğridere köyü, Kiremitli Köprü ve Sarıçay Tahta Köprüsü sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hale getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Eğridere köyü, Kiremitli Köprü'nün yapım dönemlerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Eğridere köyü, Kiremitli Köprü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Eğridere köyü, Kiremitli Köprü'nün yapım dönemlerini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hale getirdiniz mi?		
4	Sarıçay Tahta Köprüsü'nün yapım dönemlerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Sarıçay Tahta Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Sarıçay Tahta Köprüsü'nün yapım dönemlerini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Eğridere köyü, Kiremitli Köprü ve Sarıçay Tahta Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Klasik Osmanlı Dönemi'ndeki kâgir köprülerin inşasını sağlayan ve planlayan mimarları araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

2.3. KÂGİR KÖPRÜLER

Kâgir köprüler, genellikle yapık taş (yontma taş, kesme taş vb.) malzemeden yapılan köprülerdir. İnşa tekniklerinin ve yeni malzemelerin (çelik, metal, betonarme) üretimi ve geliştirilmesiyle birlikte günümüzde kâgir köprüler pek tercih edilmemektedir. Ülkemizde ve dünyada daha çok 20. yüzyıl öncesinde inşa edilen kâgir köprülerin restorasyonları yapılmaktadır. Taş malzeme; yüksek basınç dayanımı ile düşey kuvvetleri karşılamakta, taşlar arasındaki harç bağlayıcı görev yapmakta, yatay veya düşey doğrultuda kullanılan metal elemanlar ise oluşabilecek çekme kuvvetlerini karşılamaktadır. Metal kenetler dışında yığma yapı kesiti içerisinde yer alan veya mesnet noktalarını birbirine bağlayan gergi elemanları, yığma yapı tarafından karşılanamayan yatay kuvvetleri karşılamaktadır.

Mimar Sinan, İstanbul ve yakın çevresinde inşa ettiği yapılarda ağırlıklı olarak küfeki taşı kullanmıştır. Küfeki taşı, yüksek dayanımı ve kolay işlenebilirliğinin yanında Karasurları'ndan Sefaköy'e kadar olan alanda bulunan taş ocaklarının yoğunluğu sebebiyle de tercih edilen bir taş olmuştur. Mimar Sinan'ın yapılarında, taşıyıcı duvarlarda tek başına veya tuğla ile almaşık düzende, kemerlerde iç ve dış mekân bezemelerinde ve döşemelerde kullanılmıştır.

Küfeki taşı daha çok cami, medrese, kervansaray gibi yapılarda yalın cephelerin oluşturulmasında kesme taş olarak kullanılmıştır. Şehir dışında bulunan su kemerlerinde ise küfeki taşının işlenme sürecinin malzemeyi dış etkenlere karşı zayıflatmasından dolayı daha az işlenmiş bosajlı taş kullanılmıştır.

Mimar Sinan'ın köprülerinde de küfeki taşı kullanımı yaygındır. Küfeki taşı, Kemerlerde yanaşık derzli kesme taş olarak cephelerde ise ince bir harç tabakasıyla birlikte kullanılmıştır. Su kemerlerinde olduğu gibi bosajlı taş kullanımına da rastlanmaktadır. Küfeki taşının yanında Marmara mermeri, odtaşı, pudingler, kireçtaşı, çeşitli granit ve mermerler Mimar Sinan'ın diğer yapılarında sıklıkla kullanılmıştır. Yapıda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan harç, kilden agregaya kadar değişiklik gösteren, granüler malzemeden ve bu malzemeleri bir arada tutan kimyasal bileşimlerden oluşmaktadır. Osmanlı yapılarında, tuğla kırıkları ve kireç karışımından oluşan, Horasan harcı adı verilen karışımın kullanıldığı görülmektedir. Horasan; kelime anlamı olarak tuğla, kiremit vb. pişmiş kilden oluşan malzemelerin öğütülmüş hâlini ifade eder. Horasan harcı, öğütülmüş malzemenin hava kireci ile birleşmesinden oluşmaktadır. Malzeme oranları ve sertleşme süresi gibi bilgiler usta çırak ilişkisiyle aktarılmış olup sonraki dönemlerde şartnamelerle belirlenmiştir.

2.3.1. Kâgir Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Bilinen en eski kâgir köprü, MÖ 13. yüzyılda Hititler tarafından yapılmış ve bugün yalnız mesnetlerindeki izlerine rastlanan Boğazköy'deki (Hattuşaş) köprüdür. MÖ 7. yüzyılda inşa edilen, Fırat Nehri'nin iki yakasını birleştiren Bâbil Köprüsü'yle Romalılar'ın MÖ 600 yılında Tiber Nehri üzerine inşa ettikleri Pons Salarius Köprüsü bilinen diğer eski örneklerdir. Trayan'ın 104-106 yılları arasında Cayo Julius Lacer'e İspanya'da bugünkü Alcántara yakınında Tagus (Tojo) Nehri üzerine yaptırdığı köprü ise en gelişmiş Roma köprüsüdür. Sekiz ton ağırlığındaki blok taşlarla harçsız olarak inşa edilen bu altı gözlü köprü nedeniyle Emevîler köprünün yanına kurdukları yeni şehre el-Kantara [köprü (kemer)] adını vermişlerdir.

Köprü yapımında son derece usta olan Romalılar, dünyanın birçok yerinde çok sayıda köprü inşa etmişlerdir. Bu köprülerin büyük bir kısmı Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde onarılarak günümüze kadar ulaştırılmıştır. Anadolu'da Eski Çağ ve Orta Çağ'dan kalma Ankara-Kırşehir arasında Kızılırmak üzerinde yer alan Çaşnigîr Köprüsü, Silifke'de Göksu Köprüsü, Gönen'de Güvercin Köprüsü, Adana'da Taşköprü, Misis Köprüsü ve Seyhan Köprüsü gibi birçok köprü Selçuklu ve Osmanlılar tarafından yeniden yapılmış ve/veya onarılmıştır.

Bir köprü teknik olarak ele alındığında hizmet amacı ve köprü açıklığının uzun olması önem arz eder. Anadolu'da ve Yakın Doğu'da açıklığı en büyük köprüler, Artuklular tarafından yapılmıştır. Bunlardan Hasankeyf'teki Dicle Köprüsü dört gözlüdür ve en büyük açıklığı 40,20 metredir. Yine Dicle üzerinde yer alan Cizre Köprüsü ile Diyarbakır'ın kuzeyinde Devegeçidi suyu üzerindeki Devegeçidi Köprüsü de başlıca köprülerdendir. Çermik, Halep Kuvayk ve Urfa Harran köprüleri de önemli köprüler arasında sayılabilir. Artuklu köprülerinde görülen ortak özellik, genellikle kitâbelerinin de yerleştirildiği köprü yan yüzlerinde astrolojik kabartmaların yapılmış olmasıdır.

Selçuklu köprülerinin Artuklu köprülerine göre küçük olmasına karşın açıklıkları daha fazla ve daha basık inşa edilmiştir. Anadolu Selçuklu köprülerinin mühendislik ve mimarlık bakımından en önemlilerinden olan Kayseri Tekgöz Köprüsü'nün boyu 119,5 m, büyük kemerinin açıklığı 27 metredir. Altı gözlü Erzurum Çoban Köprüsü'nün boyu 220 m, büyük açıklığı 15,5 metredir. Anadolu'daki önemli köprülerden olan 14. yüzyılda inşa edilen Ermenek Alaköprü ile Ermenek Bıçakçı Köprüsü Karamanoğulları tarafından inşa edilmiştir. Selçuklu ve Artukoğlu köprüleri özenli kesme taş ve almaşık düzenli (Hoşap Güzelsu) bezemeli yapılardır. Doğu Anadolu'da beden duvarları ve kemerlerin farklı taşlarla örüldüğü örnekler mevcuttur. Kemerler büyük ve ince işçilikli taşlarla, beden duvarları ise yöresel taşlar veya moloz örgü şeklinde yapılabilmektedir.

Günümüzde ayakta olan Diyarbakır ili Silvan ilçesi arasındaki sivri kemerli Malabadi Köprüsü Hasankeyf Köprüsü'nden sonra en büyük açıklıklı ikinci köprüdür. 1147 yılında inşa edilen köprü kitabesine göre, Timurtaş b. İlgazi b. Artuk tarafından Artukoğulları Dönemi'nde inşa ettirilen ve 12'nci yüzyıl Selçuklu Dönemi anıtsal mühendislik mimarlık başyapıtlarından olan tarihi Malabadi Köprüsü, 40,80 metre açıklığındaki sivri ana kemeri ile dünyanın günümüze ulaşan en büyük kemer açıklığına sahip taş kemer köprüsüdür. Kemerin her iki yanında kervan ve yolcular için iki barınak odası bulunmaktadır (Resim 2.7).

Resim 2.7: Diyarbakır, Malabadi Köprüsü

Osmanlı İmparatorluğu'nda Eski Çağ ve Orta Çağ'dan kalan köprülerin tamamı onarılarak kullanılmıştır. Aynı zamanda Klasik Dönem Osmanlı Mimari Üslubu'yla çok sayıda yeni köprü inşa edilmiştir. Günümüze kadar ulaşan bu köprülerin arasında en uzun açıklıklı olan Uzunköprü (Ergene Köprüsü), 174 gözlü ve uzunluğu 1392 metredir. Mimar Hayreddin tarafından 1566'da yapılan ve 1993'te Hırvatlar tarafından yıkılan, 2004'te tekrar inşa edilen tek kemerli 28,59 m açıklığı ile Mostar Köprüsü mühendislik özellikleri yanında bir mimarlık âbidesidir. Osmanlı İmparatorluğu'nda pek çok estetik ve uzun açıklıklı köprüler inşa edilmekle birlikte Klasik Dönem Osmanlı Mimarisi'nde en güzel köprü örnekleri Mimar Sinan'ın planlayarak inşa ettirdiği köprülerdir.

Mimar Sinan'ın planladığı sanat yapısı köprülerden başlıcalarına ait özellikler aşağıda verilmiştir.

1. Odabaşı Köprüsü, Küçükçekmece Gölü'nün kuzeyinde Sazlıdere üzerindeki sekiz gözlü inşa edilen köprüdür.
2. Kanûnî Köprüsü; Gebze'de Diliskelesi'ne akan, Dilderesi üzerinde orta açıklığı 9,70 m olan üç gözlü bir köprüdür.
3. Alpullu Köprüsü; Alpullu Tren İstasyonu'nun hemen yanında bulunan, 123,80 m uzunluğunda olan beş gözlü bir köprüdür. Orta gözünün genişliği (20 m) sebebiyle Mimar Sinan'ın yaptığı en büyük açıklıklı köprüdür.
4. Cisr-i Mustafa Paşa Köprüsü (Mustafa Paşa Köprüsü); Edirne'nin kuzeybatısında ve Meriç üzerinde, eski adını bu köprüden alan Bulgaristan'ın Svilengrad kasabasında bulunmaktadır. 300 m uzunluğunda ve yirmi gözlü olan bir köprüdür.
5. Haramidere Köprüsü; Edirne asfaltının 30. km'sinde, eski İstanbul-Rumeli kervan yolu üzerindedir. 8,79 m açıklığındaki orta gözünün yanlarında hafifletme gözleri bulunur.
6. Yalnızgöz Köprüsü, Edirne'de İmaret Köprüsü olarak da biline 6,60 m açıklıklı tek bir gözlü olarak inşa edilen köprüdür.
7. Drina Köprüsü (Vişegrad Köprüsü), Sokullu Mehmed Paşa'nın yaptırdığı Drina Irmağı üzerinde olan köprünün göz sayısı on bir ve uzunluğu 179 metredir.
8. Kırkgöz Köprüsü (Bolvadin Köprüsü), Akarçay'ın eski yatağı üzerinde metruk vaziyette bulunan köprüdür. Bu köprü Bizans eseri olup Kanûnî Sultan Süleyman'ın Bağdat seferi hazırlıkları sırasında Mimar Sinan tarafından onarılmış ve açıklığı arttırılmıştır. Eski köprü 200 m boyunda ve kırk iki gözlü inşa edilmiştir. Osmanlı İmparatorluğu Dönemi'nde Mimar Sinan tarafından 175 m uzatılmış ve yirmi iki göz daha eklenmiştir.
9. Sarayiçi Köprüsü, Edirne'den Sarayiçi'ne doğru Tunca Nehri üzerinden dört gözlü bu köprü ile geçilir. Ortadaki gözlerin açıklıkları 9,75 metredir. Ayaklar üzerinde üçgen şeklindeki selyaranların üstleri piramit şeklindedir.
10. Silivri Köprüsü; Silivri Çayı üzerine inşa edilmiş, otuz iki gözlü ve 333 m uzunluğundadır.
11. Büyükçekmece Kanûnî Sultan Süleyman Köprüsü, birbirine bitişen dört büyük köprüden meydana gelmiştir. Toplam göz sayısı yirmi sekiz olup uzunluğu 635,6 metredir (Resim 2.8).

Resim 2.8: İstanbul, Büyükçekmece Kanûnî Sultan Süleyman Köprüsü

Klasik Dönem Osmanlı Mimari Üslubu'yla inşa edilen tarihi kâgir köprü örneklerine ait bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

Çayırova Hünkâr Köprüsü: İstanbul-Gebze arasında Çayırova Kasabası'nda yer almaktadır. Sivri kemerli, tek gözlü köprü, en yüksek noktadan iki yana doğru eğimli bir yapıda inşa edilmiştir. Doğu-batı doğrultulu köprünün yapımında kesme taş malzeme kullanılmıştır. 1,70 m genişliğindeki köprü gözü, kemerin üzengi seviyesine kadar toprağa gömülü vaziyettedir. 3,40x5,00 m ölçülerindeki tabliye kısmının iki yanında 0,80 m yüksekliğinde korkuluklar bulunmaktadır.

Köprünün kuzey cephesinde, yan tarafındaki çeşme ile aynı renkte kırmızı kesme taşlar kullanılmıştır. Günümüzde faal olan köprünün doğu ve batı uçlarında tabliyeyi sınırlandıran ikişer baba taşı yer almaktadır. Yapıda herhangi bir süsleme unsuru mevcut değildir (Resim 2.9).

Resim 2.9: Kocaeli, Çayırova Hünkâr Köprüsü

Gebze Kanûnî Sultan Süleyman (Mimar Sinan) Köprüsü: Gebze-İzmit arasında, İstanbul'u Bağdat'a bağlayan yolda, Dilderesi üzerine inşa edilmiştir. Üzerinde bulunduğu dereden ötürü "Diliskelesi Köprüsü" adıyla anılmaktadır. Köprü, Kanûnî Sultan Süleyman zamanında Mimar Sinan tarafından inşa edilmiştir.

Köprü; ortadaki büyük, iki yandakiler daha küçük olmak üzere sivri kemerli ve üç gözlüdür. Kaynaklarda köprünün 45,24x6,20 ile 65,00x6,05 m şeklinde farklı ölçüleri mevcuttur. Günümüzdeki mevcut haliyle 49,00x6,00 m dolaylarında bir ölçüye sahip olduğu görülmektedir. Köprü üzerindeki eğim %11 civarındadır. Doğu-batı doğrultulu inşa edilen köprüde ortadaki göz 9,30 m, yandakiler 6,30 m genişliğindedir.

Köprü ayaklarının memba tarafında üçgen selyaranlar, mansap tarafında köşeli topuklar bulunmaktadır. Ayakların üzerinde kemerler arasında 2,20x1,40 m ölçülerinde, sivri kemerli boşaltma gözlerine yer verilmiştir. Ayrıca köprünün doğu ucunda güney cephesi açık, kuzey cephesi ise toprağa gömülü olan bir başka boşaltma gözü bulunmaktadır.

Köprü ayaklarının temelleri üç kademe üzerine oturtularak dayanıksız olan batak zeminde sağlam bir temel meydana getirilmiştir (Resim 2.10).

Resim 2.10: Kocaeli, Gebze Kanûnî Sultan Süleyman (Mimar Sinan) Köprüsü güney cephesi

Köprünün inşasında kesme taş malzeme kullanılmıştır. Korkulukların çoğu harap olduğundan sonradan betonarme olarak onarıldığı anlaşılır. Selyaranlar, topuklar ve ayaklarda kullanılan taşların köprünün diğer bölümlerindeki taşlardan daha büyük boyutlu olduğu görülür. Tabliye kısmının zemininde düzgün blok taşlar kullanılmıştır. Köprünün doğudan batıya büyük kemerin en tepe noktasına kadar olan ilk kısmı, diğer bölüme göre daha uzun tutulmuştur. İkinci kısım küçük kemerin bitiminden itibaren güneye doğru hafif kırılma yapmaktadır. Sade tutulan köprüde bir süsleme unsuru görülmez. Büyük kemerin kilit taşında, dışa taşıntı yapan konsol şeklindeki çıkıntılar ve her iki cephede tempan duvarının üst sınırını belirleyen yatay kornişlerin nispeten cephelere hareketlilik kazandırdığı görülür.

Köprünün selyaran, topuk ve korkulukları harap olmuştur. Son yapılan onarımlarla söz konusu bölümler aslına sadık kalınarak yenilenmiştir. Günümüzde araç trafiğine kapalı olan köprünün iki ucuna baba taşları yerleştirilmiştir. Kanûnî Sultan Süleyman (Mimar Sinan) Köprüsü abidevi yapısı ve önemli bir yol güzergâhı üzerinde bulunması hasebiyle 16. yüzyıldan günümüze sağlam olarak gelebilmiş önemli Osmanlı köprülerinden biridir (Resim 2.11).

Resim 2.11: Kocaeli, Gebze Kanûnî Sultan Süleyman (Mimar Sinan) Köprüsü kuzey cephesi

Karamürsel Valide Sultan Köprüsü: Karamürsel-İznik yolu üzerinde, Karamürsel'in 24 km güneyinde, Hayriye ile Yalakdere köyleri arasında inşa edilmiş köprüdür. Valide Sultan Köprüsü kuzey-güney doğrultulu, üç gözlü bir kuruluşa sahiptir. Gözler sivri kemerlidir, orta göz diğer iki gözden daha geniş ve yüksek tutulmuştur. Bütünüyle düzgün kesme taştan inşa edilmiştir.

Köprü, iki yandan büyük kemere doğru keskin bir açıyla yükselmektedir. Köprü ayaklarının önünde memba tarafında üçgen selyaranlar, mansap tarafında köşeli topuklar yer almaktadır. Köprünün orta gözü 12,00 m genişliğinde, 7,40 m yüksekliğindedir. Yan gözler ise 8,30 m genişliğe, 5,50 m yüksekliğe sahiptir. Köprünün her iki cephesinde, uçlara rıhtımlar (destek duvarları) eklenmiştir. Olası su taşkınlarında köprünün sağlamlığını arttırmak adına yapılan bu duvarlarda düzgün kesme taşlar kullanılmıştır.

Tabliye kısmı yaklaşık olarak 72,50x4,80 m ölçülerindedir. İki yandan 0,80 m yüksekliğinde korkuluklarla sınırlandırılmıştır. Çok fazla olan köprü tabliyesinin eğimi, son zamanlarda yapılan onarımlarla azaltılmış ve tabliye yanlara doğru doldurulmuştur (Resim 2.12, Resim 2.13, Resim 2.14).

Resim 2.12: Karamürsel Valide Sultan Köprüsü doğu cephesi

Resim 2.13: Karamürsel Valide Sultan Köprüsü doğu cephesi

Resim 2.14: Karamürsel Valide Sultan Köprüsü tabliyesi (döşemesi)

Osmanlı mimarisi tarihi kâgir köprüler ile ilgili örnekler aşağıda verilmiştir (Resim 2.15, Resim 2.16, Resim 2.17, Resim 2.18, Resim 2.19, Resim 2.20).

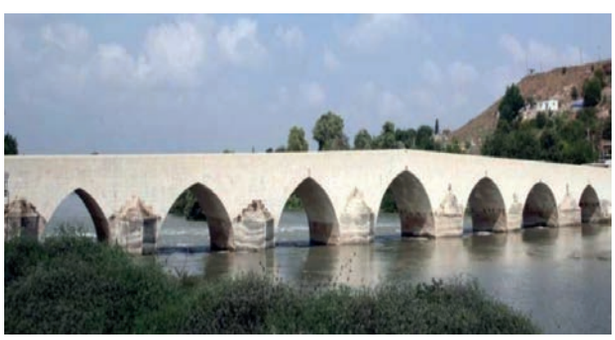
Resim 2.15: Varda Köprüsü (Koca Köprü)

Resim 2.16: Irgandı Köprüsü

Resim 2.17: Pozantı, Ak Köprü

Resim 2.18: Şahruh Köprüsü

Resim 2.19: Köprüpazar Köprüsü



Resim 2.20: Yüreğir, Misis Köprüsü

2.3.2. Kâgir Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Kemerli olmalarından dolayı form olarak düz ahşap köprülerden ayrılan kâgir köprülerde, eşit basınç gerilimi sağlanabilmesi için kemerin basınç çizgisine uygun yapılması gerekir. Kemer içerisindeki basınç çizgisinin şekli ise kemerin üzerine binen yükle ilgilidir. Romalılar yuvarlak beşik kemer formunu; Türkler, İranlılar ve Araplar ise sivri kemer formunu tercih etmişlerdir. Osmanlı mimarisi, daire merkezlerini açıklığın ortasına yakın bir noktada aldığı için kemerlerin şekli genellikle yarım daire (yuvarlak) ve parabol formlarındadır. Köprü kemerlerinin tepesindeki taş köprü kilit taşı, köprü ayaklarına basan taş ise köprü üzengi taşı olarak adlandırılır. Köprülerin mesnetleri ve ayakları sağlam zemine oturtulur. Köprü mesnetlerini akarsular oymamalıdır ve ayak temelleri yeteri kadar derine indirilmelidir.

Köprülerde öncelikle su içerisinde kazı yapılacak yerin çevresine ahşap perdeler çakılır. Açılan çukura dolan sular boşaltılır. Toprak sağlam zemin bulununcaya kadar kazılır. Sağlam zemin bulunamıyorsa ahşap kazıklar çakılır ve başları kurşunla pekiştirilmiş demir kenetlerle bağlanır. Mimar Sinan, Büyükçekmece Kanûnî Sultan Süleyman Köprüsü'nün ayaklarını bu teknikle inşa etmiştir. Günümüzde kazıklar, perdeler betonarme ve çelik malzemeden yapılmaktadır. Köprü ayakları, suyun geldiği yöne doğru gemi burnu gibi bir çıkıntı oluşturur. Selyaran veya mahmuz denen bu çıkıntılar, gelen suyun ayakların altını oymasını ve buralara ağaç dallarının takılmasını önler.

Teknik olarak kâgir köprülerde açıklıkların 100 metreyi geçmemesi gerekir. Haliç sahillerindeki açıklığın (477 m) fazla olması nedeniyle ağırlığın taşınabilmesi için Haliç ve Atatürk köprüleri dubalar üzerine oturtulmuştur. 20. yüzyıl başlarında en ileri tekniklerle inşa edilen kâgir köprülerin açıklıkları 100 metreden küçüktür. En büyük açıklıklı kâgir köprülerden Lüksemburg'da Adolph Köprüsü'nün açıklığı 84 metre, Almanya'da Planen Köprüsü'nün açıklığı 90 metredir. Betonarme ve metal köprülerin inşasıyla 2 kilometreye yaklaşan açıklıklar aşılmıştır. Kâgir köprüler; geçtikleri nehir ve vadilere, enlerine ve boylarına, kemer açıklıklarına ve kemer sayılarına göre değerlendirilir.

Edirne Tarihi Uzunköprü (Ergene Köprüsü) Yapım Tekniği: 1392 m uzunluğunda ve 5,50 m genişliğinde, 174 yüksek, sivri ve yuvarlak kemerden oluşan köprü, Ergene Nehri'nin taşkın mevsimlerinde geniş ve bataklık sahadan bile rahatlıkla geçilmesini sağlamak için Sultan Murat'ın emri ile uzun ve sağlam bir yapı olarak tasarlanmıştır. Köprü, boşaltma gözleri ve selyaranlardan oluşmaktadır. Ergene Nehri kesimine rastlayan büyük gözlerin sağ ve solunda boşaltma gözleri vardır. Bu nedenle köprünün en çok bu kesiminde taşkınların meydana geldiği düşünülmektedir. Dünyanın en uzun taş köprüsü olan Uzunköprü'nün ustası Muslihittin Bey'dir.

1823 yılında depremler ve seller sebebiyle köprüdeki dörtlü kemer grubu yıkılmıştır. Sultan 2. Mahmut'un emriyle yerlerine daha büyük boyutlu üç kemer inşa edilmiştir. 19. yüzyılın sonlarında Doğru Trakya ve İstanbul yöresinde yaşanan depremlerin ve 1901 yılında meydana gelen büyük bir sel baskını sonucu Kırkkavak Deresi ve Ergene Nehri'nin taşkın sularının geçtiği Soldurak kolunda, köprünün üç gözü yıkılmıştır. Yerlerine daha geniş iki kemer yapılmasına karar verilmiş, onarım 1904 yılında tamamlanmıştır. Tüm bu onarımlarla beraber kemer sayısı 172'ye, günümüzde ise sekiz kemer kapalı olduğundan kemer sayısı 164'e düşmüştür.

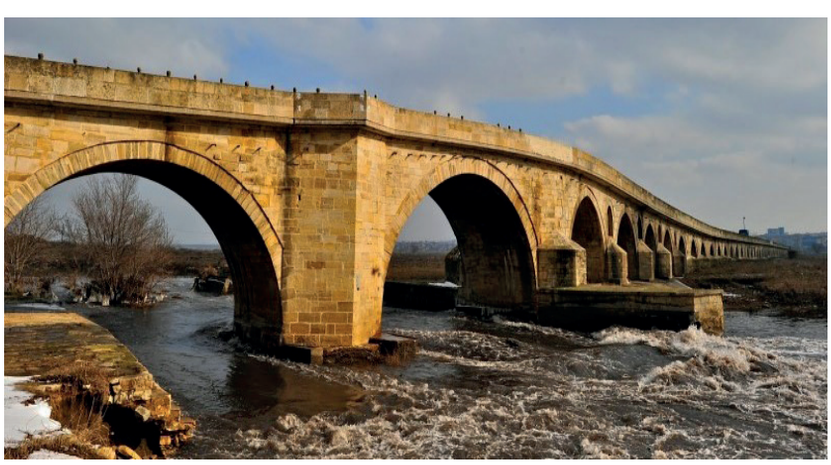
Köprü inşaatında yol kısmı yontulmuş büyük taş malzemeler döşenerek yapılmış, günümüzde ise bu yol kısmı Karayolları Genel Müdürlüğü çalışmaları ile asfalt ve beton malzeme ile onarılmıştır. Ayrıca korkuluklar yanlara taşınarak döşeme genişliği artırılmıştır.

Uzunköprü yapı bakımından üç parça halinde incelebilir. Bu parçalar aşağıda açıklanmıştır (Resim 2.21).

Sol Kanat: Ergene Nehri üzerinde suyun akıntısına dikey inşa edilen ve boyu 204 m olan kısımdır.

Orta Kısım: Ergene Nehri'nin taşkın sahası üzerindeki ve boyu 1056 m olan kısımdır.

Sağ Kanat: Fazla suları karşılamak ve bu civarda mezarı olan Gazi Mahmut Baba'nın manevi himayesi amacı ile eklenmiş, 100 m'lik bir rıhtım yolundan oluşan kısımdır.



Resim 2.21: Edirne Tarihi Uzunköprü Ergene Nehri kısmi görünümü

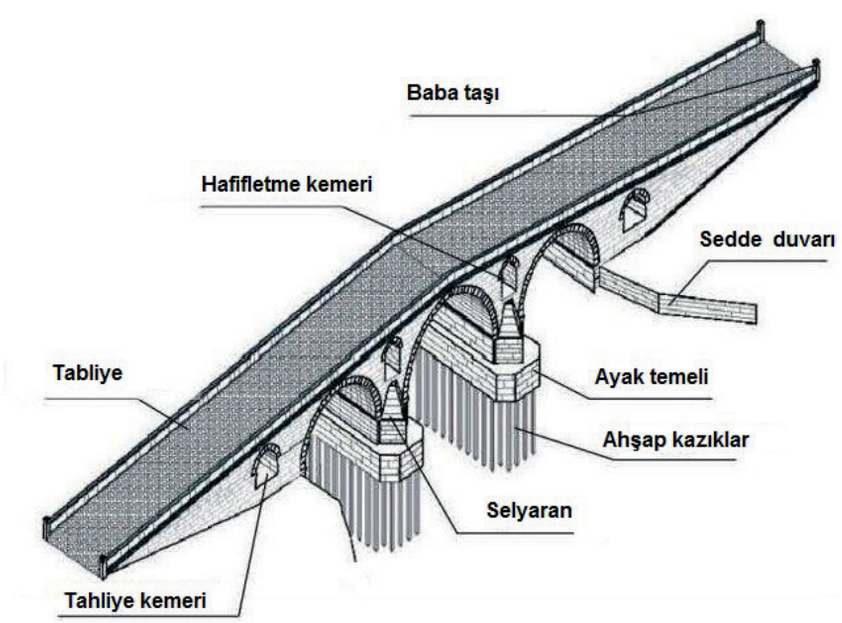
Tarihi Uzunköprü, inşa özellikleri bakımından bir taş köprüdür. Köprünün taşları, Yağmurca, Eskiköy ve halen Meriç Irmağı karşısındaki Hasırcı Arnavut köyleri taşocaklarından sağlanmış ve kesme taş köprü olarak inşa edilmiştir. Köprünün kesme taş örgü birleştirmelerinde derzlerde Horasan harcı kullanılmıştır. Horasan harcı sönmüş kireçle pişmiş tuğla kırıntıları karıştırılarak yapılır. Horasan harcı, taşları açık havada günümüzdeki çimento gibi birbirine bağlar.

Sönmüş kireçle pişmiş tuğla harcı açık havada çok sertleşir. Horasan harcı ile yapılan inşa ne kadar çok açık havada kalırsa o kadar sertleşir. Uzunköprü'nün temeli baştan başa bittikten sonra Horasan harcının sertleşmesi için yaklaşık iki yıl beklenmiştir. Bu süre içinde köprünün taşlarının yontulması ve kesilmesi hazırlıkları yapılmıştır. Bu aşamadan sonra köprü üst yapısı inşasına başlanmıştır.

Köprü yapısı; doğal kireç taşından kesme taşları ince bağlayıcı harç ile birleştirilerek inşa edilen temel üzerindeki ayaklar, ayakları bağlayan kemerler grubu ve tüm ayakları yol kotunda bağlayan döşemeden oluşmuştur (Resim 2.22).

Resim 2.22: Tarihi Uzunköprü kısmi görünümü

Köprü açıklıklarının mesnet noktalarını oluşturan ayakların akarsu yatağı içinde bulunduğu durumlarda ayaklar özel olarak desteklenmiştir. Ayaklara ırmağın akış yönüne karşıt doğrultuda selyaranlar, akış yönünde de mahmuzlar eklemlenmiştir. Her iki eleman, akışın ve bu akışla birlikte taşınan çeşitli ağır maddelerin ayağı ve ayak temelini tahrip etmesini önlemek amacıyla yapılmıştır. Uzunköprü'ye özel olarak farklı boyutlarda suyun akış kuvvetine göre bu elemanlar görülmektedir. Köprü ayaklarının oturması gereken noktalarda şayet kaya vb. bir sağlam zemin bulunmuyorsa kazıklı sistemler kullanılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Tarihi Uzunköprü kısmi görünüm krokisi

Tarihi Uzunköprü (Ergene Köprüsü) Özellikleri

1. **Kemerler:** Sivri ve yuvarlak olmak üzere iki çeşittir. Kent tarafından başlamak üzere; 1-33 sivri kemer, 34-81 yuvarlak kemer, 82-113 sivri kemer, 114-153 yuvarlak kemer, 154-162 sivri kemer, 163-172 yuvarlak kemer inşa edilmiştir.
2. **Selyaranlar:** Hızla akan nehrin sel olması durumunda gerek buz gerekse ağaç parçalarının köprüye zarar vermemesi için köprü ayaklarına yapılan sivri ve yuvarlak çıkıntılardır. Ergene Nehri aynı yönden akmasına rağmen diğer yönde de selyaranlar yapılmıştır. Burada amaç mimari açıdan köprü dengesini sağlamaktır. 55 ve 56. kemerlerin bastığı ayakta selyaranlar başlar ve 168. ayakta sona erer.
3. **Balkonlar:** 235. metrede, 40 ve 41. kemerler üzerinde 3,40x0,40 boyutunda; 680. metrede 102 ve 103. kemerler üzerinde 9,40x0,40 m boyutunda iki balkon vardır.
4. **Tahliye Gözleri:** Köprüde yedi tane boşaltma (tahliye) gözleri vardır. Bunlar yuvarlak kemerler biçiminde 145-154. ayaklar üzerindedir. Taşkınlarda suların boşaltma gözlerinden kolayca boşaltılmasını ve köprünün yıkılmamasını sağlar.
5. **Korkuluklar:** Köprünün nehir tarafının batı kenarında insan başı büyüklüğünde 28 adet korkuluk inşa edilmiştir.
6. **Kabartmalar:** Kemerlerdeki kilit taşları üzerindeki kabartma desenler, kemerleri yapan usta ve işçi ekiplerinin sorumluluk alanlarını belirlemek için yapılmıştır. İki desen arasını yapan ekip son kemerin kilit taşına kendi desenini (armasını) işlemiştir. Toplam 18 ayrı kilit taşı kabartması bulunması nedeniyle köprünün on sekiz ayrı ekip tarafından yapıldığı varsayılır.

SIRA SİZDE

Mimar Sinan, Büyükçekmece Kanûnî Sultan Süleyman Köprüsü'nün ayaklarını hangi teknikle inşa etmiştir? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

Artvin-Arhavi Çifte Köprü yapım tekniklerini, resim, fotoğraf, plan ve kesit çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

2.4 UYGULAMA

4(4) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KÂGİR KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, kâgir köprülerin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Kâgir köprülerin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi olarak** yerine getiriniz.

Verilenler

Antalya, Sultan Alâeddin-Belkıs (Köprüçay) Köprüsü

Edirne, Tunca Köprüsü

İstenenler

Verilen kâgir köprülerin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf, plan, kesit rölöve çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, kâgir köprülerin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü yapım dönemleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü yapım dönemleri ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hale getirilir.
4. Tunca Köprüsü yapım dönemleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Tunca Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Tunca Köprüsü yapım dönemleri ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hale getirilir.
7. Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü ve Tunca Köprüsü sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hale getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü'nün yapım dönemlerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü yapım dönemlerini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hale getirdiniz mi?		
4	Tunca Köprüsü'nün yapım dönemlerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Tunca Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Tunca Köprüsü yapım dönemlerini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Sultan Alâeddin-Belkıs Köprüsü ve Tunca Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

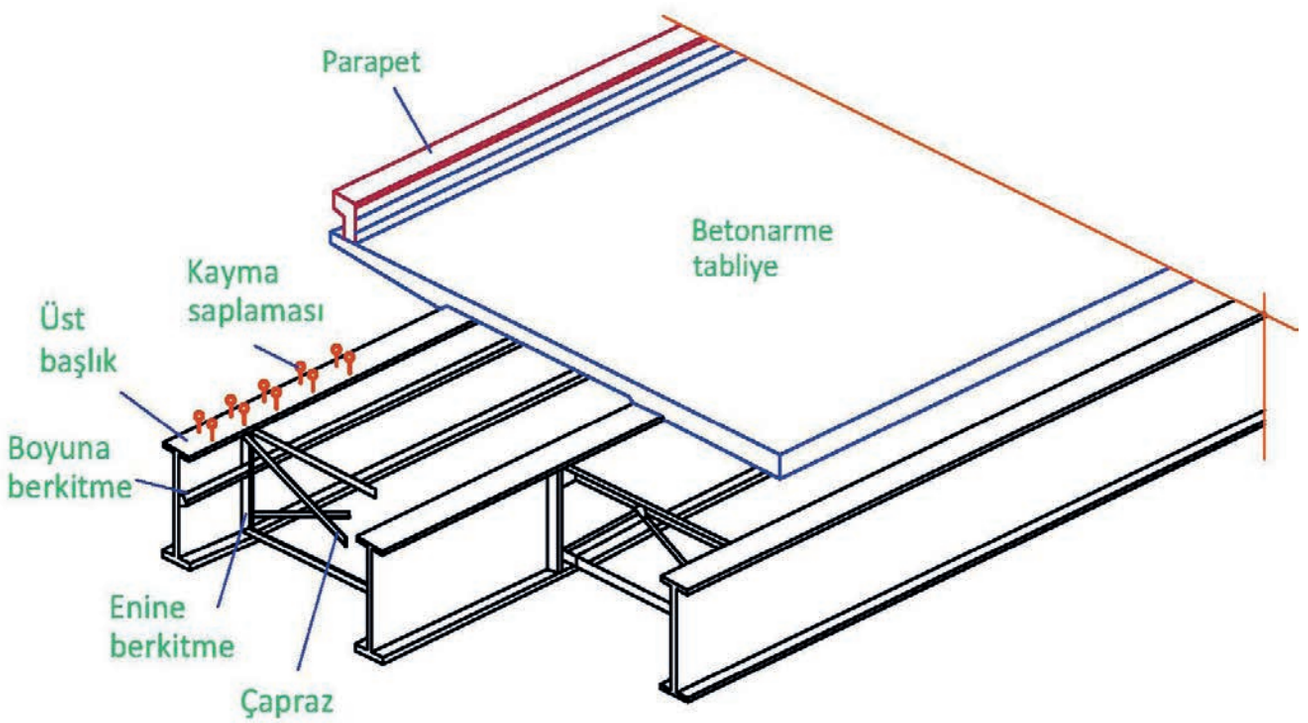
HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Çelik köprülerin yapım tekniklerini araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

2.5. ÇELİK KÖPRÜLER

Köprü üstyapısının ana taşıyıcı sisteminin çelik malzemeyle inşa edilerek oluşturulan köprülere **çelik köprü** denir. Köprü üstyapısında ana taşıyıcı olan kirişlerin, çelik ve betonarme malzemeyle inşa edilmesiyle oluşturan köprüler **kompozit köprü** olarak adlandırılır. Kompozit köprülerde, tabliye (döşeme) betonarmeden ve ana taşıyıcı olan kirişler çelik malzemeden yapılır.

Kompozit köprülerin tabliyesini oluşturan betonarme döşeme ve çelik kirişler birbirine bağlanarak birlikte çalışması sağlanır. Çelik kirişler, betonarme tabliyeye kayma saplaması adı verilen elemanlarla bağlantı yapılarak köprü dayanımının arttırılması ve deformasyonların azaltılması sağlanır. Şekil 2.9'da çelik kirişli köprülerin tipik detay gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.9: Tipik çelik I kirişli ve betonarme tabliyeli köprü üstyapısı (kompozit köprü)

Çelik köprüler; taşıyıcı sistemlerine, kullanım şartlarına, boylama kiriş en kesit şekline, hizmet süresine göre sınıflandırılır. Çelik köprüler taşıyıcı sistemlerine göre tek açıklıklı kiriş, sürekli kiriş, gerber kirişi, kemer kirişi, çerçeve sistem, asma sistem ve hareketli sistem olarak sınıflandırılır. Köprüler kiriş en kesitlerine göre dolu gövdeli kiriş, kutu kesitli kiriş, değişken kesitli kiriş, kafes kiriş olarak sınıflandırılır. Bunların dışında köprü tabliyesi, plak taşıcı sistem şeklinde inşa edilen köprülerde yapılmaktadır.

Köprü çeşidine bağlı olarak kiriş açıklığı için tavsiye edilen mesafe asma köprülerde 400-2000 m, kablo destekli köprülerde 100-700 m, kemer köprülerde 150-500 m, kutu kesitli köprülerde 250 m'ye kadar; kafes kirişli köprülerde 550 m'ye kadar yapılabilmektedir. Köprülerin tavsiye edilen taşıyıcı sistem açıklığı projelendirmesine bağlı olarak doğrusal eksenli, kurp ve verev köprüler şeklinde sınıflandırılır. Hizmet süresine göre köprüler geçici ve uzun ömürlü olarak iki sınıfa ayrılır. Köprü akakları ve mesnetleri betonarme malzeme, köprü kirişleri çelik malzeme ile inşa edilen Gerze-1 ve İdemli-1 viyadük köprüleri Resim 2.23 ve Resim 2.24'te verilmiştir.

Resim 2.23: Gerze-1 Viyadük Köprüsü

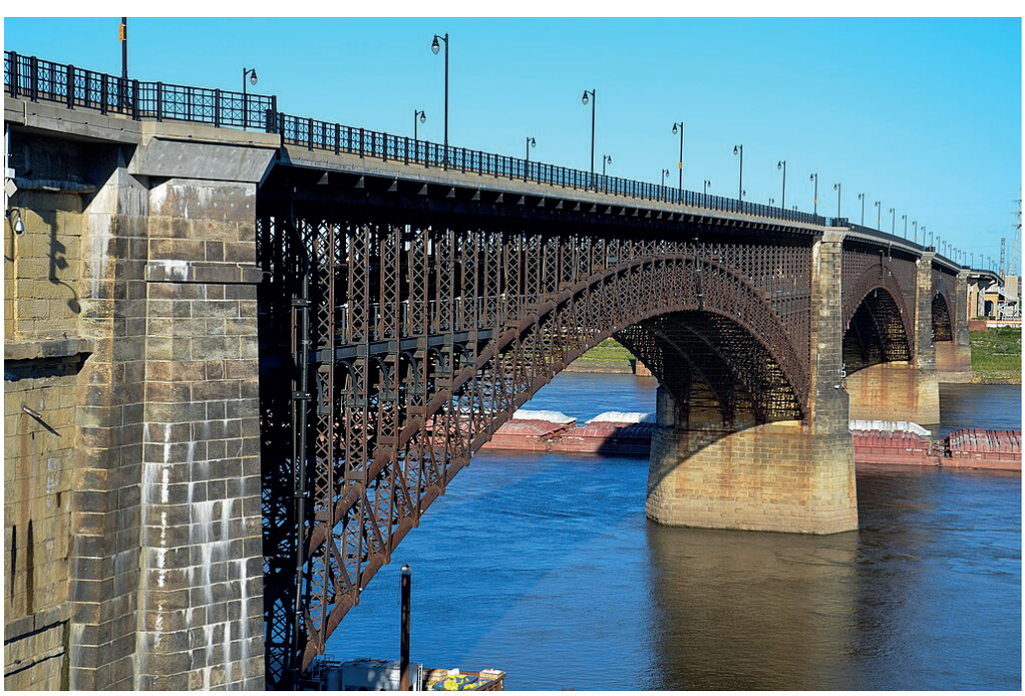
Resim 2.24: İdemli-1 Viyadük Köprüsü

2.5.1. Çelik Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

İlk metal köprü 1779'da Severn Nehri üzerine inşa edilen, İngiltere ile Galler arasındaki sınırı oluşturan köprüdür. Köprü inşasında demir malzeme kullanılmıştır. Demir malzeme ile inşa edilen köprülerin yerine sonraki dönemlerde dövme demir kullanılmıştır. Thomas Telford'un Galler bölgesiyle Anglesey'i birbirinden ayıran Menai Boğazı üzerinde, 1826 yılında inşa ettiği 178 metrelik köprünün zincirlerinde dövme demir kullanmıştır.

Robert Stephenson'un 1850'de yine Menai Boğazı üzerinde ve bu köprünün yakınında inşa ettiği boru biçimindeki demiryolu köprüsünde de dövme demir kullanılmıştır.

Üzerlerine fazla yük binen demiryolu köprülerinin dayanıklılığını arttırmak amacıyla en ideal tasarım, kemer ya da tek tarafında destekli dirsek formudur. James Eads tarafından 1874 yılında St. Louis'de Mississippi nehri üzerinde yapılan kemer formlu çelik köprü, dirsek formlu köprülerin ilk örneklerindendir (Resim 2.25).



Resim 2.25: Mississippi Nehri üzerinde St. Louis'den Doğu St. Louis, Illinois'e doğru uzanan Eads Köprüsü

Çelik malzemenin dayanımını arttıran üretimlerin yapılması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte demir köprülerin yerini, 19. yüzyıl sonlarından itibaren çelik köprüler almıştır.

Ülkemizde Seyhan Nehri üzerinde, Seyhan ve Yüreğir ilçelerini demiryolu ile birleştiren köprü, Adana Reşatbey ile Sinanpaşa arasındaki Tarihi Demirköprü'dür. 1. Dünya Savaşı başlamadan önce 1912 yılında Almanlar tarafından inşa edilmiştir. Köprü, 5 açıklıklı olup küçük açıklıkları 54 m olan 4 açıklık ve büyük açıklığı 96 m olan toplamda 312 m uzunluğunda çelik kafesli köprüdür.

Çelik kafes kirişli Tarihi Demirköprü Resim 2.26'da verilmiştir.

Resim 2.26: Seyhan, Demirköprü

2.5.2. Çelik Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Çelik, betonarme ve kompozit (çelik+betonarme) malzeme ile inşa edilen köprülerin yapımı iskele üzerine montaj, askı metodu, ripaj metodu, pantonlarla montaj, hareketli kalıp ve gezer vinç sistemi, çekme metodu ve sürme metodu ile gerçekleştirilir. Gerek iskele üzerine montaj, askı metodu, pantonlarla montaj metotları gerekse de hareketli kalıp ve gezer vinç metotları daha karmaşık teknik uygulamalara ve daha fazla maliyete neden olur. Bataklık, boğaz, daha derin nehirler, dereler, koruma alanları gibi engellerin aşılması esnasında bu metotların uygulanması çok zordur; bazı durumlarda ise mümkün değildir. Bu tür durumlarda çekme metodu uygulanır. Çekme metodunda köprü, sahilde ve yol ekseni üzerinde kurulur. Bunun için karşı sahilde yol ekseni doğrultusunda arazi düzenlenir ve özel çelik yol döşenir. Bu metotla ancak tek açıklıklı köprülerin montajı mümkündür. Çok açıklıklı köprülerin montajında; karşı tarafta çekme gerçekleştirilebilmesi, düzeneğin montajının yapılabilmesi ve geçici yolun döşenebilmesi için düz ve yeterli arazinin bulunması gereklidir. Bu metot, köprü bakım ve onarımlarında sıkça kullanılmaktadır.

İskele Üzerinde Montaj: Bu metodun kullanılması için kurulacak köprünün tam altına bir iskele inşa edilir. İskele genellikle ahşap kazıklar ve ahşap kirişlerle yapılır. Üzerine köprü kurulacak olan nehir veya yolda geliş ve gidiş varsa, montaj esnasında da devam etmesi gerekliyse iskelenin altında büyük gözler bırakılmalıdır. İskelenin üst yüzü, kurulacak çelik köprü ve ana kirişlerinin alt şekline uygun olarak yapılır.

Kemer köprülerin montajı için üst yüzü kemer şekline uygun bir iskele inşa edilir. İskele, işçi ve amelenin rahatça çalışabileceği boyutta ve şekilde olmalıdır. Montaj için kullanılan kreyn gibi vasıtaların cinsi de düşünülmelidir. Bu durumda portal kreynler kullanılacaksa bunlar köprü boyunca hareket edeceklerinden iskele, kreyn raylarını taşıyacak dayanımda ve boyutta olmalıdır.

Yuvarlak kesitli direklerle oluşturulan iskele, raylar arasına ve bunlara paralel konan tabanlara oturtulur. İskele yük etkisi altında dayanıklı olmalıdır. Yük etkisi altında ise az deforme olma özelliği taşımalıdır. Bu nedenle iskeleyi oluşturan parçaların boyutları biraz fazla olur. Mümkün oldukça küçük açıklıklarla teşkil edilmeli ve ana kirişin her bir düğüm noktası altına bir kazık sırası getirilmelidir. İskelenin kurulması bittikten sonra çelik köprüye ait parçalar, kaldırma makinelerinden yararlanılarak yerine getirilir ve birbirlerine montaj bulonları ile geçici olarak tutturulur.

Kafes kirişlerde önce alt başlık çubukları sıralanır ve geçici ekler yapılır. Sonra dikim çubukları, ait oldukları düğüm levhalarına montaj bulonları ile sabitlenir. Bunun için kreynden sarkan parça ucundaki delikler, düğüm levhasındaki deliklerin karşısına gelecek şekilde yerleştirilir. Bu suretle karşılıklı gelen birkaç deliğe montaj kamaları sokulur ve çekiçle vurularak diğer deliklerin tamamen birbirine denk getirilmesine çalışılır. Daha sonra montaj bulonları ile geçici ek yapılır. Kullanılacak montaj bulanlarının adedi, ek için kullanılan perçin adedinin üçte biri kadardır.

Dikim çubukları yerine konuldukça üst başlık çubukları da getirilerek eklenir. Böylece kaba olarak kurulan ana kirişe son ve kesin şekil vermek için bir nivelman aleti ile düğüm noktalarının projedeki yerleri belirlenir. Kabaca kurulan köprünün düğüm noktalarını asıl yerlerine getirmek için verenler kullanılır. Bu işlerin yapılması sırasında iskelede çöküntüler olabileceğinden, düğüm noktalarının yeri yeniden tahkik edilir. Düğüm noktaları hakiki yerlerine gelince montaj noktalarının adedi çoğaltılır ve sıkıştırılır. Daha sonra perçinleme işi başlar. Bu işlem sırasında aralıklar nivelman aleti ile düğüm noktalarının yerleri kontrol edilir.

Çekme Metodu: Köprü altındaki boşluğun derin olması veya nehirde şartların uygun olmaması yüzünden iskele kurmak ekonomik olmayabilir. Bu durumda başka metotlara başvurulur. Çekme metodunda köprü, sahilde veya yol ekseni boyunca kurulur ve karşı sahilden bir çelik kablo vasıtasıyla çekilerek yerine konur. Bunun için sahilde yol ekseni doğrultusunda sahil düzlenir ve özel bir demir yol döşenir. Bu hattın üzerine küçük tekerlekli alçak arabalar konur. Köprü bu arabaların üzerine kurulur. Çekilecek köprü iskeletinin ağırlığını azaltmak için yalnız ana kirişler ile enlemeleri monte edilir. İskelet, karşı sahile konmuş bir vinç ve çelik kablo vasıtasıyla çekilmeye başlanır. Böylece ayaklar üzerine oturtulan köprünün boylamaları, döşemesi ve yol kısmı inşa edilerek köprü tamamlanır.

Çekme metodunun uygulanabilmesi için aşağıdaki şartların oluşmuş olması gerekir.

a) Ana kirişlerin alt başlıkları düz olmalıdır.

b) Gerek köprü ve gerekse köprü başlangıcı hattın düz kısmı üzerinde bulunmalıdır.

c) Köprü, çok mesnetli ve mafsalsız kirişlerden yapılmış olmalıdır.

Tek açıklıklı köprü durumunda geçici orta ayak ile son şart yerine getirilir. Köprü çekilmeye başlanınca ana kirişlerin bir ucu boşta kiriş haline gelir. Gittikçe çoğalan portafoluk nedeniyle ana kirişin ucu aşağıya doğru eğrilmeye başlar. Böylece ana kirişin uç seviyesi, orta mesnetler üzerinde birleştirilen ruloların seviyesinden aşağıda kalır. Bu durumun çözümü için ana kirişlerin ucuna burun yapılır. Burunun başlığı yukarıya doğru konkavdır. Çekme sırasında uçları kalkık olan bu burunlar rulolara biner ve arkasından sürüklenen ana kirişin de rulolara oturmasına yardımcı olur. Portafo durumuna düşen ana kirişlerde negatif momentler oluşur.

İki mesnetli kirişlerde çekmeye göre hesaplanan alt başlık çubuklarında basınç gerilmeleri oluşur. Kafes kirişlerde alt düğüm noktaları birbirine ahşap dikmelerle desteklenerek başlıklar kuvvetlendirilir. Nehirde yeterli derinlikte su varsa duba veya mavunalar üzerine yapılan ahşap kulelerden yararlanılır. Çekilen köprünün ucu, bu ahşap kalenin üzerine oturduktan sonra çekme işi kolaylaşır. Böylece köprü ucundaki mesnet ile beraber çekileceğinden köprünün nehire düşme tehlikesi olmaz. Bu metotla montajdan ortaya çıkabilecek gerilme durumu, mukavemet hesabı sırasında göz önünde bulundurulur.

Askı Metodu (Portafo Montaj): Bu metot Gerber sistemi köprülerle kemerlerde uygulanır. Gerber sistemi köprülerde, yan gözlerdeki köprü kısmının iskele metodu ile kurulduğu göz önünde bulundurulduğunda genellikle su bulunmadığı veya varsa da az süratli olduğu, nehirdeki geliş ve gidişin de orta gözden yapılacağı düşünülürse yan gözlerde iskele metodunun kullanılmasında bir sakınca yoktur. Gerber köprüsünün konsol kısımlarının, yan gözler üzerine konacak kreynler vasıtasıyla monte edilmesi kabul edilir. Montaj ilerledikçe kreynler konsol kısmı üzerinde ilerleyebilir. Konsol kısmının inşasından sonra askı kirişi, pantonlar ile montaj metodu kullanılarak yerine konur. Yan gözlerdeki köprü kısmı konsollara kontrpua teşkil eder. Bundan dolayı gerber köprülerinde bu metodun uygulanmasında bir zorluk yoktur.

Kemer köprülerde, kemer çubukları kenar veya orta ayaklardan itibaren kreynler ve kabloların yardımıyla portafo olarak monte edilir. Portafo olarak ilerleyen kemer parçasına kontrpua teşkil edecek kısım olmadığından bu amaçla kablolar kullanılır. Monte edilen kemer parçaları, yer yer kablolarla asılır. Bu kabloların yatık olmaması için kenar ayak üzerine oturtulur. Bu kulenin tepesinden geçen kablo, sahile veya köprünün diğer uygun kısmına bağlanır. Kemerin ilk birkaç çerçevesi iskele veya konsol döşeme üzerinde yapılır. Daha sonra yapılacak birkaç çerçeve önceden inşa edilen çerçevelere dayanarak boşlukta durabilir. Çerçeveler eklendikçe portafoluk ve bundan dolayı da gerilmeler artar. Böylece kemer parçalarının kablolarla asılması gerekir. Bu işe iki taraftan birden başlanır. Anahtarda, birbirine ulaşan iki uç bağlandıktan sonra kablolara gerek kalmaz. Orta ayaklarda montaj simetrik olarak devam eder. Çubuklar, kemer portafosu ucundaki bir vinç vasıtasıyla yerleştirilir.

Pantonlarla Montaj: Gerek eski köprülerin yerinden alınarak uzaklaştırılması ve gerekse yeni köprülerin yerlerine konması için pantonlar kullanılabilir. Bunun için köprü yakınında, su içinde iskeleler inşa edilmelidir. Bu metotta, birbirine kuvvetli olarak bağlanmış dubalar veya mavunalar üzerine bir iskele yapılır. Bu sistem, yükletilerek veya su ile doldurularak alçaltılır ve bu hâlde iken kaldırılması istenen köprünün altına getirilir. Daha sonra yükler boşaltılarak veya sular dışarıya pompalanarak sistem yükseltilir. Böylece eski köprüyü yüklenmiş olan pantonlar çekilerek köprü uzaklaştırılır. Pantonlar köprü yakınında teşkil edilmiş bir iskeleye yanaşır ve köprü iskele üzerine çekilir. Bu durumda köprü, pantonlar üzerindeki rulolara oturtulmuş olmalıdır. Sahildeki iskele üzerinde monte edilmiş yeni köprünün yerine getirilmesi için yukarıdaki manevraların tersi yapılır. Yeni köprü, iskeleye yanaşmış vb. bunun seviyesine indirilmiş olan pantonların üzerine çekilir veya sahile tespit edilmiş pantonların üzerinde monte edilir. Daha sonra eski köprünün veya yeni inşa edilmiş olan köprünün orta ayakları arasına çekilir. Bunun için panton seviyesi, ayak seviyesinden yüksek olmalıdır.

Köprü gerekli manevralarla tam yerine getirildikten sonra panton seviyesi indirilerek mesnetler üzerine verilir. Metcezir olan deniz sahillerinde yapılan köprülerde, suyun alçalması ve yükselmesinden de yararlanılır. Burada pantonların taşıyabileceği yük daha önceden hesaplanmış ve tespit edilmiş olmalıdır. Köprünün indirilmesi ve yükseltilmesi için pantonları batırmak veya yükseltmek yeterli gelmezse kreynler kullanılır. Köprünün kaldırılması veya indirilmesi için kreyn kullanılacaksa bunlar Gerber kirişinin konsolları üzerine konur.

Ripaj Metodu: Genellikle işletilen hatlardaki eski köprülerin değiştirilmesinde, bakım ve onarımında kullanılan metottur. Hat üzerindeki geliş ve gidiş nedeniyle eski köprünün atılması ve yerine yenisinin konması, mümkün olduğu kadar kısa bir zamanda olmalıdır. Bunun için uygulanan bu metodun ana prensibi, değiştirilecek köprünün hemen yanında ve buna paralel bir montaj iskelesi kurulmalıdır. Yeni köprünün bu iskele üzerindeki montajı sırasında, eski köprüde gidiş ve geliş devam eder. Yeni köprünün montajının tamamlanmasıyla geliş ve gidiş, işin cinsine göre birkaç saat veya birkaç gün ara verildikten sonra devam ettirilir. Eski köprü sökülür veya yana itilerek dereye yuvarlanır. Daha sonra yeni köprü, enine yönde çekilerek ayaklara oturtulur. Bu çekme işi için yeni köprü, rulolar veya küçük arabalar ya da özel patent tertipleri üzerine konan kuvvetli traversler üzerine kurulur, vinçler veya patent sistemlerle yana çekilir.

Montaj iskelesinin üst seviyesi, mesnet tertibat seviyelerinden 5-10 cm kadar yüksek yapılır. Bir göze ait ripaj işi, eski köprü söküldükten ve bütün hazırlıklar yapıldıktan sonra 10-15 dakika kadar sürer. Ripaj metodu, çift veya daha çok hatlı demir yollarında yan yana birkaç köprü yapılacaksa geniş montaj iskelesi masrafından kaçınmak için dar bir montaj iskelesi kurularak yapılır. Her bir köprü, montajı bittikten sonra yan tarafa çekilerek yerine yerleştirilir.

İtme Sürme Metodu: Bu yöntemde diğer yöntemlerde olduğu gibi önce köprü altyapısı inşa edilir. Daha sonra köprü üstyapısı sürme platformu üzerinde kısım kısım inşa edilir ve aşama aşama karşı kıyıya veya bir sonraki ayağa hidrolik bir sistemle itilerek ulaştırılır. İtme sürme metodu uzunluğu 40-60 m arasında değişen açıklıklarla geçilebilmekte, geçici ayak kullanımı ile açıklık uzunluğu daha da arttırılabilmektedir. Yöntemin uygulanmasında; tabliye, kenar ayak arkasında oluşturulan döküm sahasında dökülmekte ve beton prizini aldıktan sonra köprü ekseni boyunca itilerek sürülmektedir. İtme sürme işlemi yapılırken üstyapıda oluşacak eğilme momentlerini sınırlandırmak için gaga adı verilen ve tabliyeye rijit olarak bağlanan çelik yapı elemanı kullanılır. Ayrıca sürme işlemi süresince ayaklarda geçici kayıcı mesnetler kullanılarak itmeden dolayı oluşan etkiler azaltılır.

İtme sürme metodu kullanılan yüksek ayaklı köprülerde, deprem etkilerine karşı yapı elemanlarının tasarımı önem arz etmektedir. Deprem tasarımında daha esnek ayaklar kullanılarak efektif periyodun artması amaçlanır. Bu şekilde ayaklara etki eden deprem ivmesinin azalması sağlanır. Ancak artan efektif periyot nedeniyle ayaklardaki deplasman artmaktadır. Köprü tasarımında, deplasman değerlerini sınırlandırmak ve esnek ayaklarda oluşacak deprem tesirlerini azaltmak için viskoz akışkanlı sönümleyicilerin kullanılması hem tasarım hem de malzeme miktarı açısından büyük avantaj sağlar (Resim 2.27, Resim 2.28, Resim 2.29).

Resim 2.27: Çanakkale 1915 Köprüsü bağlantı köprüsü itme sürme metodu uygulaması

Resim 2.28: Bitlis Çayı Köprüsü viyadük köprüsünde itme sürme metodu uygulaması-1

Resim 2.29: Bitlis Çayı Köprüsü viyadük köprüsünde itme sürme metodu uygulaması-2

Köprülerin Mesnetlerine Oturtulması ve Bağlanması: Montajı yapılan köprüler, mesnetlere oturtulmadan önce mesnet noktalarının plandaki tam yeri ve yüksekliği belirlenir. Daha sonra köprü gerçek ve son durumuna getirilerek mesnetleri üzerine oturtulur. Köprünün küçük ölçüdeki bu son hareketleri için verenler kullanılır. Köprünün mesnetlere oturtulma iş ve işlemleri -1° ile 10° arasında sıcaklıkta yapılmalıdır. Kullanılacak verenler, köprünün ağırlığına göre türlü çaptaki hidrolik verenlerdir. Bunlar köprünün aşağı yukarı hareketi için köprü başlarındaki enlemelerin altına konur.

Ülkemizde çelik+betonarme (kompozit) malzeme kullanılarak yapılan "Eğik Askılı Gergili Köprü" örnekleri aşağıda verilmiştir.

Nissibi Köprüsü: Adıyaman-Kâhta-Siverek-Diyarbakır Devlet Yolu'nun Atatürk Baraj Gölü'nü kestiği bölümde, barajın su tutmasıyla kara ulaşımının kesintiye uğradığı noktada inşa edilmiştir.

Teknik özellikleri bakımından "Eğik Askılı Gergili Köprü" tipidir. İstanbul Boğaziçi'ndeki "Asma Köprüler" gibi büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılan modern ve çağdaş bir köprüdür. Her iki yönde ikişer şerit olmak üzere toplam dört karayolu şeridi olan Nissibi Köprüsü'nün baraj gölü üzerindeki orta açıklığı 400 metre ve kenar açıklıkları 105 metredir. Köprünün her iki yakadaki pilonları 96 metre yükseklikte ve köprünün toplam boyu 610 metredir.

Nissibi Köprüsü'nde ters-Y tipi kuleler kullanılmıştır. Bu sayede kabloların kulenin dik kısmına ankre edilmesiyle yapım kolaylığı sağlanmış olup ayrıca enine yönde hem deprem hem rüzgâr etkilerine karşı rijitlik sağlanmıştır.

Nissibi Köprüsü'nde temeller, kenar ve orta ayaklar, pilonlar, köprü tabliyesi betonarme malzemeden yapılmıştır. Çelik eğik askılı halatlar kullanılmıştır. Köprü tabliyesinin yapımında ardgerme sistemi kullanılmıştır. Nissibi Köprüsü'nde kullanılan her tel teker teker galvanize edilmiştir. Tel ve kılıf arası wax doldurulmuş olup her halat grubu yüksek yoğunluklu polietilen kılıf uygulanarak oluşturulmuş ve büklüm şeklinde bir araya getirilmiştir.

Köprünün kule (pilon) kenar açıklık orta ayakları ile kısmen kenar ayaklarda kurşun çekirdeki kauçuk mesnetler kullanılmıştır. Kenar ayaklarda ayrıca pot (çanak) mesnetler bulunur. Kullanılan mesnetlerin ebatları 1120x1810 mm arasında değişen dikdörtgen şekillidir. Elastomer mesnet temelde destekleme ve yeniden merkezleme fonksiyonunu üstlenirken kurşun çekirdek etkili enerji sönümlenmesini sağlamaktadır. Servis durumunda bu mesnetler köprüye gereken rijitliği sağlarken deprem durumunda ise sönümleyici olarak çalışmaktadır (Resim 2.30).

Resim 2.30: Nissibi Köprüsü

Ağın Köprüsü: Keban Barajı'nın suları altında kalan kesimlerinde Arapgir üzerinden Elazığ ile Ağın ilçesi arasındaki karayolu olarak inşa edilmiştir. 13 m genişliğinde ve 520 m uzunluğundaki köprü, 2x1 şeritli ve teknik özellikleri bakımından "Eğik Askılı Gergili Köprü" olarak inşa edilmiştir. Ağın Köprüsü'nde temeller, kenar ve orta ayaklar, pilonlar, köprü tabliyesi betonarme malzemeden yapılmıştır. Köprü yapımında çelik eğik askılı halatlar ve köprü tabliyesinin yapımında ardgerme sistemi kullanılmıştır (Resim 2.31).

Resim 2.31: Ağın Köprüsü

SIRA SİZDE

Çelik, betonarme ve kompozit malzeme ile inşa edilen köprülerin montaj metotlarını aşağıda verilen boşluğa yazınız.

Çelik Köprülerde Malzeme Özellikleri ve Yangın Riski Önlemleri: Çelik köprülerin inşasında kullanılan çelik malzeme, mimari yapı ile örneklenen teknolojik ve onarım açısından kolaylıkla müdahale edilebilme gibi özelliklerin birlikte kullanılması avantajları nedeniyle inşaat sektöründe pek çok yapı türünde kullanılmaktadır. Çelik malzemeler diğer malzemelere göre deprem riski yüksek olan bölgelerde kullanılmasını ön plana çıkaran bazı üstün özelliklere sahiptir.

Çelik malzemenin homojen bir malzeme olması, üretiminin belirli bir denetim altında yapılması, yüksek mukavemetli olması, elastisite modülünün yüksek olması gibi üstünlükleri yanında bazı zayıf yönleri de vardır. Çelik malzemenin en zayıf yönleri, ısıya karşı duyarlı olması ve suyla teması halinde koruma tedbirleri alınmaması durumunda korozyona (paslanma) uğramasıdır. Çelik, malzeme olarak yanıcı olmamakla birlikte ısı yükseldikçe mukavemetinde ve elastiklik modülünde hızlı düşüşler meydana gelir.

Köprü yangınlarının en yaygın nedeni, yakıt tankerlerinin köprü parçaları veya diğer araçlarla çarpışmasıdır. Köprü yangınları, hidrokarbon yangını olarak adlandırılır. Benzinden kaynaklı çıkan köprü yangını, binalardaki yangınlardan çok daha yoğundur. Yüksek yoğunluklu köprü yangınları yapısal üyelere yönelik ciddi bir tehdit oluşturabilir ve yangın yoğunluğu, yangın tipi, köprüde kullanılan malzeme dâhil birçok faktöre bağlı olarak köprülerin çökmesine neden olabilir. Köprülerdeki yapısal elemanlar tipik olarak beton ve çelik gibi geleneksel malzemelerden yapılır. Çelik elemanlar; yüksek ısı iletkenliği, çeliğin mukavemet ve sertliğinin hızlı bozulması nedeniyle yüksek sıcaklığa çok duyarlıdır. Sıcaklık kaynaklı sürünme ve yerel burkulma gibi faktörler, çelik kirişlerde yüksek deformasyona neden olabilir.

Çelik yapıların yangına karşı korunmasında uygulanan yöntemler, aktif yöntemler ve pasif yöntemler şeklinde sınıflandırılır. Aktif yöntemler; yangın sırasında, en kısa sürede yangını etkisiz hale getirmek için alınan önlemlerdir. Bu yöntemler yangının yayılmasını önlemeyi hedeflemektedir. Örneğin söndürme sistemleri yangın esnasında çalışmakta ve yangının yayılmasını önlemektedir. Yerel yönetmeliklerde köprü yangınları için bir norm bulunmamaktadır.

Uluslararası yönetmeliklerde aktif koruma sistemleri için Amerika Ulusal Yangın Koruma Birliği'nin (NFPA) yayımlamış olduğu NFPA 502 kodu bulunur. Köprü yangınlarını önlemek için bu kodun kurallarına göre tasarım, montaj ve bakım çalışmaları yapılmaktadır. Başlıca aktif yöntemler; sabit boru sistemi ve hidrant sistemi, portatif yangın söndürücüler, yangın algılama sistemleri ve kapalı devre televizyon sistemleri şeklinde sıralanır. Pasif yöntemler ise yapının tasarımı aşamasında, ileride çıkması muhtemel yangınlarda çelik yapı elemanlarının zarar görmesini önlemek için alınan koruyucu önlemlerdir.

Çelik köprülerde yangın tasarımı, Eurocode 3-EN 1993-1-2'ye göre bir dizi faktörlerin belirlenmesiyle yapılır. Faktörlerin belirlenmesi ile olası yangın senaryoları oluşturulup çeşitli metotlarla çelik yapı elemanları üzerindeki yangının etkisi azaltılmaya çalışılır.

Önem faktörü, yangın performansının bir işlevidir ve köprünün yangın performansı doğrudan yangın direnciyle ilgilidir. Çelik köprü yangın tasarımında ilk olarak çelik köprü kirişleri üzerinde ayrıntılı bir inceleme yapılır ve çelik köprülerin yangın tepkisi ile ilgili eksik bilgi boşlukları belirlenir. Çelik köprülerin kritik doğasına dayalı önem faktörü geliştirilir. Önem faktörü belirlendikten sonra yangın şartlarında çelik kirişlerin davranışları üzerinde gerekli verileri üretmek için tipik çelik köprü kirişlerinde yangın dayanımı deneyleri gerçekleştirilir. Yangın testlerinden elde edilen sonuçlarla analiz sonuçları karşılaştırılarak sonlu eleman modeli doğrulanır. Sonlu eleman programı kullanılarak tipik çelik köprü kirişlerinin gerçekçi yangın, yükleme ve sınır koşulları altında termal ve yapısal tepkisini izlemek için sayısal bir model geliştirilir. Son olarak yangın testlerinden ve parametrik çalışmalardan elde edilen veriler ışığında çelik köprü kirişlerinin yangına dayanıklılığını geliştirme stratejileri belirlenir.

Önem faktörü belirlenirken birçok kritere göre köprünün geometrik özellikleri, malzeme özellikleri ve tasarım karakteristikleri, tehlike (yangın) olasılığı, trafik talebi vb. bir dizi riskler hesaplanarak risklerin toplamı değerlendirilir. Yangına dayalı önem faktörünün değerine göre köprülerle ilişkili yangın riski dört risk derecesi altında toplanmıştır. Bu risk dereceleri; düşük, orta, yüksek ve kritik risk şeklinde tanımlanmıştır. Köprü, düşük bir trafik hacmine hizmet eden kırsal alanda bulunan beton köprü gibi ''düşük'' veya ''orta'' risk derecesinde olursa köprünün yangın hasarına veya çökmesine daha az duyarlı olduğu düşünülür ve böyle bir köprünün yangın güvenliğinin artırılması için ilave önlemler alınması gerekir.

Çelik köprülerdeki yangın riskini önlemeye yönelik aşağıda açıklanan yalıtım uygulamaları ile istenen seviyeye getirilebilir.

Püskürtme beton ile koruma yönteminde; koruyucu malzeme karışımı, çelik elemanların yüzeyine özel aletlerle basınçlı olarak püskürtülmektedir. Uygulaması hızlı olan bu yöntem, diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir. Kolon, kiriş ve kafes kirişlerin her çeşit profil kesitlerinde ve karmaşık birleşim detaylarında uygulama kolaylığına sahiptir. Ayrıca yapı elemanlarının üzerinde bağlantı parçalarına gerek duyulmaması, uygulamanın önemli bir diğer avantajıdır. Püskürtülen malzemeler, çimento esaslı karışımlar ve mineral lifli malzemeler (vermükulit, perlit, mineral ya da cüruf lifler) olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Bu malzemelerin çelik yüzeyine tutunabilmeleri için yüzeyin zımparalanmış ya da kumlanmış olması gerekir.

Yapı elemanına, koruma katmanının 10-60 mm arasında uygulanmasıyla 2-4 saat arasında yangın dayanım düzeyi elde edilir. Yangın dayanım süresinin 4 saat olması için koruma katmanı kalınlığı 40-60 mm arasında olmalıdır. Bu durumda koruma katmanının kalınlığı arttığı için güvenlik açısından ince tel veya başka malzemeden hasır eleman kolonun üzerine serilerek koruma uygulaması gerçekleştirilir.

Panel ile kapama yönteminde, yapısal çeliği korumak için genelde dört çeşit levha ürünü kullanılır. Bunlar; kalsiyum silikat ve çimento bazlı plakalar, taş yünü plakalar, mineral fiber levha ve alçı plakalardır. Yangın plakları ile yalıtım, uygulama kolaylığı ve yangın dayanımında gösterdikleri performans nedeni ile çelik yapı elemanlarının yangına karşı korunmasında sık uygulanan bir yöntemdir. Bu koruma yönteminde kullanılan malzemeler; alçıtaşı, taş yünü, perlit ve vemikulit gibi hiç yanmayan yapı malzemelerdir. İstenen tüm dayanım süreleri, kalınlık ve içindeki malzeme bileşenleri aracılığı ile sağlanır.

Yangına dayanım süreleri, kullanılan kaplama türüne ve kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Uygulamalarda dikkat edilmesi gereken plakalar arasındaki birleşim yerlerinin üst üste getirilmemesidir. Bu nedenle plakalar şaşırtmalı şekilde yerleştirilmeli, ek yerlerine aynı cins malzeme ile sıva yapılmalıdır. 15-50 mm kalınlığında değişen özel levha çeşitleri ve çelik yapı elemanları 30-120 dakikaya kadar yangına karşı dayanım sağlar. Alçı ve perlit karışımları, sadece 1-2 saat yangın dayanımı sağlayabilmektedir. Buna karşın, kum yerine perlit ve vermikulit kullanılan karışımlarda daha yüksek yangın dayanım süreleri elde edilebilmektedir.

Isı ile genleşen boya yönteminde, çelik yapı elemanlarının üzerine yüksek sıcaklıkta şişen boyalar sürülerek yangına dayanım süreleri arttırılabilir. Kullanılan boya, yüksek sıcaklıkta şişer ve şişen gözenekli bölüm yalıtım görevini yerine getirir. Uygulamada çelik iskelet görülmek isteniyorsa bu yöntem uygulanabilir.

Çelik yapı elemanlarının üzerine boya uygulanmadan önce yüzeyin çok iyi temizlenmiş olması gereklidir. Boya, pistole ya da rulo fırça kullanılarak yüzeye uygulanır. Levha ve püskürtme kaplamaların tam tersine, şişme kaplamalar yangın sırasında aktifleşir ve kaplamaların boyutlarında değişim meydana getirir. Kaplama kalınlığı, ilk hâline göre 50 kat daha büyür ve rengi de kömürleşir. Şişme kaplamalar; astar, şişme kaplama ve yüzey kaplaması şeklinde üç katmandan oluşur.

İnce ve kalın tabaka oluşturan boyalar iki gruba ayrılır. Bunlar ince tabakalı solvent veya su bazlı boyalardır. 0,25-1,5 mm arası kalınlıkta boya 30 dakika; 5,0-6,0 mm arası kalınlıkta boya 120 dakika yangına direnç gösterir. Kalın tabakalı boyalar genellikle epoksi bazlıdır. 2,0-4,0 mm arasında uygulanan boya 30 dakika ve 15-20 mm arasındaki kalınlıklarda uygulanan boya 120 dakika yangına karşı dayanım sağlar.

SIRA SİZDE

Köprülerde ve bina yapılarında kullanılan çelik malzemenin avantajlarını ve dezavantajlarını aşağıda verilen boşluğa yazınız.

2.6 UYGULAMA

2(4) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

ÇELİK KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, çelik köprülerin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Çelik köprülerin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi olarak** yerine getiriniz.

Verilenler

Yavuz Sultan Selim Köprüsü

Osmangazi Köprüsü

İstenenler

Verilen çelik köprülerin yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf, plan, kesit rölöve çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, çelik köprülerin yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Yavuz Sultan Selim Köprüsü farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Yavuz Sultan Selim Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Yavuz Sultan Selim Köprüsü yapım dönemleri ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hale getirilir.
4. Osmangazi Köprüsü farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Osmangazi Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Osmangazi Köprüsü yapım dönemleri ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen verileri sunuma hazır hale getirilir.
7. Yavuz Sultan Selim Köprüsü ve Osmangazi Köprüsü sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hale getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nü farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Yavuz Sultan Selim Köprüsü yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün yapım tekniklerini kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
4	Osmangazi Köprüsü'nü farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Osmangazi Köprüsü yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Osmangazi Köprüsü'nün yapım tekniklerini kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Yavuz Sultan Selim Köprüsü ve Osmangazi Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Betonarme köprülerin yapım tekniklerini araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

2.7. BETONARME KÖPRÜLER

Günümüzde inşa edilen köprülerin daha dayanıklı ve ekonomik olmasının yanında yapım süresinin kısa olması ve geniş açıklıkların geçilebilmesi vb. parametrelerin ön plana çıkması, köprülerin üst yapılarında öngermeli kirişlerin kullanımını arttırmaktadır.

Sabit ve hareketli yükler altında oluşan çekme gerilmelerinin kontrol altına alınması için betona önceden istenen düzeyde basınç verme işlemleri öngerme olarak adlandırılır. Öngerme ile tüm dış yükler altında taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmesi oluşmayacak şekilde veya oluşacak gerilmelerin de çatlama olmayacak şekilde küçük kalması sağlanır. Öngermeli köprülerin üstyapısı genellikle betonarme tabliyeden ve öngermeli kirişlerden, altyapısı da genellikle orta ayaklardan ve kenar ayaklardan oluşur. Genellikle bu tip köprülerde üstyapının yüklerinin altyapıya aktarılması elastomer mesnetlerle sağlanır.

2.7.1. Betonarme Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

19. yüzyılın ikinci yarısında betonarme malzeme bina ve köprü yapılarında kullanılmıştır. 20. yüzyılın ilk yarısında öngerilmeli beton geniş uygulama alanı bulmuştur. Türkiye'de karayollarında en çok uygulanan köprü tipleri; betonarme köprüler, çelik köprüler, asma köprüler ve tabliyesi betonarme olan kompozit köprülerdir. Son zamanlarda yerinde dökme betonarme köprüler yaygın bir şekilde yapılmaya başlanmıştır. Öngerilmeli betonun gelişimi ile 1940'lı yıllarda betonun düşük çekme kapasitesi arttırılmıştır.

Öngerilmeli köprülerde germe işlemi, beton dökmeden önce gerilen beton dökümünden ve sertleşmesinden sonra serbest bırakılan çelik çubuklarla sağlanır. Diğer bir öngerilme şekli ise beton döküldükten ve sertleştikten sonra yerleştirilen öngerilme kablolarına kuvvet uygulanarak uçlarından ankre edilmesiyle gerçekleştirilir. Öngerilmede, beton yüksek basınç ve çelik yüksek çekme mukavemetiyle birleştirilir. Öngerilmeli beton köprüler ilk olarak 1936 yılında Almanya'da ve daha sonra Fransa'da inşa edilmiştir.

Yerinde dökme olarak inşa edilen Türkiye'nin ilk betonarme asma köprüsü Atav Köprüsü'dür. Köprü, Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün 1931 yılında bizzat emri üzerine inşa edilmiştir. Atatürk, 15 Mayıs ve 24 Haziran 1934 tarihlerinde iki kez Çan'a geldiğinde Atav Köprüsü'nü kullanmıştır (Resim 2.32).

Ülkemizdeki köprü inşaatları incelendiğinde Geç Osmanlı Dönemi'nde özellikle demiryolu hatları üzerinde sınırlı sayıda çelik köprü olmakla birlikte köprü inşaatlarında betonarmenin ilk kullanımının Cumhuriyet Dönemi ile başladığı görülür. 1925 yılında ilk betonarme köprünün inşasından 1938 yılına kadar 43 betonarme köprü inşa edilmiştir. 2. Dünya Savaşı Dönemi'ndeki çelik sıkıntısı nedeniyle köprü inşası yavaşladığından bu sayı 1945 yılına kadar ancak 65'e kadar yükselmiştir. Bu dönem içinde yapılan betonarme köprüler; beton standardının düşüklüğü, nervürsüz demir kullanımı, elle döküm vb. özellikler gösterirken; açıklık geçmek için teknolojik olarak daha çok kemer, bowstring (ana taşıyıcı sistemi beton kemer olup ara çubuklar ile üstyapıyı taşıyan köprü sistemi) vb. tekniklerle yapılmıştır. 2. Dünya Savaşı sonrasında ise daha üst sınıf beton ve çelik kullanılarak daha geniş açıklıkları kolayca geçen gerber tipi karayolu köprüleri yapılmaya başlanmıştır.

Resim 2.32: Atav Köprüsü

2.7.2. Betonarme Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Yerinde dökme betonarme köprü (boşluklu döşemeli köprü); üzerinden karayolu, demiryolu, yaya yolu, su yolu veya tesisat hattı boruları geçen, kenarlarda kenar ayaklara, varsa ortada orta ayaklara oturtulan mühendislik yapılarıdır. Köprüler; kullanılan malzeme cinsine, açıklıklarına, yapısal formlarına, yük taşıma biçimine ve döşeme tiplerine göre çok çeşitlidir. Kısa açıklıkların geçilmesinde kirişli köprülerin yanında plak döşeme şeklindeki köprülerin kullanımı uygun olmuştur ve zamanla kısa açıklıklarda yerinde dökme köprüler kirişli köprülerin yerini almıştır. Basit köprü üst yapılarında döşeme plağı yük taşıyıcı elemandır. Her iki yöndeki açıklık kabiliyeti ve yüksek dayanımından dolayı noktasal yüklerin dağıtılmasında form bakımından çok uygundur.

Yerinde dökme köprüler betonarme veya öngerilmeli beton olarak yapılır. Dolu gövdeli ya da boşluklu döşeme alt yapı üzerine oturtulur. Yerinde dökme köprülerin açıklık sınırı yükün büyüklüğüne bağlıdır ve yapım maliyeti, malzeme ve işçilikle ilgilidir. Yerinde dökme beton plak döşemeler mesnet elemanları ile birlikte yekpare dökülür.

Betonarme köprü tabliyeleri, bilinen analiz yöntemleri veya deneysel analiz yöntemlerinden elde edilen analiz yöntemleri yardımıyla tasarlanır. Analizde plak biçimi, mesnet şartları ve plak rijitliği hesaba katılır. Yerinde dökme köprülerin; düşük açıklıkta sığ derinlik, geometrik esneklik, temiz ve estetik görünüş, iyi yük dağıtma sistemi, gerilme ve burulma rijitliği, az bakım gerektirmesi gibi unsurlar olumlu yönleridir. Fazla sabit yük, orta derinlikte malzeme kullanımı yetersizliği, boşlukların bakımının problem olması ve öngerilmeli ise bazen onarılamaması gibi unsurlar olumsuz yönleridir. Yüksek sabit yük etkisi, derinlikte uygun varyasyon sağlanarak ya da boşluklar bırakılarak azaltılabilir.

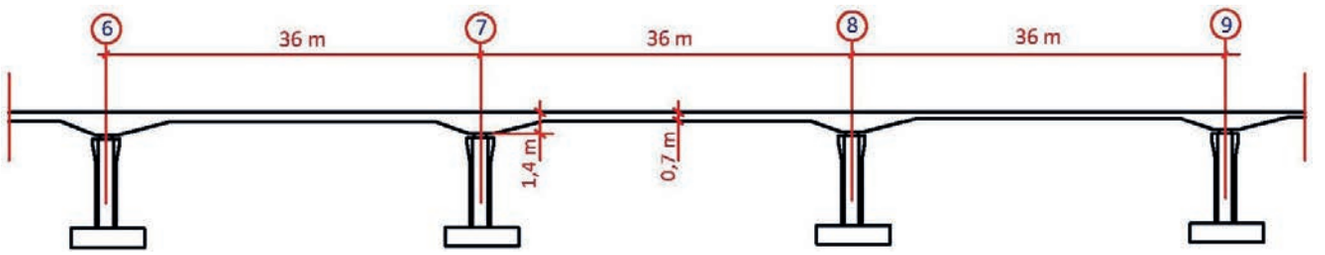
Yerinde dökme köprüler 6-30 m arası açıklıkta uygundur. 10 m'ye kadar açıklıklarda sabit derinlikli dolu gövdeli betonarme plak köprüler kullanılır. 8 m'nin üzerinde betonarme dolu gövdeli plaklarda ise 0,60 m derinlik uygundur. Boşluklu plak köprüler köprünün sabit yük ağırlığını azalttığı için tercih edilebilir. 10 m'den 15-20'm'ye kadar açıklıktaki boşluklu betonarme plaklarda 1,2 m derinlik uygundur. 15-30 m boşluklu öngerilmeli plaklarda 1,5 m'ye kadar plak kalınlığı uygundur. Şekil 2.10'da betonarme köprü mesnet, orta açıklık ve kenar açıklık tabliye kesit örnekleri verilmiştir.

Şekil 2.10: Betonarme köprü tabliye kesitleri

Türkiye'deki yerinde dökme ardgermeli sürekli köprüler ve prekast kirişli köprüler, prekast kirişler ile inşa edilmiş tek açıklıklı izostatik köprüler yaygın olarak kullanılan köprü inşa yöntemidir. Bu yöntemle inşa edilen köprülerde, açıklık uzunlukları prekast kirişleri taşıyan araç ve vinç kapasitelerine bağlı olarak sınırlandırılmaktadır ve maksimum açıklık uzunluğu 30-40 m arası uygundur. Ayrıca bu yöntemle inşa edilen köprülerin tasarımında kullanılan kiriş yükseklikleri 1,4-2,0 m arasında değişir.

Köprü sisteminin tasarımında basit kirişli izostatik sistem kullanılması, açıklık ortalarında daha büyük eğilme momenti değerlerinin elde edilmesine ve mesnet noktalarında moment oluşmamasını sağlar. Bu durum prekast kirişlerin boyutlandırılması açısından kullanışlı bir tasarım değildir. Prekast kiriş yönteminde ayaklarda her bir kiriş için bir mesnet yerleştirilir ve orta ayaklarda iki sıra mesnet kullanılır. Ayaklarda kullanılan büyük kütleli başlık kirişleri, mesnet ve derz sayısı bakımından ekonomik ve estetik değildir.

Betonarme köprülerde sürekli kiriş yöntemi kullanılarak açıklık uzunluğu 50 m'ye kadar alınabilir. Kesit yükseklikleri açıklıkta 1,0-1,4 m arasında mesnetlerde ise açıklık kesit yüksekliğinin yaklaşık iki katı olan kısımlarda yerinde dökme ardgermeli köprüler inşa edilir. Sürekli kiriş için hesaplanan statik moment, açıklık ve mesnet kesitlerinde paylaştırılır. Sürekli kiriş oluşturularak daha uzun mesafeler geçilmekte ve böylece ayak sayısı, derz sayısı ve ayaklarda kullanılacak mesnet sayısı azaltılmaktadır. Şekil 2.11'de sürekli kirişlerden oluşan betonarme köprü boy kesit örneği verilmiştir.



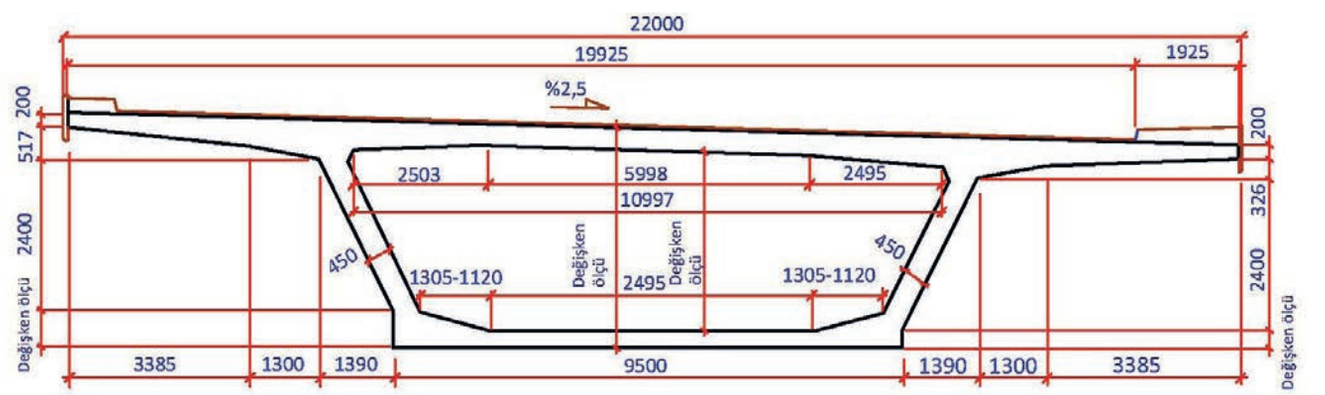
Şekil 2.11: Betonarme köprü boy kesiti

İtme Sürme Metodu ile inşa edilen ardgermeli köprü örneği V06 viyadük köprüsü yapım teknikleri ve özellikleri örnek olarak aşağıda açıklanmıştır.

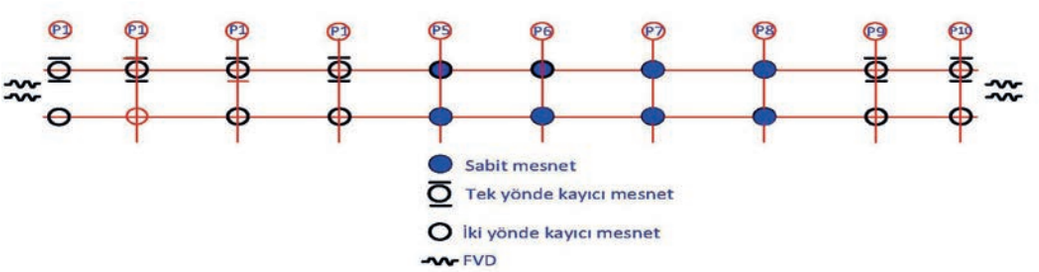
V06 Viyadük Köprüsü: Yavuz Sultan Selim Köprüsü Kuzey Marmara Çevreyolu üzerinde, İtme Sürme Metodu kullanılarak yapılmış olan ardgermeli V06 köprü viyadüğünün deprem tasarımı yapılmıştır. V06 köprü viyadüğünde, yükseklik boyunca değişen ayak kesiti (rijit kesit ve çerçeve sistemi) kullanılarak elde edilen esnek ayaklar ve bunun yanında köprü boyuna yönünde kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler (FVD: Fluid Viscous Damper) ile boyuna yöndeki deprem etkileri azaltılmış ve böylece malzeme miktarı açısından daha ekonomik kesitler kullanılmıştır.

V06 viyadük köprüsünün malzeme miktarı bakımından diğer bir avantajı, temele aktarılan tesirlerin ve özellikle de deprem sebebiyle temelde oluşan moment değerlerinin büyük oranda azalması ve temel boyutlarının daha küçük olarak hesaplanmasıdır. Bu yapı sistemi sayesinde tek seferde uzun açıklık geçilerek ayaklar üzerinde tek sıra mesnet kullanılmıştır. Yalnız kenar ayaklarda olmak üzere iki yerde derz kullanılmıştır. Bu durum, köprüler için daha az bağlantı elemanı kullanılmasını sağlamış ve buna bağlı olarak da köprü bakım onarım maliyetlerini azaltılmıştır.

V06 viyadük köprüsü, Kuzey Marmara Çevreyolu'nda en uzun ayaklara sahip viyadük köprüdür. Köprü toplam uzunluğu (38 m+4x50 m+3x55 m+42 m) 427 m'dir. V06 viyadüğü, genişliği 22 m olan yan yana iki köprüden oluşmaktadır (Şekil 2.12, Şekil 2.13).



Şekil 2.12: Betonarme V06 viyadük köprüsü üstyapı en kesiti



Şekil 2.13: Betonarme V06 viyadük köprüsü mesnet yerleşimi

V06 viyadüğünde kullanılan ayak kesitleri, ayak yüksekliklerine bağlı olarak tiplendirilmiştir. Köprü ayakları, altta daha rijit bir kesit ve üstte daha az rijit esnek çerçeve sistemden oluşmaktadır. Çerçeve sistemi yüksekliği ise maksimum 19 m alınmıştır. Buradaki amaç, enine doğrultuda uzun ve kısa ayaklar arasındaki rijitlik dağılımını ayarlamak ve ayaklar arası benzer rijitlikleri elde edebilmektir.

V06 viyadüğü üstyapısında C50, ayaklarda ve temellerde C30 beton sınıfı kullanılmıştır. Köprü boyuna doğrultusunda dört yüksek ayakta tutulu, kenar ayaklarla birlikte diğer ayaklarda serbest bırakılmıştır. Enine doğrultuda ise; dört uzun ayakta tutulu, diğer ayaklarda mesnetlerden birisi serbest diğeri tutulu kabul edilmiştir.

SIRA SİZDE

Betonarme köprülerde sürekli kiriş yöntemi kullanılması durumunda açıklık ölçülerini, kesit yüksekliklerini aşağıdaki boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

Öngermeli köprü elemanlarının adlarını aşağıdaki boşluğa yazınız.

2.8 UYGULAMA

2(4) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BETONARME KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, betonarme köprülerin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Betonarme köprülerin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde verilen görevi **uygulama ödevi olarak** yerine getiriniz.

Verilenler

Malatya, Tohma Köprüsü

Adana, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü

İstenenler

Verilen betonarme köprülerin yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf, plan, kesit rölöve çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, betonarme köprülerin yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Tohma Köprüsü farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Tohma Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Tohma Köprüsü yapım dönemleri ve teknikleri kaynaklardan elde edilen ve derlenen verilerle sunuma hazır hale getirilir.
4. 15 Temmuz Şehitler Köprüsü farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. 15 Temmuz Şehitler Köprüsü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. 15 Temmuz Şehitler Köprüsü teknikleri kaynaklardan elde edilen ve derlenen verilerle sunuma hazır hale getirilir.
7. Tohma Köprüsü ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hale getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Tohma Köprüsü'nü farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Tohma Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Tohma Köprüsü'nün yapım tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hale getirdiniz mi?		
4	15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nün yapım dönemlerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	15 Temmuz Şehitler Köprüsü tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hale getirdiniz mi?		
7	Tohma Köprüsü ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hale getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. Aşağıdakilerden hangisi köprü tamamlayıcı elemanlarından birisidir?

A) Temel blokları

B) Kenar eşikleri

C) Köprü ayakları

D) Taşıyıcı kirişleri

E) Köprü tabliyesi

2. Bilinen en eski ahşap köprü aşağıdakilerden hangisidir?

A) Buzlupınar

B) Julius Sezar Ren

C) Pons Sublicius

D) Pulur

E) Trayan Tuna

3. Köprü iki ayağının iç yüzleri arasındaki açıklık aşağıda verilen hangi terim ile ifade edilir?

A) Dayanak açıklığı

B) Köprü açıklığı

C) Mesnet açıklığı

D) Serbest açıklık

E) Üstyapı açıklığı

4. Mimar Sinan, İstanbul ve yakın çevresinde inşa ettiği yapılarda ağırlıklı olarak aşağıda verilen hangi taşı kullanmıştır?

A) Arduaz

B) Kabayonu

C) Kesme

D) Küfeki

E) Moloz

5. Basit ahşap kirişli köprülerde kullanılabilen en büyük kesitli taşıyıcı kirişlerin bulunabileceği kabulü ile normal demiryolları için basit (tek) taşıyıcı (ahşap) kirişlerle yapılacak köprülerin maksimum dayanak açıklığı kaç metredir?

A) 4,5

B) 5,0

C) 5,5

D) 6,0

E) 6,5

6. **Günümüzde ayakta olan Diyarbakır ili Silvan ilçesi arasındaki sivri kemerli Malabadi Köprüsü hangi köprüden sonra en büyük açıklıklı ikinci köprüdür?**

A) Hasankeyf

B) Kırkgöz

C) Odabaşı

D) Varda

E) Yalnızgöz

7. **Dünyanın en uzun taş köprüsü olarak inşa edilen Uzunköprü'nün ustası aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Mimar Hayreddin

B) Mimar Kemalettin

C) Muslihittin Bey

D) Mimar Sinan

E) Cisr-i Mustafa Paşa

8. **Türkler, İranlılar ve Araplar köprü yapımında hangi kemer formunu kullanmıştır?**

A) Basık

B) Elips

C) Parabol

D) Sivri

E) Yuvarlak beşik

9. **Aşağıdakilerden hangisi çelik köprü sınıflamalarından biri değildir?**

A) Hizmet süresine

B) Boylama kiriş en şekline

C) Kullanım şartlarına

D) Taşıyıcı sistemlerine

E) Kemer şekline

10. **Robert Stephenson'un 1850'de Menai Boğazı üzerinde ve bu köprünün yakınında inşa ettiği boru biçimindeki demiryolu köprüsünde aşağıdaki hangi malzeme kullanılmıştır?**

A) Çelik

B) Demir

C) Dövme demir

D) Kâgir

E) Kompozit

11. **Ülkemizde, Seyhan Nehri üzerinde, Seyhan ve Yüreğir ilçelerini demiryolu ile birleştiren, Adana Reşatbey ile Sinanpaşa arasındaki Tarihi Demirköprü aşağıda verilen hangi sistemle inşa edilmiştir?**

A) Dolu gövdeli kiriş

B) Kemer kiriş

C) Değişken kiriş

D) Kafes kiriş

E) Kutu kesitli kiriş

12. **Dirsek formlu köprülerin ilk örneklerinden olan kemer formlu çelik köprü aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Eads

B) Galler

C) Demirköprü

D) Menai

E) Severn

13. **Köprü yüksekliği 5 metre olan ahşap köprünün ayak üst genişliği kaç metredir?**

A) 1,50

B) 1,33

C) 1,30

D) 1,20

E) 0,80

14. **Betonarme ve metal köprülerin inşasıyla birlikte kaç kilometreye yaklaşan açıklıklar aşılmaktadır?**

A) 3

B) 2

C) 1

D) 0,8

E) 0,5

15. I. Asma köprülerde 400-2000 m'ye kadar

II. Kablo destekli köprülerde 100-700 m'ye kadar

III. Kutu kesitli köprülerde 850 m'ye kadar

IV. Kafes kirişli köprülerde 550 m'ye kadar

Yukarıda köprü çeşidine bağlı olarak kiriş açıklığı için tavsiye edilen mesafeler ile ilgili bilgi verilmiştir.
Buna göre aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) I ve II

B) I, II ve IV

C) I ve III

D) III ve IV

E) II, III ve IV

16. **Nissibi Köprüsü teknik özellikleri bakımından aşağıda verilen hangi köprü sistemiyle inşa edilmiştir?**

A) Kirişli

B) Kemer

C) Eğik askılı gergili

D) Kafes kirişli

E) Tabliyeli

17. **Yerinde dökme olarak inşa edilen aynı zamanda Türkiye'nin ilk betonarme asma köprüsü aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Atatürk

B) Atav

C) Boğaziçi

D) Fatih Sultan Mehmet

E) Haliç

18. **Yerinde dökme betonarme köprülerin kaç metre açıklıklarda yapılması uygundur?**

A) 5-20

B) 5-25

C) 6-20

D) 6-30

E) 8-35

19. **Betonarme köprülerde sürekli kiriş yöntemiyle açıklık uzunluğu kaç m'ye kadar alınabilir?**

A) 80

B) 75

C) 70

D) 60

E) 50

20. **Yavuz Sultan Selim Köprüsü Kuzey Marmara Çevreyolu üzerinde ardgermeli olarak inşa edilen V06 viyadük köprüsü üstyapısında hangi beton sınıfı kullanılmıştır?**

A) C50

B) C40

C) C30

D) C25

E) C16

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

3. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

3.1. KEMER KÖPRÜLER
3.2. UYGULAMA: KEMER KÖPRÜLER
3.3. KİRİŞLİ KÖPRÜLER
3.4. UYGULAMA: KİRİŞLİ KÖPRÜLER
3.5. KAFES SİSTEMLİ KİRİŞLİ KÖPRÜLER
3.6. UYGULAMA: KAFES SİSTEMLİ KİRİŞLİ KÖPRÜLER
3.7. KONSOL KÖPRÜLER
3.8. UYGULAMA: KONSOL KÖPRÜLER
3.9. ASMA KÖPRÜLER
3.10. UYGULAMA: ASMA KÖPRÜLER
3.11. KABLO GERGİLİ KÖPRÜLER
3.12. UYGULAMA: KABLO GERGİLİ KÖPRÜLER

KEMERLER VE KEMERLERİ OLUŞTURAN ELEMANLAR

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Kemer köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesinin ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Kemer köprülerin yapım dönemlerine göre incelenmesi ve yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Kirişli köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesinin ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Kirişli köprülerin yapım dönemlerine göre incelenmesi ve yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Kafes sistemli kirişli köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesinin ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Kafes sistemli kirişli köprülerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Asma köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesinin ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Asma köprülerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Kablo gergili köprülerin yapıldıkları dönemlere göre incelenmesinin ve yapım tekniklerinin incelemesini
- Kablo gergili köprülerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını

Temel Kavramlar

asma köprüler, kablo gergili köprüler, kafes sistemli kirişli köprüler, kemer köprüler, kirişli köprüler, konsol köprüler, köprü yapım teknikleri

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimar Sinan'ın yaptığı kemerli köprüleri araştırınız ve edindiğiniz bilgi ve belgeleri arkadaşlarınızla paylaşınız.

3.1. KEMER KÖPRÜLER

Taşıyıcı sistemlerine göre köprüler; kemer, kirişli, kafes sistemli kiriş, konsol, asma ve kablo gergili köprüler şeklinde sınıflandırılır. Taşıyıcı sistemlerine göre köprü sınıflandırılması, köprü yapısının düşey ve yatay taşıyıcı elemanlarının inşa sistemine, statik açıdan konumlandırılmasına, taşıyacakları hareketli, zati (köprünün kendi ağırlığı) ve deprem yüklerine karşı davranış özelliklerine göre yapılır.

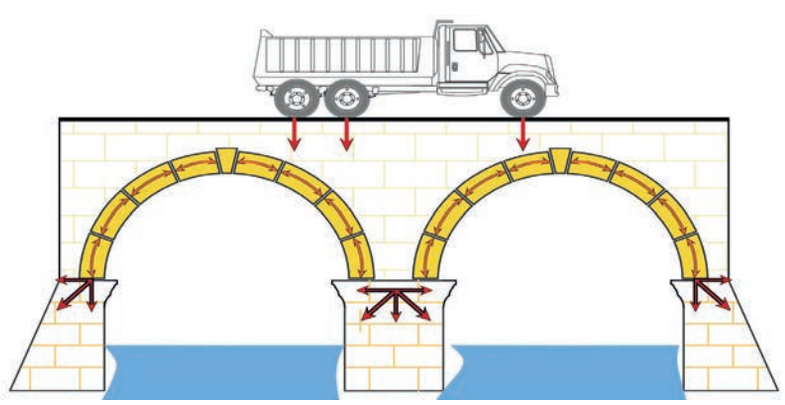
İki sütun veya ayağı birbirine üstten yarım çember, basık eğri, yonca yaprağı vb. biçimlerde bağlayan ve üzerine gelen duvar ağırlıklarını iki yanındaki ayaklara bindiren tonoz bağlantısına **kemer** denir.

Taşıyıcı sistemi kemerlerden oluşan köprülere **kemerli köprü** denir (Resim 3.1). Kemerli köprüler yaşantımızın en önemli yapıları arasındadır. Yol güzergâhındaki engellerin aşılmasında kemerli köprüler tarih boyunca önemli görevler üstlenmiştir.

Kemerli köprüler geçişi sağlarken çoğu zaman yolu da kısaltmıştır. İnsanoğlunun ilk köprüden bu zamana kadar kullandığı kemerli köprülerin inşaat malzemeleri ahşap, taş ve tuğladır. Ahşap malzemenin her yerde yeterince bulunamaması, bu malzemenin özellikle atmosferik şartlara dayanıklı olmaması nedeniyle kemerli köprülerde kullanımı genel olarak sınırlı kalmış; taş ve tuğla, kemerli köprü yapımı için ana malzemeler olmuştur.

Kemer köprüler emniyetli yük taşıması için özel bir eğriliğe sahiptir. Bu eğriliğe **zincir eğrisi** denir. Zincirin her bir halkası nasıl yükü eşit taşıyorsa kemer içinde de yük dengeli bir şekilde dağılmakta, mesnetlere iletilmekte ve zemin tarafından sönümlenmektedir (Şekil 3.1).

Resim 3.1: Malabadi Köprüsü kısmi görünümü



Şekil 3.1: Kemer köprülerde yük dağılımı

3.1.1. Taşıyıcı Sistemlerine Göre Kemer Köprü Çeşitleri

Taşıyıcı sistemlerine göre kemer köprüler, mesnet durumlarına ve kemer tabliye durumuna göre iki şekilde ele alınmalıdır.

3.1.1.1. Mesnet Durumlarına Göre Kemer Köprüler

Kemer eğrisinin başlangıç ve bitiş noktalarının sabit bir cisme bağlandığı yere **mesnet** adı verilir. Kemer mesnet bağlantılarında yüke bağlı olarak doğrusal yer değiştirmeler bulunmuyorsa bu mesnetlere **sabit mesnet**, doğrusal yer değiştirmelere bağlı olarak bir yönde hareket edebiliyorsa bu mesnetlere de **hareketli mesnet (oynar eklem)** adı verilir.

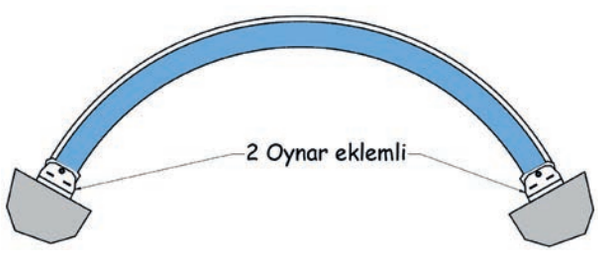
Mesnet durumlarına göre kemer köprüler aşağıdaki şekilde gruplandırılır.

a) Sabit mesnetli (oynamaz eklemli)
b) İki oynar eklemli
c) Üç oynar eklemli
ç) Çelik gergili

a) Sabit Mesnetli (Oynamaz Eklemli) Kemer Köprüler: Kemer başlangıç ve bitişinde yer alan, mesnetleri sabit olan köprülerdir (Şekil 3.2). Özellikle kâgir malzemeden yığma olarak yapılmış olan kemer köprüler, sabit mesnetli köprülere örnek verilebilir.

b) İki Oynar Eklemli Kemer Köprüler: Ahşap veya çelik esaslı kemer köprü imalatlarında tercih edilen mesnet şeklidir (Şekil 3.3). Sismik hareketlerin yüksek olduğu yerlerde, köprü malzemesinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan değişimlerin köprüye zararlarını engellemek, kemer açıklığı boyunca kemer gövdesinde esneme sağlamak ve emniyetli olarak yük taşımak amacıyla bu mesnet şekli tercih edilir. İki eklemli kemer, çoğunlukla uzun açıklıkları kapatmak için kullanılır.

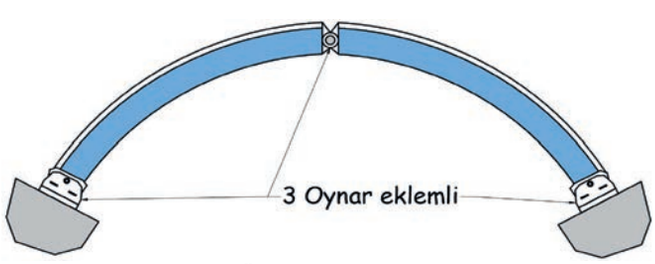
Şekil 3.2: Sabit mesnetli kemer köprü



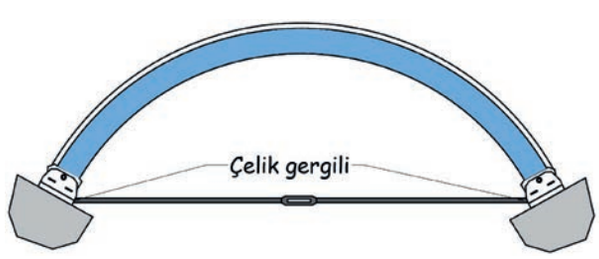
Şekil 3.3: İki oynar eklemli kemer köprü

c) Üç Oynar Eklemli Kemer Köprüler: Özellikle zemin oturmalarına bağlı olarak yaşanabilecek yapısal bozulmaların olabileceği yerlerde ve çelik köprülerde sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan genleşmelere karşı üç oynar eklemli kemer köprüler yapılmaktadır (Şekil 3.4). Kemer ayaklarına ve kemer üst tepe noktasına çelik menteşeler yerleştirilir ve köprünün yapısal düzeni korunur. Kemer açıklığının kemer yüksekliğinden fazla olduğu parabolik kemer köprülerde daha sık uygulanmaktadır.

ç) Çelik Gergili Kemer Köprüler: Kemer açıklığının fazla, yüksekliğinin az olduğu kemer köprülerde yapı itibari ile basınç gerilmesinin yanında çekme gerilmesi de meydana gelmektedir. Basınç gerilmesini kemer kendi bünyesinde sönümlemektedir. Kemer yapısından dolayı oluşan çekme gerilmelerini ise iki mesnet arasına gerilen çelik gergi halatları karşılamakta ve kemer dengesini korumaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4: Üç oynar eklemli kemer köprü



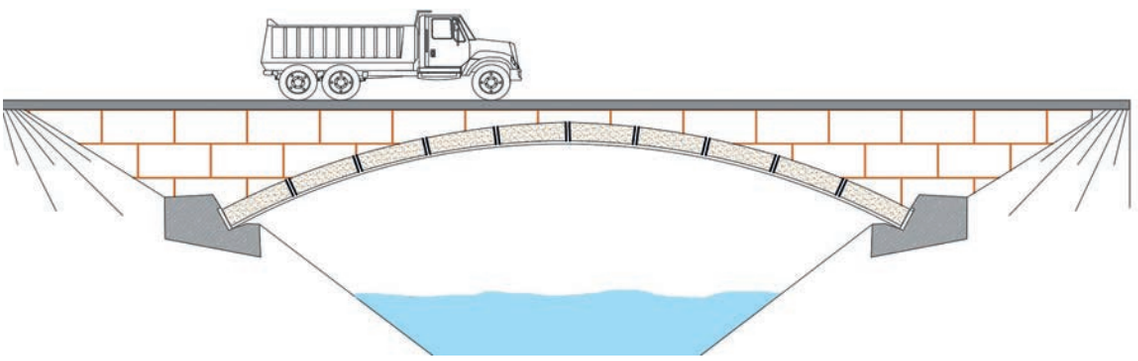
Şekil 3.5: Çelik gergili kemer köprü

3.1.1.2. Tabliye Konumuna Göre Kemer Köprüler

Köprülerde tabliye, demiryolunu ya da karayolunu taşıyan üst bölümdür. Tabliye ile kemerin bağlantı durumuna göre kemer köprüler aşağıdaki şekilde gruplandırılır.

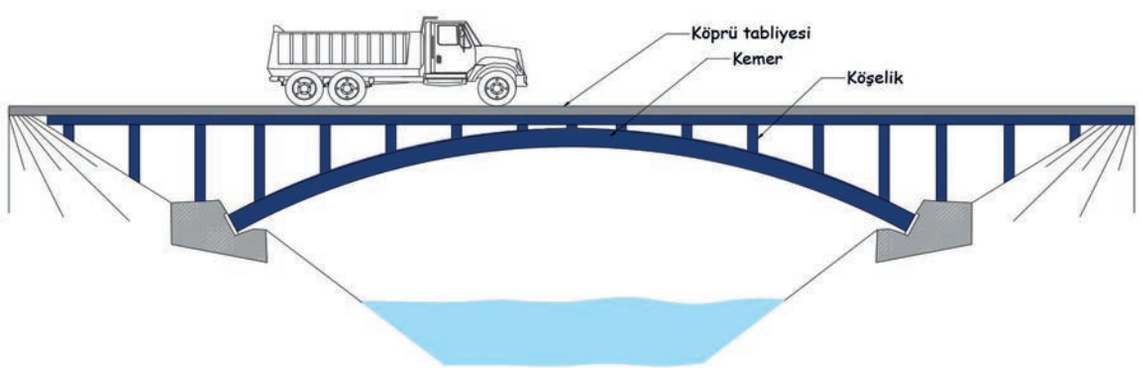
a) Tabliye (güverte) kemerli köprü
b) Geçiş kemerli köprü
c) Yarı geçiş kemerli köprü

a) Tabliye (Güverte) Kemerli Köprü: Tabliyenin kemer üzerine yerleştirildiği kemer köprülerdir. Kemerli tabliye yüksekliğinin yol kotuna yakın olduğu köprü geçişlerinde veya kemer mesnetlerinin düşük kotlarda olmasına bağlı olarak kemer üst tepe noktası ile yol platformu arasında kot farkı ortaya çıktığında tabliye kemerli köprüler inşa edilir. Özellikle taş kemer köprüler bu tekniğe göre yapılır (Şekil 3.6).



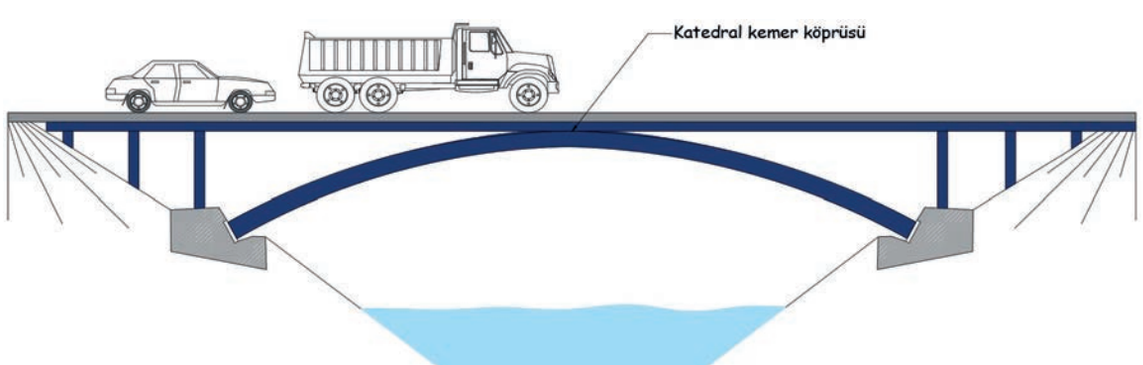
Şekil 3.6: Tabliye (güverte) kemerli köprü

Kemer ile yol tabliyesi arasına yerleştirilen dikmelere **köşelik** adı verilir. Köşelikler; çelik, betonarme, taş, ahşap malzemelerden yapılır (Şekil 3.7).



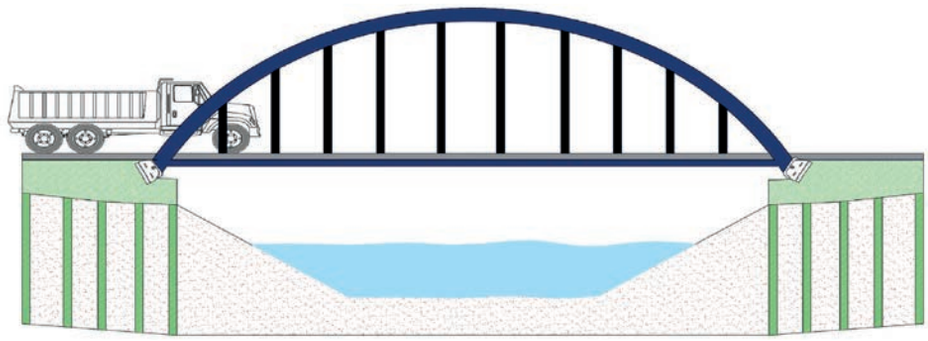
Şekil 3.7: Tabliye (güverte) kemerli köprüde dikmeler (köşelikler)

Bir kemerin yalnızca taçtaki (kemerin üst tepesi) kısmından tabliyeye temas ettiği kemer köprülere **katedral kemer köprüsü** adı verilir (Şekil 3.8).



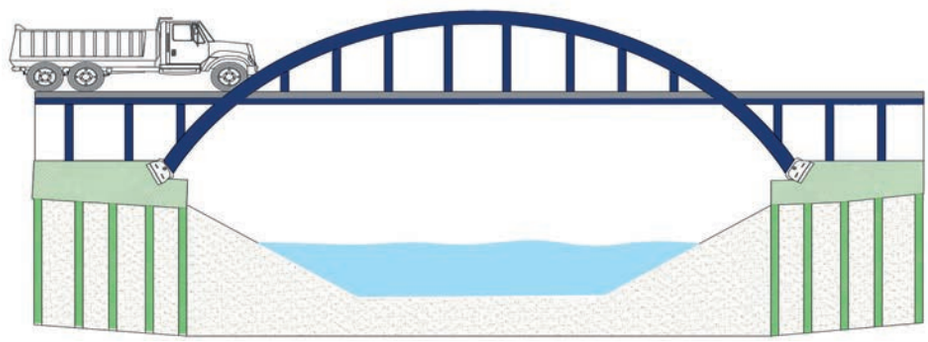
Şekil 3.8: Katedral kemer köprüsü

b) Geçiş Kemerli Köprü: Yol tabliyesinin kemer mesnetleri hizasından geçtiği köprü çeşidine **geçiş kemerli köprü** denir (Şekil 3.9). Yol platformu, askı halatları ve çelik profillerle kemer eğrisine bağlanmaktadır.



Şekil 3.9: Geçiş kemerli köprü

c) Yarı Geçişli Kemer Köprü: Köprü tabliyesinin kemer tabanının üstünden ve kemer yayının altından geçtiği kemer köprülere yarı geçişli kemer köprü denir (Şekil 3.10).

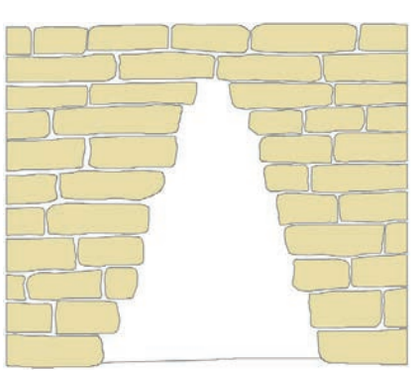


Şekil 3.10: Yarı geçişli kemer köprü

3.1.2. Kemer Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Geçmişten günümüze kadar bir evrim süreci geçiren köprüler yeni teknolojiler ve tekniklerin bulunması ile gelişimlerini bugün de sürdürmektedir. İlk inşa edilen köprüler ahşap köprüler olmuş ve bunu uzun yıllar ayakta kalabilecek taş köprüler izlemiştir. Taş köprüler, kemer formunun bulunmasına kadar yalancı kemer olarak adlandırabileceğimiz teknikler ile inşa edilmiştir. İlk taş kemerli köprü örnekleri levha şeklindeki taşların birbirleri üzerine, kemer formunu oluşturacak şekilde kaydırılarak yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Her bir taş bir diğerinin üzerinde, konsol gibi kaydırılarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.11). Kısa açıklıkların geçilebildiği bu tip köprülere bugün Anadolu, Yunanistan ve Mısır'da rastlamak mümkündür.

Bugün pek çok modern yapıda da kullanılan ideal kemer formu ise ilk defa MÖ 700'lü yıllarda Etrüskler tarafından bulunmuştur. Dairesel kemer formunun bulunuşu ile birlikte kamusal yapıların inşasında büyük bir ilerleme olmuştur. Kent kapıları gibi pek çok yerde kemer formu kullanılmaya başlamıştır. Kent içerisine su taşıyan su kemerlerinin inşası da bu ilerlemenin örneklerindendir (Resim 3.2).



Şekil 3.11: Bindirmeli kemer formu

Resim 3.2: Hattuşaş Kral Kapısı

Hattuşaş bir coğrafyadır. Hitit, Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemi eserlerinin yoğunlukla bulunduğu Anadolu toprakları üzerinde yer alan pek çok Anadolu köprüsü günümüzde de işlevini devam ettirebilmektedir.

2018 yıl sonu T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü döküm kayıtlarına göre ülkemizdeki tarihi köprülerin sayısı 2184 adet olup yeni araştırmalarla her geçen gün bu sayı artmaktadır. Ayrıca Bosna-Hersek'te, çoğunluğu Osmanlı dönemi eseri olan 316 adet daha tarihi köprü yer almaktadır. Böylece toplam 2500 adet tarihi köprü bulunmaktadır.

3.1.2.1. Hitit Dönemi

Prof. Dr. R. Naumann tarafından Hitit-Boğazköy'de ortaya çıkarılan ve MÖ 13. yüzyıl olarak tarihlenen ahşap kirişli taş köprü, bugün Anadolu toprakları üzerinde yer alan en eski köprü olarak bilinmektedir (Şekil 3.12).

Şekil 3.12: Anadolu'da ilk köprü

Köprü, derin bir vadi oluşturan iki kayalık zemin arasında, yerden 16,62 m yüksekte ve 8,50 m'lik bir açıklığı geçecek şekilde inşa edilmiştir. Köprü tabliyesini oluşturan ahşap kiriş, yalancı kemer gibi örülmüş mesnetlere oturmaktadır. Bu sistem, yalancı kemer formunun bir örneğini oluşturmaktadır. Hattuşaş kentinin diğer yapısal elemanlarında da görüldüğü üzere kemer formuna duyulan ihtiyaç, Kral Kapısı'nda olduğu gibi benzer şekillerde çözülmeye çalışılmıştır.

3.1.2.2. Roma Dönemi

Roma döneminde köprü yapım teknolojisi altın çağını yaşamıştır. Anadolu toprakları üzerinde Romalılar tarafından yapılmış ve bugüne kadar çeşitli onarımlarla mevcudiyetini kısmen veya tamamen koruyabilmiş 29 adet köprü bulunmaktadır.

Bu köprülerden bazıları şunlardır:

Adana Taş Köprü, Seyhan Nehri üzerindedir. Roma İmparatoru Hadrianus tarafından 385 yılında yaptırılmıştır. O dönemde yüzyıllarca Avrupa ile Asya arasında önemli bir köprü olmuştur. Taş Köprü 319 metre uzunluğunda ve 13 metre yüksekliğindedir. 21 kemerinden 14'ü ayaktadır. Ortadaki büyük kemerde iki aslan kabartması görülmektedir (Resim 3.3).

Resim 3.3: Adana Taş köprü

Adıyaman Cendere Köprüsü, Roma İmparatoru Septimius Severus'un emriyle 193-211 yılları arasında Roma ordusu 16. Lejyon birliği tarafından Samsat'ta yaptırılmıştır. Cendere Köprüsü, Antik Roma mimarisinin muhteşem bir anıtsal örneğidir. Biri ana kemer ve biri tahliye kemeri olmak üzere iki kemerden oluşan köprü, her biri tonlarca ağırlıkta olan düzgün kesme taşlardan yapılmıştır. 7 metre genişliğinde, 30 metre yüksekliğinde ve 120 metre uzunluğunda olan köprünün en ilginç mimari özelliği ise harç kullanılmadan yapılmış olmasıdır (Resim 3.4).

Resim 3.4: Adıyaman Cendere Köprüsü

3.1.2.3. Bizans Dönemi

Bugün Türkiye sınırları içerisinde, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tescil edilmiş 133 adet Bizans köprüsü bulunmaktadır. Bizans yollarının ve köprülerinin büyük kısmı Justinianus zamanında tamamlanmıştır.

Justinianus zamanında inşa edilen köprülerden bazıları şunlardır:

Sakarya Justinianus Köprüsü, Bizans İmparatoru Justinianus tarafından MS 558-560 yıllarında yaptırılmıştır. Köprü, 365 metre uzunluğunda ve 9,85 metre genişliğinde olup toplam 12 kemerlidir (Resim 3.5).

Resim 3.5: Sakarya Justinianus Köprüsü

Afyonkarahisar Kırkgöz Köprüsü, Bolvadin'dedir. Kırkgöz Köprüsü, 1150 yılında Bizans İmparatoru 1. Manuil tarafından 42 gözlü ve 200 metre uzunluğunda inşa ettirilmiştir. Antik Kral Yolu ve Tarihi İpek Yolu üzerinde yer alan köprü çeşitli zamanlarda onarımlar geçirmiştir. 16. yüzyılda Mimar Sinan, kuzey yönüne doğru 22 kemer ekleyerek köprüyü 200 metre uzatmıştır (Resim 3.6).

Resim 3.6: Afyonkarahisar Kırkgöz Köprüsü

3.1.2.4. Selçuklu Dönemi

Selçuklu Dönemi'nde Anadolu, dünya ticaretinde önemli bir geçiş bölgesi olmuştur. Anadolu Selçuklularında yollar, Konya merkez olmak üzere ışınsal bir yayılım göstermektedir. Bu devirde Uzak Doğu'dan gelen İpek Yolu değişmeyen tek güzergâhtır. Türkiye sınırları içerisinde T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından belgelenmiş 152 adet Selçuklu Dönemi köprüsü bulunmaktadır. Selçuklu ve Artuklu Dönemi köprüleri, özenli kesme taş ve almaşık düzenli bezemeli yapılardır. Doğu Anadolu'da beden duvarları ve kemerlerin farklı taşlarla örüldüğü örnekler bulunmaktadır. Kemerler büyük ve ince işçilikli taş, beden duvarları ise yöresel taş veya moloz taş örgü şeklinde inşa edilmiştir.

Selçuklu Dönemi'nde yapılan ve günümüzde kullanılmaya devam eden köprülerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Kırıkkale Çeşnigir Köprüsü, Karakeçili ile Köprüköy arasında Kızılırmak üzerinde yapılmış tarihi bir köprüdür. Bilinen kaynaklara göre Çeşnigir Köprüsü ve yakınında bulunan han Selçuklu Dönemi'ne aittir (Resim 3.7).

Resim 3.7: Kırıkkale Çeşnigir Köprüsü

Diyarbakır Dicle Köprüsü (On Gözlü Köprü), on kesik kemer üzerinde inşa edilen bloklarla Dicle'nin iki yakasını birleştirir. Son olarak 1899-1900 yılında onarıldığı anlaşılan köprü on gözlü olup 180 m uzunluğunda ve 7-8 m genişliğindedir. Yaklaşık aynı seviyedeki farklı boyutlarda sivri kemerlerin en genişi köprünün ortasındadır.

Memba tarafında üçgen külâhlı sel yaranlar, mansap tarafında da silmeli dikdörtgen dayanak duvarları bulunmaktadır. Bu duvarlar, arazinin topoğrafik yapısına uygun şekilde ve Dicle Nehri'nin yüksek debisine karşı koyabilmek amacıyla yapılmıştır. Köprünün inşasında dolgu malzemesi olarak kireç harçlı moloz taşlar, kaplamasında ise şaşırtmalı teknikte örülmüş farklı boyutlardaki kısmen devşirme kesme taşlar (bazalt) kullanılmıştır (Resim 3.8).

Resim 3.8: Diyarbakır Dicle Köprüsü

Sivas Kesik Köprü; eski Sivas-Kayseri yolunda, Kızılırmak üzerinde inşa edilmiştir. Köprü iki kısımdan meydana gelmiştir. Birinci köprü yuvarlak ve sivri kemerli 17 gözden oluşmuştur. İkinci bölümü yaklaşık 10 metre uzaklıkta, yuvarlak kemerli iki gözden oluşmaktadır. İkinci kısım altından su akmamasına rağmen birinci köprünün devamı olması nedeniyle kullanılmaktadır (Resim 3.9).

Resim 3.9: Sivas Kesik Köprü

3.1.2.5. Osmanlı Dönemi

Osmanlı yol sisteminin, Roma İmparatorluğu'ndan sonra Akdeniz ve Orta Doğu ülkeleri için birleştirici bir rolü olmuştur. Roma Dönemi'nde **Via Egnatia** adlı yolla Balkanlardaki ilk karadan birleşme gerçekleşmiştir. Edirne, Niğbolu, Sofya, Niş ve Belgrad önemli merkezlerdir. Bizans ve Osmanlı Dönemi'nde de aynı yol güzergâhı kullanılmaya devam edilmiştir. Mezopotamya, Kuzey Afrika ve Anadolu, Osmanlı yol sistemi sayesinde Balkanlarla birleşmiştir.

Osmanlı köprü mimarisinde tek kemerli köprülerden daha çok sıralı kemerli köprüler inşa edilmiştir. Sıralı kemerli köprüler ise eş sıralı kemerli köprüler ve değişken boyutlu kemerli köprüler olmak üzere ikiye ayrılır. Orta kemer açıklığı uzun ve yüksek olarak inşa edilen köprülerde, kenarlara doğru gittikçe açıklık ve yükseklik değerleri düşen kemerler yaygın olarak kullanılmıştır. Osmanlı köprülerinde görülen diğer bir özellik ise seyir köşklerinin bulunmasıdır. Orta açıklık kemerinin üzerinde yer alan, konsol olarak çıkma yapan kısımlardır.

Osmanlı Dönemi'nde yapılan ve günümüzde kullanılmaya devam eden köprülerden bazıları şunlardır:

Edirne Uzunköprü: Ergene Nehri üzerinde Uzunköprü ilçesine adını veren, Anadolu ile Balkanlar'ı birbirine bağlayan ve dünyanın en uzun taş köprüsü olma özelliğini taşıyan tarihi köprüdür. Eski adıyla Ergene Köprüsü 1426-1443 yıllarında Sultan II. Murat tarafından, dönemin başmimarı Muslihiddin Bey'e yaptırılmıştır. 1393 metre uzunluğunda ve 6,80 metre genişliğindeki köprünün 174 kemeri bulunmaktadır (Resim 3.10).

Resim 3.10: Edirne Uzunköprü

Adana Varda Köprüsü: Adana-Ankara istikametinde bulunan Varda Köprüsü halk arasında Koca Köprü olarak anılır. Osmanlı Hükümdarı 2. Abdülhamit ile Alman İmparatoru Kaiser Wilhem tarafından imzalanan sözleşme ile İstanbul-Bağdat-Hicaz demiryolu hattını tamamlamak üzere 1907-1912 yıllarında inşa edilmiştir. Köprü 99 metre yüksekliğinde ve 172 metre uzunluğunda olup derin bir vadiyi birbirine bağlamaktadır. Varda Köprüsü'nün bir diğer önemli ve ilginç özelliği ise düz bir köprü olmayıp virajlı olmasıdır (Resim 3.11).

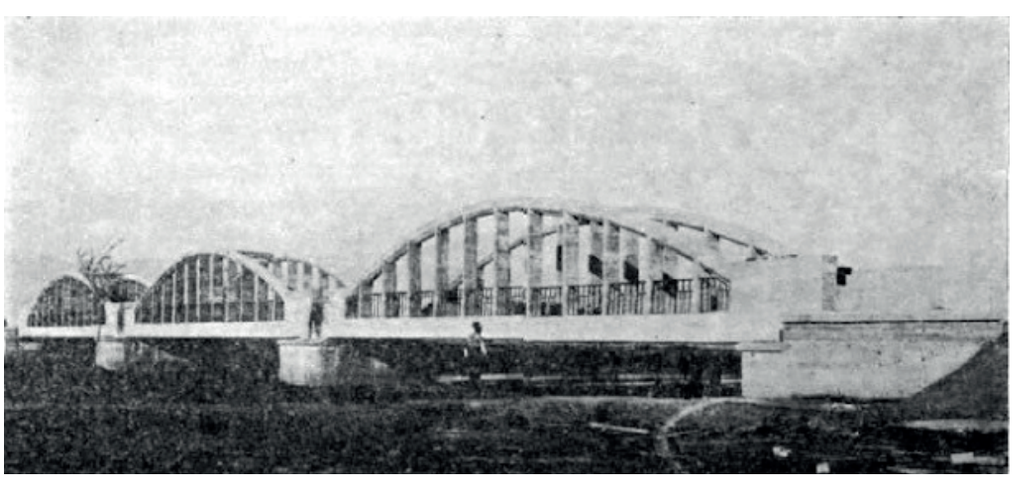
Resim 3.11: Adana Varda Köprüsü

3.1.2.6. Cumhuriyet Dönemi

Cumhuriyet dönemi başlangıcından itibaren memleketin bayındırlık faaliyetlerine ait her iş gibi köprücülük de büyük bir hızla canlanmıştır. Yıllar geçtikçe inşa faaliyetlerin artması ve inşa teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte yeni eserler ortaya konulmuştur. Ahşap köprülerin dayanıksız olması ve sık bakım gerektirmesi; demir köprü malzemelerinin ithal edilmesi, pahalı oluşu ve sık bakım gerektirmesi; kâgir köprülerin maliyetinin yüksek olması ve uzun inşa süresi gerektirmesi gibi nedenlerden dolayı 1924 yılından itibaren betonarme köprüler inşa edilmiştir.

Erken Cumhuriyet Dönemi'nde yapılan ve günümüzde yok olan köprülerden bazıları şunlardır:

İzmir Adagide Köprüsü: İzmir'de, Ödemiş-Adagide yolunda, Küçük Menderes Nehri üzerinde yapılmıştır. Türkiye'nin ilk betonarme köprüsüdür (Resim 3.12).

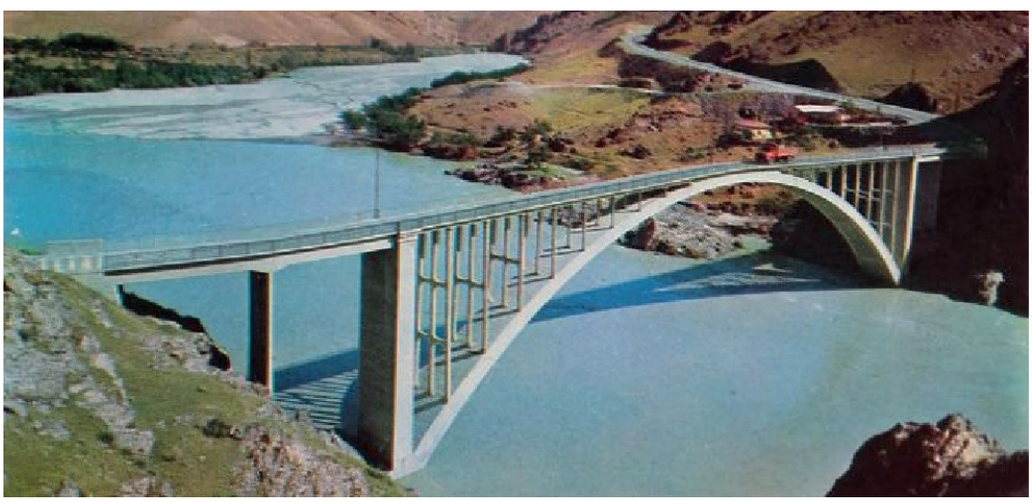


Resim 3.12: İzmir Adagide Köprüsü

Her biri 26 metre açıklığında, kuşak kemer tipinde, üç gözlü yapılmıştır. Bu köprü tipinde her ayakta genleşme derzi konulmuş ve her açıklık bağımsız çalıştırılmıştır. Zeminin yeterince sağlam olmaması ve belirli bir değere kadar ayakların oturma yapması durumunda yapısal sorun yaşanmaması için kuşak kemer tercih edilmiştir. Kuşak kemer tipi, köprüde kemer üzengi seviyesinde gergi adı verilen kirişle bağlanmıştır. Esasında bir makas sistemi oluşturularak kuvvetler yapı içinde dengelenmiştir. Kenar ayaklara sadece düşey yük etki edecek şekilde inşa edilmiştir.

Köprü, Mühendis Okulu Betonarme Öğretmeni Mehmet Galip Sinap tarafından projelendirilmiştir. Köprü, Küçük Menderes Nehri'nin aşırı yağmura bağlı olarak oluşan sel sularına dayanamayarak 1978 yılında yıkılmıştır.

Malatya Kömürhan Köprüsü: Fırat Nehri üzerine inşa edilen İsmet Paşa Köprüsü halk arasında Kömürhan Köprüsü olarak bilinmekteydi. Malatya-Elazığ karayolu üzerindeydi.1932'de tamamlanan ve doğu-batı illeri arasında 55 yıl ulaşımı sağlamış olan Kömürhan Köprüsü şimdi Karakaya Barajı suları altında kalmıştır. Yanına daha büyük ve modern köprü yapılmıştır (Resim 3.13).

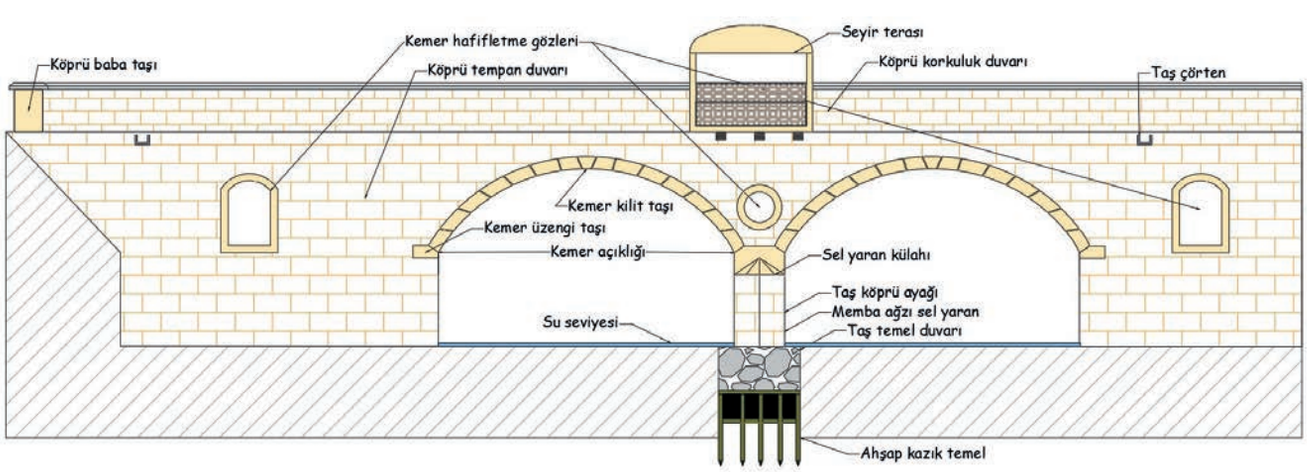


Resim 3.13: Malatya Kömürhan Köprüsü

3.1.3. Kemer Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Kemer köprü imalatları aşağıda verilen işlemlerden oluşur (Şekil 3.13).

1. Temel yapımı
2. Kemer yapımı
3. Köprü tempan duvarı yapımı
4. Köprü tabliyesi yapımı



Şekil 3.13: Taş kemer köprü elemanları

3.1.3.1. Kemer Köprü Temel Yapım Sistemi

1.a. Zemin İncelemesi ve Yer Tespiti: Köprü yapımında ilk işlem köprünün yapılacağı yerin tespit edilmesi ve zemin yapısının incelenmesidir. Tıpkı temeller gibi zemin altı koşulları da taşıyıcı sistemin bir parçasıdır ve taşıması gereken yükü karşılayabilecek yapıda olmalıdır. Ayrıca yükün temel seviyesinde yeterince geniş bir alana dağıtılması, emniyet gerilmelerinin aşılmaması için önemlidir. Köprü yeri tespit edildikten sonra köprü ayaklarının oturacağı zemin yapısı incelenir.

1.b. Temel İnşaatı: Üstyapıdan gelen yükleri zemine aktarmak amacıyla inşa edilen ve zemin içinde kalan taşıyıcı kısımdır.

Temellerin yerleştirileceği noktaların kayalık alanlara denk gelmesi istenir. Akarsu kıyılarında, ayakların oturacağı zemin yapısı köprü yükünü emniyetli taşıyacak sağlam bir zeminse yığma taş temel/betonarme temel yapımına, zemin taşıma kapasitesi zayıfsa kazıklı temel yapımına karar verilir. Akarsu içinde yer alan ayaklarda ise çoğunlukla kazıklı temel uygulaması yapılır (Şekil 3.14).

Sağlam zeminlerde temel yapımı aşağıda verilen basamaklardan oluşur.

a) Zemin üstünde yer alan toprak tabakası alınır.

b) Köprü ayaklarının geleceği yer sağlam tabakaya inene kadar kazılır.

c) Taş temel yapılacaksa temel duvarı örgüsü yapılır.

d) Betonarme temel olacaksa kalıp hazırlama, donatı yerleştirme ve beton döküm işlemleri yapılır.

Zemin taşıma kapasitesi zayıf zeminlerde temel yapımı aşağıda verilen basamaklardan oluşur.

a) Köprü ayaklarının geleceği yerler belirlenir.

b) Köprü ayağı karada ise temel alanı zemin temizleme işlemleri yapılır.

c) Köprü ayağı su içinde ise batardolarla köprü ayak alanı çevrilir.

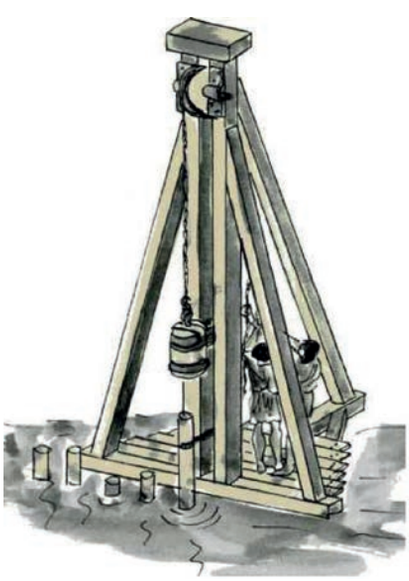
d) Batardolar içinde yer alan su pompalarla boşaltılır.

Eğer kuyu (keson temel) uygulaması yapılacaksa işlem sırası aşağıda verildiği gibidir.

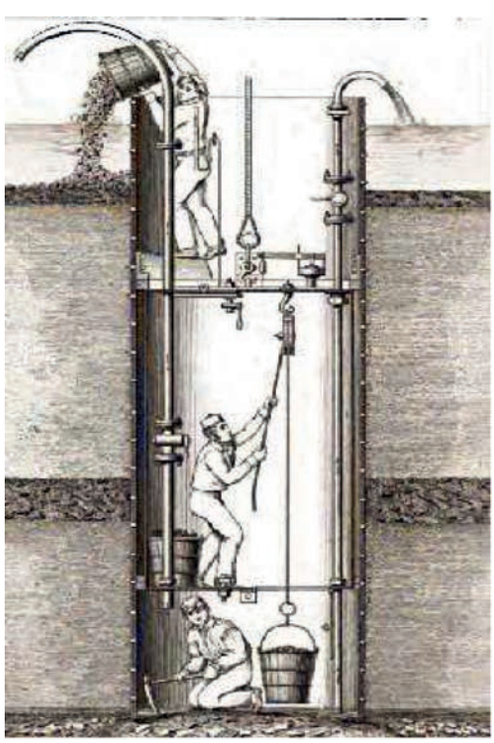
a) Temel kuyusu kazılarak boşaltılır (Şekil 3.15).

b) Temel gövdesi taşlarla örülür.

c) Taş temel kenarlarına yalıtım amaçlı dolgu yapılır.



Şekil 3.14: Kazıkları zemine çakma



Şekil 3.15: Kuyu keson temel açma

Eğer ahşap direkler kullanılacaksa işlem sırası aşağıda verildiği gibidir.

a) Kazık temelleri oluşturacak ahşap direkler zemine çakılır (Şekil 3.14). Ahşap kazıklar kızılağaç, zeytin, meşe gibi sert ağaçlardan yapılır.

b) Kazıklar çakıldıktan sonra kazık başları çerçeve içine alınır ve çerçeve içine dolgu malzemesi yerleştirilir.

c) Eski köprülerde dolgu malzemesi olarak kömür kullanılmıştır.

d) Oluşturulan bu yapı üzerine temeller yerleştirilir.

Betonarme veya çelik kazıklar kullanılacaksa işlem sırası aşağıda verilmiştir.

a) Kapalı kazık yönteminde betonarme veya çelik kazıklar zemine şahmerdanlarla çakılır (Şekil 3.14).

b) Açık kazık yönteminde açık uçlu boru kazıklar zemine çakılır.

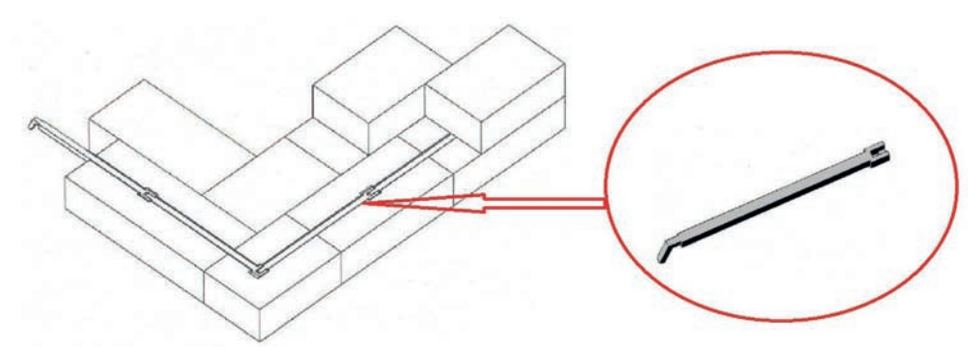
c) Çakılan boruların içi sondajla boşaltılır.

d) İçi boşaltılan boruların içine demir donatı yerleştirilir ve beton dökümü yapılır.

e) Kazıkların üzerine radye jeneral temel veya mütemadi temel gibi temeller inşa edilir.

Anadolu'daki Roma ve Doğu Roma Dönemi köprülerinde, genellikle büyük boyutlu taşların kullanıldığı; temel sistemlerinde özellikle çok gözlülerde, taşları birbirine bağlayan birçok kenet sisteminin geliştirilmiş olduğu gözlenmektedir. Taşlar döşenip harçlı veya harçsız olarak duvar örme işlemi yapıldıktan sonra demir kenetler kullanılarak birbirine bağlanmıştır (Şekil 3.16). Kenet yuvalarına dökülen kurşunla bir bütün haline getirilmiştir.

Harçlı taş duvar örme işlemlerinde Horasan harcı, Roma harcı veya kireç harcı kullanılmıştır.



Şekil 3.16: Kemer taşlarında kullanılan metal kenetler

3.1.3.2. Köprü Kemeri Yapımı

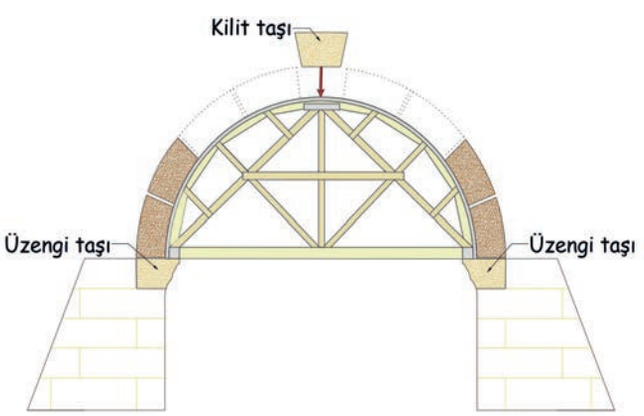
Taş kemer köprülerde kemer yapımı aşağıda verilen işlemlerden oluşur.

a) Köprü ayakları inşa edildikten sonra köprü açıklığını kaplayacak şekilde ahşap veya metal kemer kalıbı hazırlanır.

b) Kemer ayaklarının üstünde köprü kemerinin geleceği yerlere üzengi taşları yerleştirilir (Şekil 3.17).

c) Kemer ayaklarından başlamak üzere kemerin her iki tarafından kemer üstüne doğru simetrik bir şekilde örme işlemi yapılır.

d) En son kemer tepesine kilit taşı yerleştirilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Taş kemer elemanları

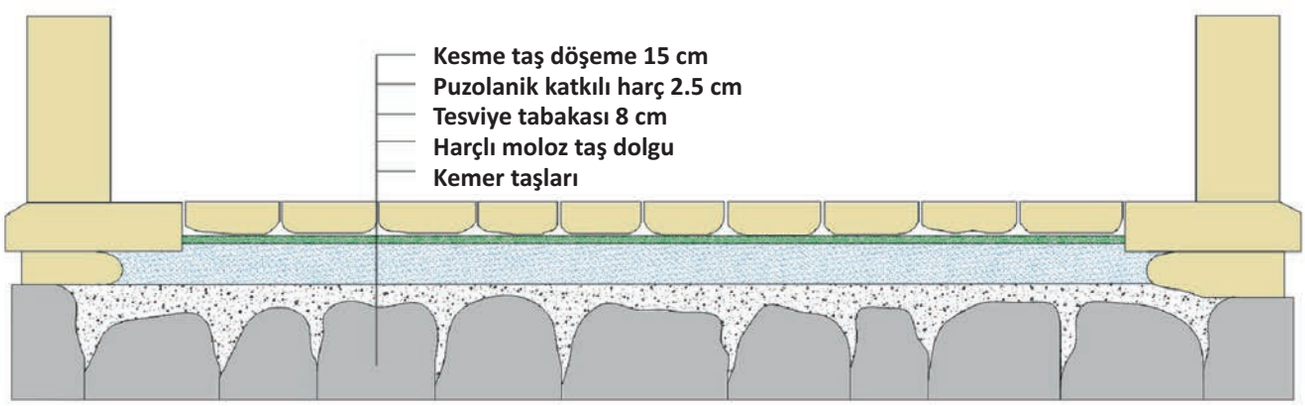
3.1.3.3. Kemer Köprü Tempan Duvarı Yapımı

Tempan (kılıf) duvarlar, köprü gövdesini memba ve mansaptan sınırlayan taşıyıcı duvarlardır. Bölgesel özelliğe göre kesme taş, kaba yonu ya da moloz taştan yapılır. Tempan duvarların ağırlığını azaltmak için duvar gövdesinde yer yer boşluklar (pencereler) bırakılır. Bu boşluklara kemer boşaltma gözü denir.

Roma Dönemi'nde köprü yapımında kesme taş duvar tercih edilmiştir. Dörtgen bloklar 2,5 m uzunluğa kadar yaklaşık 1 m yüksekliğinde ve 1,5 m kalınlığında harçsız yerleştirilmiştir. Taşların kesilmesi ve işlenmesi inşaat alanında yapılmıştır. Anadolu'daki köprülerde taşın yanında tuğla da kullanılmıştır. Roma, Selçuklu ve Osmanlı Dönemi köprülerinde de bu kullanıma rastlanmaktadır. Günümüzde tempan duvarlar, taş veya betonarme olarak yapılmaktadır. Bazı projelerde tempan duvarlar yerine kafes kiriş sistemleri kullanılmakta veya tempan duvar alanı köşeliklerle (dikmelerle) desteklenerek boş bırakılmaktadır.

3.1.3.4. Kemer Köprü Tabliyesi Yapımı

Döşeme; üzerinden insanların, hayvanların ve araçların geçtiği köprü bölümüdür. Taş kemer köprülerde malzeme olarak kaba yonu, kesme taş, moloz taş (dere taşı) vb. kullanılmıştır. Köprülerde döşeme, dış etkilerin en çok zarar verdiği ve en çok aşınan kısmıdır. Bu yüzden aşınma yüzdesi en az olan ve en az 15 cm kalınlığında, yüzeyi olabildiğince düzgün taşlar tercih edilmiştir. Su tahliyesi için de döşemeye gereken eğim verilmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Taş kemer köprü tabliyesi

Günümüzde kemer köprü döşemeleri, betonarme prefabrik kirişler/çelik ızgara kirişleri ve tabliyelerden oluşmaktadır. Platformun yüzeyi ise asfalt kaplama yapılmaktadır.

SIRA SİZDE

Mesnet durumlarına ve tabliye konumuna göre kemer köprüleri sınıflandırınız.

3.2 UYGULAMA

1(5) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KEMER KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, tarihi taş kemer köprülerin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Tarihi taş kemer köprü uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetim ve rehberliğinde **uygulama ödevi olarak** yerine getiriniz.

Verilenler

Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü

İstenenler

Verilen Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün tarihini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprüye ait resim, fotoğraf, plan, kesit rölöve çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün yapılış tarihi, yaptıran uygarlık/kişi ve köprüye has özellikler araştırılarak incelenir.
2. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün projeleri araştırılarak incelenir.
3. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
4. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün internet ortamında fotoğrafları ve videoları incelenir. Uygun görülenler seçilip dosyaya kaydedilir.
5. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili farklı kaynaklardan derlenen bilgiler incelenir, karşılaştırılarak doğru veriler süzülür.
6. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili derlenen veriler ve seçilen resimlerden slayt veya video sunumu hazırlanır.
7. Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili hazırlanan sunum sınıfça izlenir.
8. Sunum ile ilgili sınıf arkadaşlarının yorum yapmaları istenir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün yapılış tarihini, yaptıran uygarlık/kişi ve köprüye has özellikleri araştırdınız mı?		
2	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün projelerini araştırarak incelediniz mi?		
3	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan araştırarak incelediniz mi?		
4	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü'nün internet ortamında fotoğraf ve videolarını araştırarak uygun gördüklerinizi seçip dosyaya kaydettiniz mi?		
5	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili farklı kaynaklardan derlenen bilgileri karşılaştırarak doğru bilgileri süzdünüz mü?		
6	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili derlenen veriler ve seçilen resimlerden slayt veya video sunumu hazırladınız mı?		
7	Diyarbakır Silvan Malabadi Köprüsü ile ilgili hazırlanan sunumu sınıfa izlettiniz mi?		
8	Sunum ile ilgili sınıf arkadaşlarının yorum yapmalarını istediniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	35	55	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Kirişli köprüleri araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

3.3. KİRİŞLİ KÖPRÜLER

İnşaatı kolay ve kullanımı yaygın olan köprüdür. Açıklığın kısa olduğu yerlerde kullanılır. Bu tip köprüler, her iki ucundan basit bir şekilde desteklenen kiriş veya döşemelerden oluşur. Yapımı kolay olan ve maliyeti diğer köprü çeşitlerine göre daha hesaplı olan kirişli köprüler, özellikle kentsel ve kırsal ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kirişli köprüler, belirli bir açıklık değerinin üzerine çıkamadığı için büyük gemi veya yoğun tekne trafiği açısından uygun değildir. Köprü kirişleri; betonarme kirişler, ahşap kirişler, metal kirişler veya prefabrik ön gerilmeli beton kirişlerden yapılır.

3.3.1. Kirişli Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Kirişli köprülerin ilk örnekleri nehrin bir tarafından diğerine devrilmiş olan ağaç gövdeleri olmuştur. Tarihin en eski zamanlarında, nehir veya su akıntısı olan vadilerin üzerini geçmek için iki basit mesnetli köprü yapılmıştır. Bu köprüler taş veya ahşaptan yapılarak, mesafe arttığı durumlarda ise araya destek elemanı kullanılarak inşa edilmiştir. Bu destek elemanlarında çoğunlukla taş malzeme kullanılmıştır. Kayrak taşlardan, ortada buluşana kadar birbiri üzerine dizilmiş taşlardan yapılmıştır.

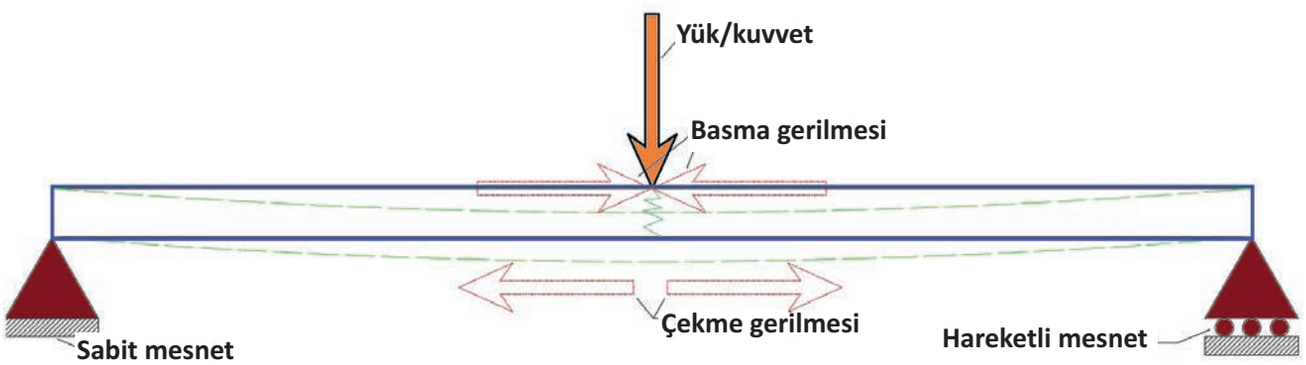
Kirişlerin üzerindeki ilk çalışmalar ve denge yasaları Archimedes (MÖ 287-212) tarafından ele alınmıştır. Romalıların kiriş köprüler yerine kemer köprüleri tercih etmeleri sebebi ile bu konudaki araştırmalar yavaşlamış ancak Rönesans Dönemi'nde, özellikle Leonar do Da Vince (1452-1519) tarafından tekrar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Kirişlerin mukavemeti ile ilgili ilk tanımlamalar Galileo (1564-1642) tarafından gerçekleştirilmiştir. Galileo'dan sonra 18. yüzyılda Robert Hooke (1635-1703) ve Mariotte (1620-1684) bu süreçte çalışmalar yapmışlardır.

Köprüler Uzak Doğu'da uzun zaman önce inşa edilmiştir. Zamanla bu geçiş sistemleri insanoğlu tarafından geliştirilerek ilk basit kirişli köprüler inşa edilmiştir.

İlk zamanlarda betonarme köprüler taş köprülere benzer şekilde yapılmıştır. Ancak bu tür malzemenin kendisine has özeliği fark edilmiş ve farklı yapım türü 20. yüzyılda geliştirilmiştir. 1950 yılında inşa edilen ilk yerinde dökme beton köprü, Almanya'nın Balduinstein kentindeki Lahn Nehri'nin ortasına yerleştirilmiştir.

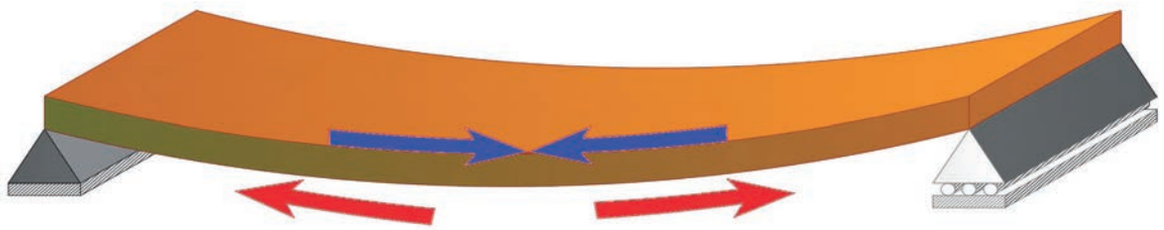
3.3.2. Kirişli Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Kirişli köprüler sabit ve hareketli iki mesnet üzerine oturan, basit bir kirişten oluşan yapıdır. Genellikle mesnetlerden birisi sabit, diğeri hareketlidir. Mesnetlerden birisinin hareketli olmasının sebebi; kiriş iç gerilmelerine, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak kiriş boyunda oluşabilecek uzama ve kısalmaların köprü yapısına vereceği zararı engellemek içindir. Kiriş üzerine etkiyen yük, kirişe etki ettiği noktadan kesmeye/kırmaya zorlamakta ve kiriş üst yüzeyinde basma gerilmesi oluştururken kiriş alt yüzeyinde de çekme gerilmesi meydana getirmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Kiriş üzerine etkiyen yük ve oluşturduğu gerilmeler

Aynı zamanda bu kuvvet, büyüklüğüne bağlı olarak kiriş gövdesinde eğilmeye de neden olmaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20: Yüke bağlı kirişte oluşan eğilme

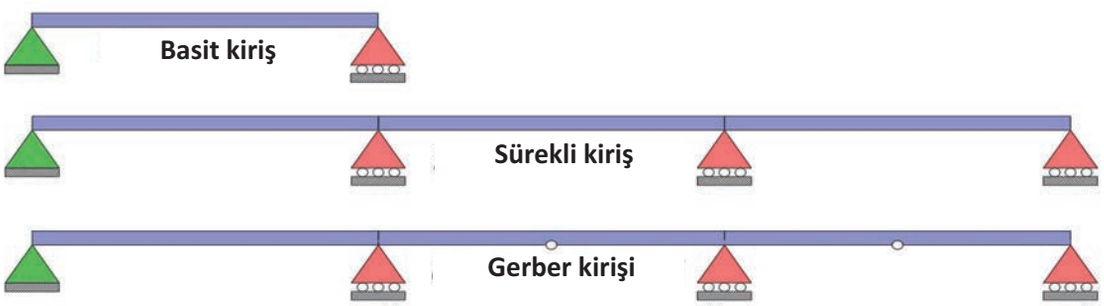
Bu sorunu engellemek için kiriş kesiti büyütülmekte, donatı miktarı artırılmakta, mesnetler arası mesafe/kiriş boyu kısa tutulmakta, mesnet ve kiriş sayısı artırılmakta ya da köprü platform yapısında güçlendirme yapılmaktadır.

Köprü kirişleri, mesnet durumları ve açıklıklarına göre üç başlık altında incelenir.

Basit Kirişler: Mesnetlerinden biri sabit diğeri hareketli olan doğru eksenel sistemlere **basit kiriş** denir (Şekil 3.21).

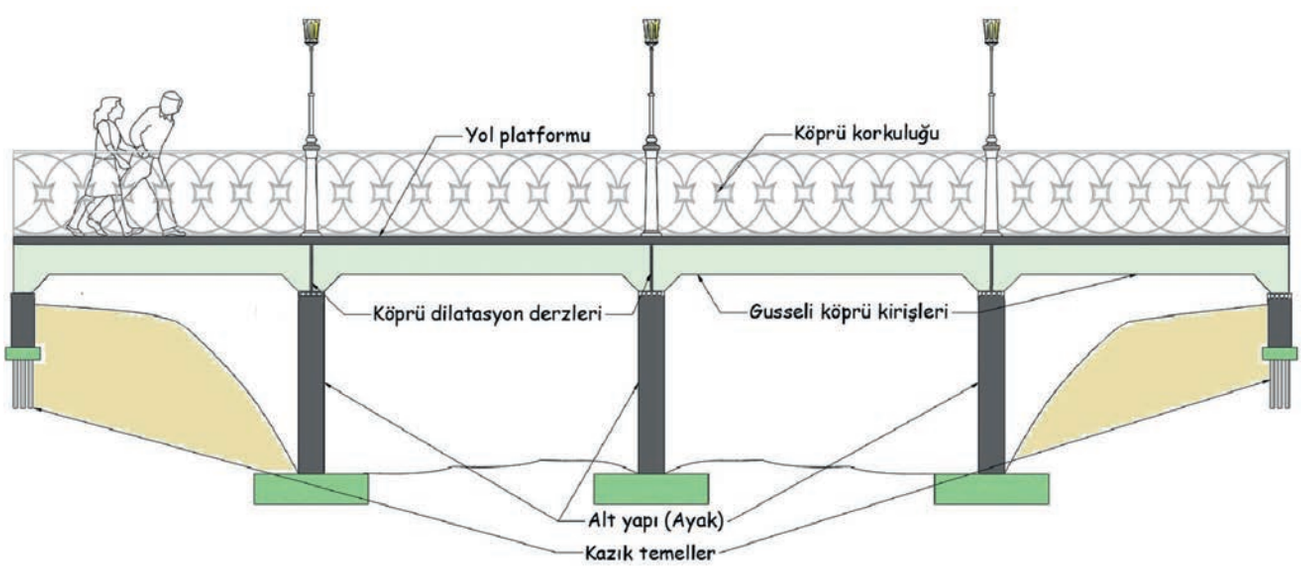
Sürekli Kirişler: Mesnetlerinden biri sabit diğerleri hareketli olan doğru eksenel sistemlere **sürekli kirişler** denir (Şekil 3.21).

Gerber Kirişler: Sürekli kirişlere ara mesnet sayısı kadar mafsal eklenerek elde edilen izostatik sistemlere **gerber kirişi** denir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: Mesnet durumlarına göre köprü kiriş çeşitleri

Kirişli köprü elemanları Şekil 3.22'de gösterilen elemanlardan oluşur.



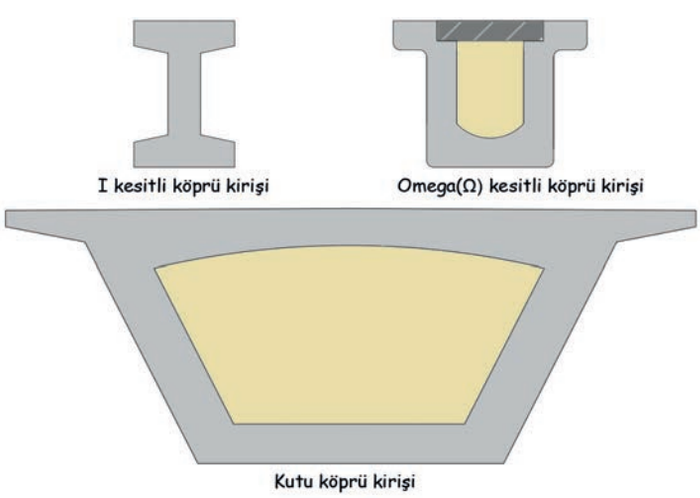
Şekil 3.22: Kiriş köprü elemanları

Altyapı: Köprü ayaklarının üzerine oturduğu temellerdir. Zemin yapısı, ayaklara etki eden yatay ve düşey yüklere bağlı olarak boyutlandırılır. Temel yapısı; zemin durumu, su içinde inşa edilme durumu gibi sebeplere bağlı olarak kazık temel veya betonarme sürekli temel olarak inşa edilir. Su içindeki inşa işlemleri; batardo ile köprü temel alanını çevreleme/keson kuyuları açma, su tahliyesi, gerekiyorsa kazık temelleri çakma, temel kalıp ve donatı oluşturma ve beton dökümü olarak gerçekleşir. Karadaki inşa işlemleri; zemin tesviyesi, temel kazısı, kalıp hazırlama, donatı hazırlama ve betonlama işlemlerinden oluşur.

Köprü Gövde Ayakları veya Perde Duvarları: Köprü kirişlerinin yerleştirileceği kısımlardır. Kirişler ile temel arasında yük iletim görevi görür. Temel yapıldıktan sonra üzerine köprü gövdesi inşa edilir. Malzeme cinsi; ahşap, çelik, betonarme ve taş gibi kâgir malzemeden oluşur (Şekil 3.23).

Şekil 3.23: Betonarme kiriş köprü elemanları

Köprü Kirişleri: Köprü kirişleri prefabrik olabileceği gibi çelik veya ahşaptan da yapılabilir. Çelik ve betonarme kirişler ve öngerilmeli kompozit köprü malzemeleri en çok kullanımı olan malzemelerdir. Köprü kirişleri, duvar ve ayaklar üstüne atılan bağlantı kirişleri ve köprü platform kirişleri olarak iki şekilde kullanılır (Şekil 3.23). Demiryolu gibi çoğunluğu çelik malzemeden yapılan kirişlere çapraz kirişler de yapılmaktadır. Köprü kirişleri kesitlerine göre I/H kiriş, Omega (Ω) kiriş ve kutu kiriş olarak sınıflandırılır (Şekil 3.24). Bunun yanında değişken kesitli kirişler ve düz tabliye/plak şeklinde kirişsiz köprüler de yapılmaktadır (Köprü ayaklarının üzerine köprü tabliyesinin oturduğu kirişsiz köprüler plak köprü olarak bilinmektedir.).



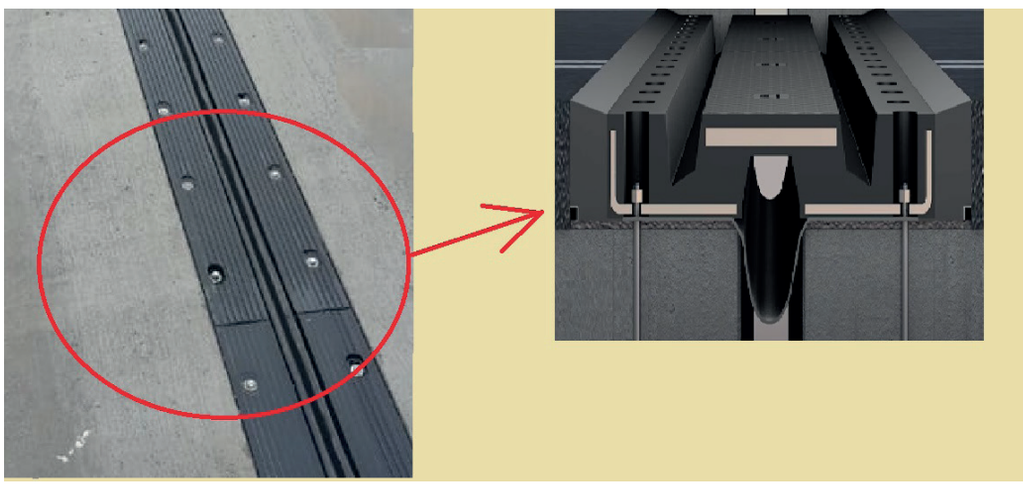
Şekil 3.24: Köprü kiriş kesitleri

Kiriş kesiti seçilirken köprünün ekonomik ve uzun ömürlü olmasına ya da köprünün çoklu işlemi yerine getirmesine dikkat edilir. Örneğin bir köprüden demiryolu, karayolu veya boru hattı birlikte geçirilmek isteniyorsa en uygun çözüm kutu kirişler olmaktadır.

Yol Platformu: Köprü kirişleri yerleştirildikten sonra üst kısmına yapılan kaplamalardır. Kirişler, üzerinde betonarme döşeme şeklinde bir tabliye ve köprü asfalt kaplamasından oluşmaktadır. Demiryolu kirişli köprülerinde ise kirişler üzerine döşeme tablası ve tren ray hattı döşeme şeklinde gerçekleştirilir. Yol platformu; köprü yol hattı, kaldırım ve köprü korkuluğundan oluşan üçlü bir yapıya sahiptir. Demiryolu köprülerinde sadece yol hattı vardır.

Köprü Genleşme (Dilatasyon) Derzleri: Köprü kirişlerinde oluşan genleşme, büzüşmeden dolayı köprü yapısında oluşabilecek hasarları önlemek için köprü kirişleri birleşim yerlerinde bırakılan aralıktır (Şekil 3.25).

Genleşme derzleri, dinamik yüklere bağlı olarak oluşabilecek hareketleri absorbe etmektedir.



Şekil 3.25: Köprü dilatasyon derzleri

Kirişli köprü inşasında yapılan inşa faaliyetleri şunlardır:

- Zemin yapısına uygun temelin hazırlanması
- Temel üstü ayakların hazırlanması
- Ayak başlıklarına bağlantı kirişlerinin yerleştirilmesi
- Bağlantı kirişleri üzerinde deprem izolatör sistemlerinin yerleştirilmesi
- Köprü mesnetlerinin yerleştirilmesi
- Köprü kirişlerinin yerleştirilmesi ve mesnetlere bağlanması
- Köprü tabliyesinin yerleştirilmesi/yol platformunun oluşturulması
- Korkuluk ve kaldırımların yapılması

SIRA SİZDE

Köprü kirişlerini, mesnet ve açıklık durumlarına göre çeşitlerini yazarak açıklayınız.

3.4 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KİRİŞLİ KÖPRÜLER

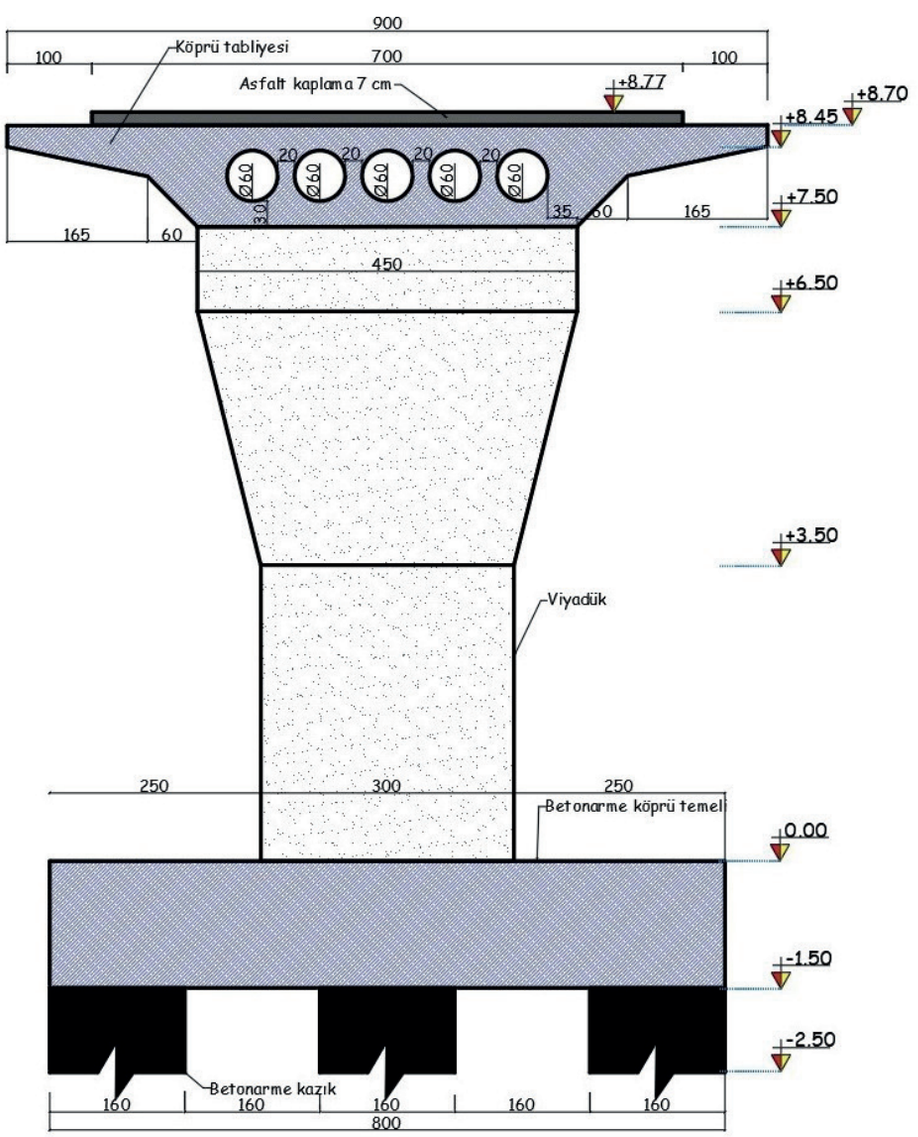
Bu çalışmanın amacı, yerinde döküm kiriş köprü kesit çizimi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

1/50 ölçekli yerinde döküm kiriş köprü kesit krokisini, aşağıdaki işlem basamaklarını ve kesit ölçülerini dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

1/50 ölçekli yerinde döküm kiriş köprü kesiti (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: Yerinde döküm kiriş köprü kesiti Ölçek: 1/50

İstenenler

1/50 ölçekli yerinde döküm kiriş köprü kesitini çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda ölçüleri doğru okumaya dikkat ediniz.
- Tarama ve ölçülendirme kurallarına dikkat ediniz.
- Çalışmanız aşağıda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Proje ölçülerine göre temel altı betonarme kazıklar çizilir.
2. Proje ölçülerine göre betonarme köprü temeli çizilir.
3. Proje ölçülerine göre köprü viyadüğü çizilir.
4. Proje ölçülerine göre betonarme köprü tabliyesi çizilir.
5. Proje ölçülerine göre tabliye üstü asfalt kaplama çizilir.
6. Proje yatay ölçülendirmeleri yapılır.
7. Proje düşey (kotlu) ölçülendirmeleri yapılır.
8. Projede yer alan kesit taramaları yapılır.
9. Projeye ait açıklama yazıları yazılır.
10. Proje adı ve ölçeği yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Proje ölçülerine göre temel altı betonarme kazıkları çizdiniz mi?		
2	Proje ölçülerine göre betonarme köprü temelini çizdiniz mi?		
3	Proje ölçülerine göre köprü viyadüğünü çizdiniz mi?		
4	Proje ölçülerine göre betonarme köprü tabliyesini çizdiniz mi?		
5	Proje ölçülerine göre tabliye üstü asfalt kaplamayı çizdiniz mi?		
6	Proje yatay ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
7	Proje düşey (kotlu) ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
8	Projede yer alan kesit taramalarını yaptınız mı?		
9	Projeye ait açıklama yazılarını yazdınız mı?		
10	Proje adı ve ölçeği yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

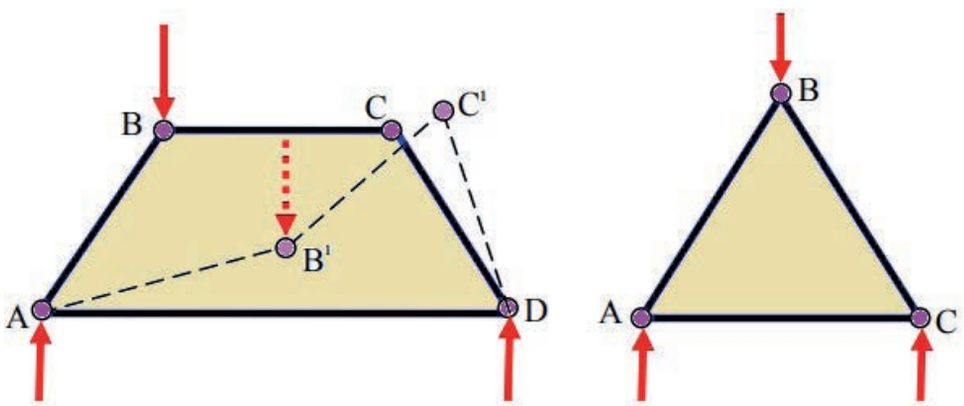
Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Kafes kiriş köprü kiriş çubuklarını ve bağlantı şekillerini inceleyiniz ve gözlemlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

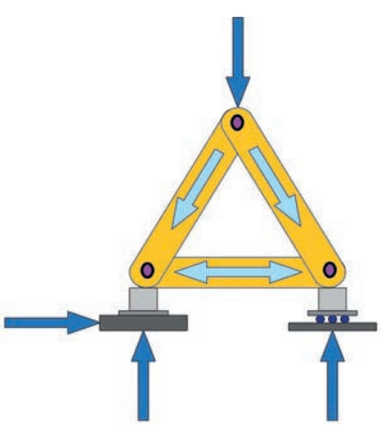
3.5. KAFES SİSTEMLİ KİRİŞLİ KÖPRÜLER

Kafes sistemler, mühendislikte kullanılan taşıyıcı sistemlerdir. Geometrik şekiller içinde yükü eşit taşıyan ve yapısal bozulmalar yapmadan mesnetlere ileten üçgendir. Örneğin dikdörtgen, kare veya yamuk kesitli bir yapıya yük uygulandığı zaman yük uygulama noktasında bir şekil değişikliği meydana gelmektedir. Ancak üçgen bir sistem yükü dengeli dağıtmakta ve yapısal bozulma oluşturmamaktadır (Şekil 3.27).

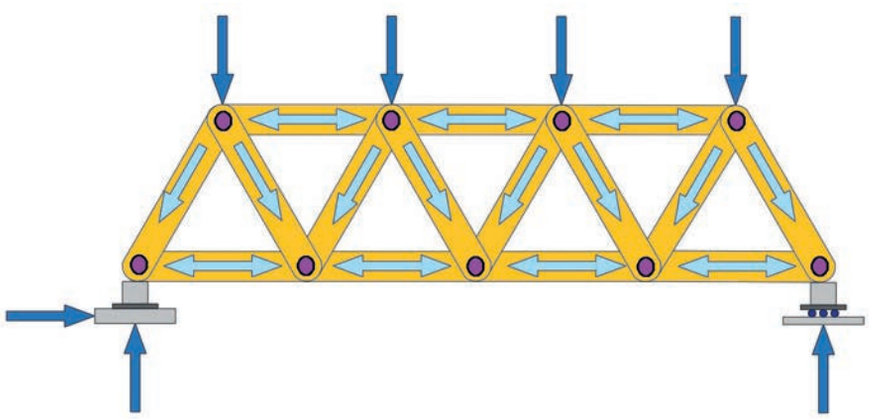


Şekil 3.27: Yamuk ve üçgen şekillerde yük taşıma durumu

Kafes sistemler bu nedenle üçgenlerden meydana getirilmiş ve yük taşıma daha emniyetli yapılmıştır (Şekil 3.28). Köprü kafes sistemleri, kendi düzleminde etkiyen yükleri taşıyacak şekilde projelendirildiğinden iki boyutlu kafes sistemler olarak bilinmektedir (Şekil 3.29). Köprülerde uzaysal kafes sistemlerinin kullanımı yaygın değildir.



Şekil 3.28: Tek üçgen kafeste yük taşıma durumu



Şekil 3.29: Kafes sistemde yük taşıma durumu

Kafes sistemlerdeki üçgenlerin her bir kenarına **çubuk** denir. Bir kafes sistemi, düğüm noktalarında birleşen çubuklardan meydana gelir. Kafes sistemin yapısal durumuna ve üzerine gelen yüke bağlı olarak her bir çubuk, sistemde oluşan basma veya çekme gerilmelerini karşılar. Kafes sistemlerde moment meydana gelmez. Ancak mesnet bölgesinde büyük yükler ortaya çıkar. Kafes kirişler diğer köprülerde de kullanılmaktadır. Kafes kirişler, kemer köprü veya konsol köprü olarak da düzenlenmektedir.

3.5.1. Kafes Sistemli Kirişli Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

1750 yılında ilk ahşap kafes köprü İsviçre'de yapılmıştır. İlk metal kafes köprü ise 1779'da İngiltere'de inşa edilmiştir. Metal kafes köprüler, 19. yüzyılın sonlarından 20. yüzyılın başlarına kadar en parlak dönemlerini yaşamıştır. Çeliğin bol miktarda olması, ucuz olması ve köprü inşaatının kolay olması bu köprüleri imalatta öne çıkarmıştır. Amerikalılar metal makaslı köprüler için diğer ülkelerden daha fazla patent almıştır.

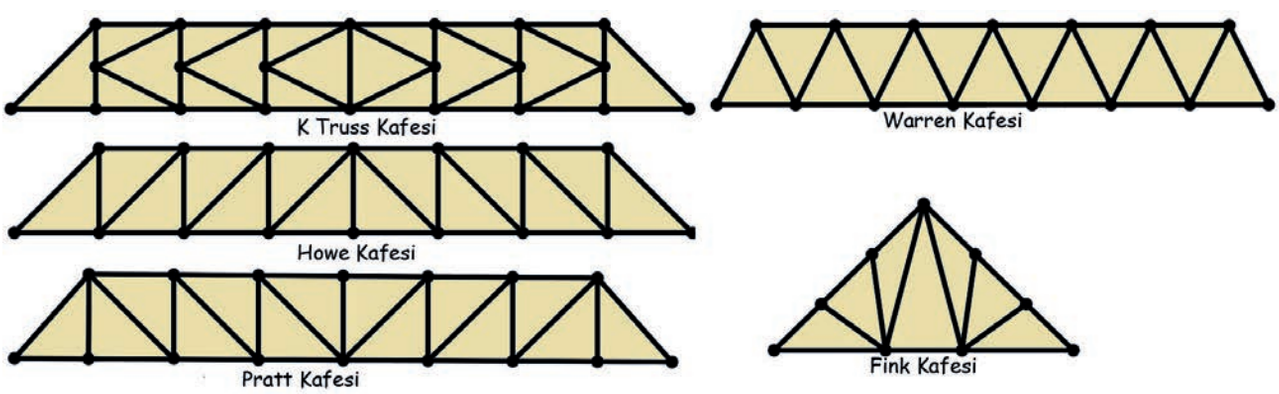
İlk büyük kafes kirişli demiryolu köprüsü 1857 yılında Almanya'da inşa edilmiştir. Zamanla dünyada sayıları hızla çoğalmıştır. Örneğin Ikitsuki Köprüsü, Temmuz 1991'de tamamlanan, 400 metre ana uzunluğa sahip, üç açıklıklı, sürekli makaslı bir köprüdür (Resim 3.14).

Resim 3.14: Japonya Ikitsuki Köprüsü

3.5.2. Kafes Sistemli Kirişli Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

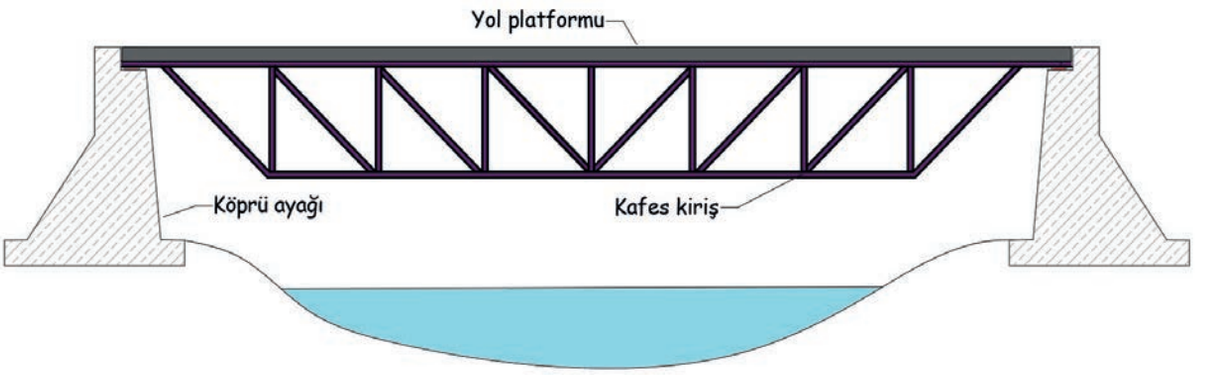
Kafes kirişli köprüler, basit kirişli köprülerden daha gelişmiş köprülerdir. Kafes kirişler yatay, düşey ve çapraz çubuklardan oluşmaktadır. Kirişli köprülerde olduğu gibi kafes kirişli köprülerde sınırlı bir açıklığa sahiptir. Daha büyük açıklıkları geçmek için bir dizi kafes kirişten oluşan köprüler kullanılmakadır. Kafesi kirişler farklı geometrilerde üretilebilmektedir.

İlk kafes kiriş tasarımını Warren Truss yapmış ve patentini almıştır. Daha sonra farklı kafes kiriş modelleri geliştirilmiştir (Şekil 3.30).



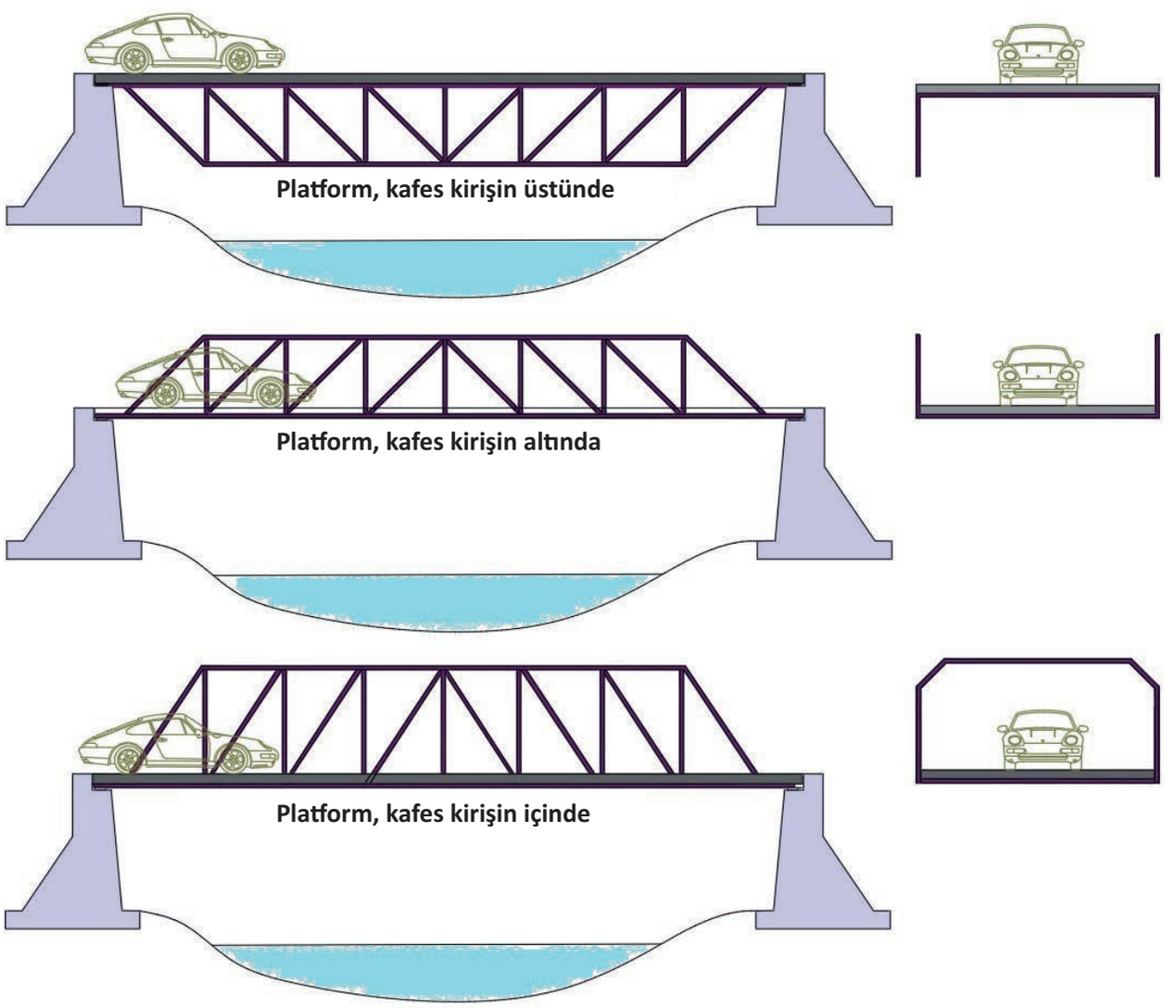
Şekil 3.30: Kafes kiriş tipleri

Kafes kirişli köprüler; taşıyıcı köprü ayakları, kafes kiriş ve yol platformundan oluşmaktadır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31: Kafes kirişli köprü elemanları

Kemer köprülerde olduğu gibi yol platformu kafes kirişin üstünden, kafes kirişin altından veya kafes kirişlerin içinden geçmektedir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32: Platform durumuna göre kafes kirişli köprüler

Kafes kirişli köprü inşası faaliyetleri şunlardır:

- Zemin yapısına uygun temelin hazırlanması
- Temel üstü ayakların hazırlanması
- Kafes kiriş çerçevelerinin hazırlanması (yerinde üretim veya prefabrik olarak üretim)
- Köprü mesnetlerinin yerleştirilmesi
- Kafes kiriş çerçevelerinin yerleştirilmesi ve mesnetlere bağlanması
- Kafes kiriş platform açıklığına gergi kirişlerinin yerleştirilmesi
- Köprü tabliyesinin yerleştirilmesi/yol platformunun oluşturulması
- Korkuluk ve varsa tavan örtü malzemesinin yapılması

SIRA SİZDE

Kafes kirişli köprülerde yamuk ve üçgen şekillerde yük taşıma durumları krokisini serbest elle çizerek elemanlarını gösteriniz.

SIRA SİZDE

Kafes kirişli köprünün krokisini serbest elle çizerek elemanlarını gösteriniz.

3.6 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KAFES SİSTEMLİ KİRİŞLİ KÖPRÜLER

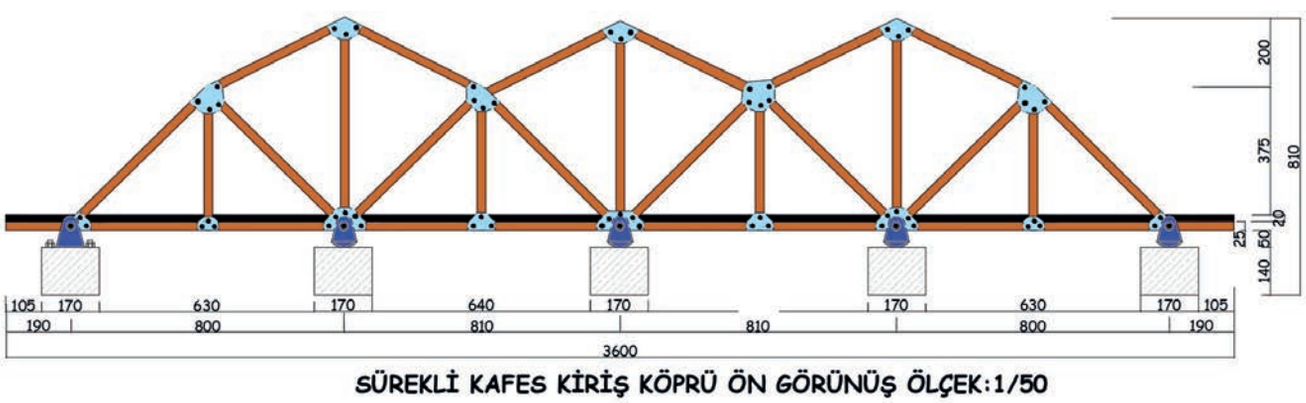
Bu çalışmanın amacı, sürekli kafes kiriş köprü ön görünüş çizimi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

1/50 ölçekli sürekli kafes kiriş köprü ön görünüş krokisini, aşağıdaki işlem basamaklarını ve proje ölçülerini dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

1/50 ölçekli sürekli kafes kiriş köprü ön görünüşü (Şekil 3.33).



Şekil 3.33: Sürekli kafes kiriş köprü ön görünüşü, Ölçek: 1/50

İstenenler

1/50 ölçekli sürekli kafes kiriş köprü ön görünüş krokisini çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda ölçüleri doğru okumaya dikkat ediniz.
- Tarama ve ölçülendirme kurallarına dikkat ediniz.
- Çalışmanız aşağıda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. 170x140 cm ölçülerinde köprü altı kolonlar çizilir.
2. Kolon üstünde yer alan sabit ve hareketli mesnetler çizilir.
3. 3600x25 cm ölçülerinde alt kiriş çizilir.
4. 375x25 cm ölçülerinde kısa dikme çubukları çizilir.
5. 575x25 cm ölçülerinde uzun dikme çubukları çizilir.
6. Dikmeler arasına ve mesnet dikme arasına 25 cm kalınlığında diyagonaller çizilir.
7. Çubuk birleşim yerlerine perçinli metal bağlantı plakaları çizilir.
8. Alt kiriş üzerine 3600x20 cm ölçülerinde tabliye kaplaması çizilir.

9. Proje yatay ve düşey ölçülendirmeler yapılır (Örnek olduğu için kotlu ölçülendirme serbest bırakılmıştır.).
10. Projede yer alan tarama ve boyamalar yapılır.
11. Proje adı ve ölçeği yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	170x140 cm ölçülerinde köprü altı kolonlarını çizdiniz mi?		
2	Kolon üstünde yer alan sabit ve hareketli mesnetleri çizdiniz mi?		
3	3600x25 cm ölçülerinde alt kirişi çizdiniz mi?		
4	375x25 cm ölçülerinde kısa dikme çubukları çizdiniz mi?		
5	575x25 cm ölçülerinde uzun dikme çubukları çizdiniz mi?		
6	Dikmeler arasına ve mesnet dikme arasına 25 cm kalınlığında diyagonalleri çizdiniz mi?		
7	Çubuk birleşim yerlerine perçinli metal bağlantı plakaları çizdiniz mi?		
8	Alt kiriş üzerine 3600x20 cm ölçülerinde tabliye kaplaması çizdiniz mi?		
9	Proje yatay ve düşey ölçülendirmeleri yaptınız mı?		
10	Projede yer alan tarama ve boyamaları yaptınız mı?		
11	Proje adını ve ölçeğini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	25	65	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

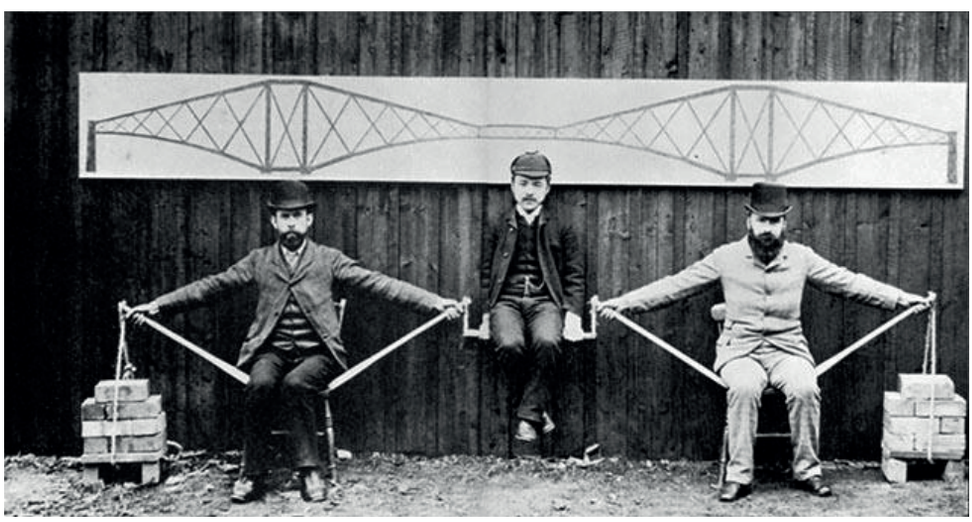
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Ülkemizde inşa edilmiş konsol köprüleri araştırınız ve edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

3.7. KONSOL KÖPRÜLER

Konsol, yalnızca bir ucundan sabitlenen ve diğer ucu herhangi bir destek olmadan sabit duran bir yapıdır. Konsol köprü prensibinde bu uç, konsollu açıklık olarak adlandırılan köprünün merkezi açıklığının desteklenmesine yardımcı olmaktadır. 1890'da İskoçya'daki Forth Bridge Köprüsü'nü yapan proje mühendisleri, bir köprünün merkez açıklık ağırlığının elmas şeklindeki destekler aracılığıyla kıyılara iletildiğini gösteren tarihi bir gösteri yapmışlar ve konsol köprülerin çalışma prensibini herkese göstermişlerdir (Resim 3.15).



Resim 3.15: İskoçya Forth Bridge Köprüsü'nü yapan proje mühendisleri köprü deneyi yaparken

Bu mühendisler Forth Bridge Köprüsü'nü konsol köprü olarak yapmışlardır. Bugün bu köprü hala ayakta durmakta ve hizmetine devam etmektedir (Resim 3.16). UNESCO tarafından üstün evrensel değer olarak tescillenmiştir.

Resim 3.16: İskoçya, Forth Bridge Köprüsü

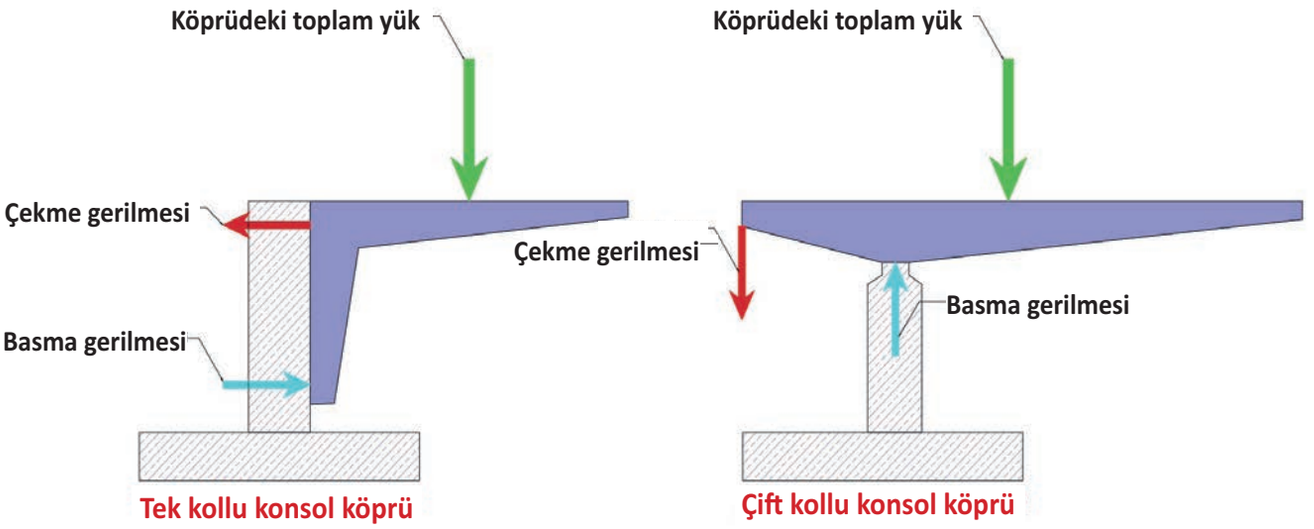
Siirt'te Botan Çayı üzerine yapılan, Güneydoğu'yu Doğu Anadolu Bölgesi'ne bağlayan Beğendik (Botan) Köprüsü 450 metre uzunluğunda, 14 metre genişlik ve 165 metre yüksekliğe sahip Türkiye'nin en yüksek konsol köprüsüdür. 210 metre orta açıklığı ve dengeli konsol sistemiyle Türkiye'nin en uzun orta açıklıklı, kutu kesitli, ardgermeli köprüsü olma özelliğini de taşımaktadır (Resim 3.17).

Resim 3.17: Siirt Beğendik (Botan) Köprüsü

29 Ağustos 1907'de Kanada'da konsol şeklinde yapılan Quebec Köprüsü çökmüş ve yaşanan bu iş kazasında köprüdeki 86 işçiden 75'i hayatını kaybetmiştir. Köprünün nehire düşen enkazını temizlemek iki yıl sürmüştür. Yapımına tekrar başlanan köprüde orta asılı döşeme yerine yerleştirilirken nehre düşmüş ve yaşanan bu iş kazası ile orta asılı döşeme altında kalan 13 işçi hayatını kaybetmiştir. Köprü 22 Ağustos 1919'da tamamlanarak kullanıma açılmıştır. Perçinlenmiş çelik kafes yapıdan oluşan Quebec Köprüsü 987 m uzunluğunda, 29 m genişliğinde ve 104 m yüksekliğindedir. Günümüzde çelik köprü yapısının %60'ı paslanmış durumda olan bu tarihi köprü hizmet vermeye devam etmektedir (Resim 3.18).

Resim 3.18: Kanada Quebec Köprüsü

İnşa ediliş şekillerine göre konsol köprüler tek kollu ve çift kollu olarak iki şekilde yapılır (Şekil 3.34). Tek kollu ve çift kollu konsol köprülerde köprü yüküne bağlı olarak oluşan basma ve çekme gerilmeleri farklı şekillerde karşılanmaktadır.



Şekil 3.34: Tek kollu ve çift kollu konsol köprü

Konsol köprüler, 50-250 m arasında değişen açıklıklarda imal edilir. Köprü yerinde dökme veya prefabrik olarak yapılır. Düzensiz ve uzun açıklık uzunluklarına, engebeli ve sulak arazilere, demiryolu geçişlerine ve çevreye duyarlı alanlara kolaylıkla uygulanır.

3.7.1. Konsol Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

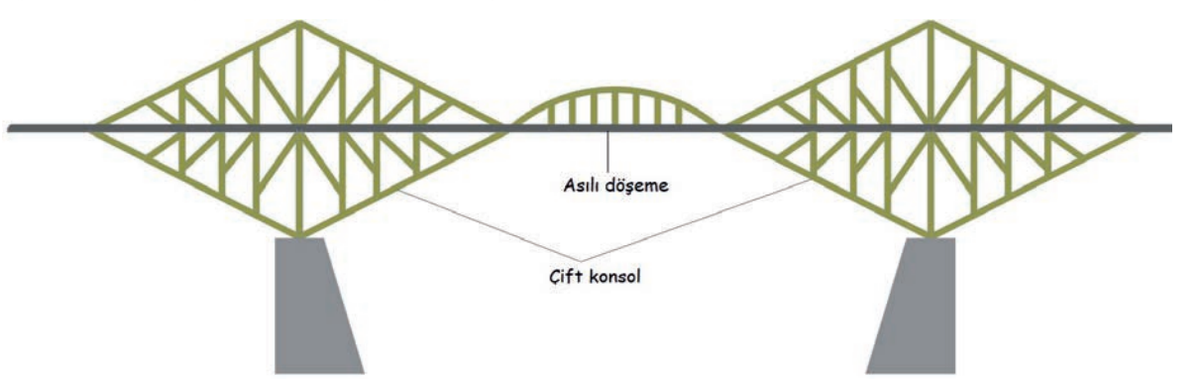
İlk konsol köprüler Çin'de, ahşap kirişlerin nehrin her iki yakasındaki ayaklardan uzatılması ile yapılmıştır. Çelik ve betonarme konsol köprü uygulaması çok daha sonra gerçekleşmiştir. İlk çelik konsol köprü 1867'de Heinrich Gerber tarafından Almanya'da Main Nehri üzerinde inşa edilmiş ve 129 m açıklık geçilmiştir.

Konsol köprülerde önemli bir adım prefabrikasyonla sağlanmış ve geniş uygulama alanı bulmuştur. 1960'ların sonlarından itibaren ön gerilmeli betonarme konsol köprülerde de kullanılmaya başlanmıştır. Konsol köprüler, kablo askılı sistemlerin gelişimiyle beraber yeni açılımlar kazanmıştır. Bu sistemin etkin olarak kullanıldığı önemli köprülerden birisi 1966 yılında Venezüella'da tamamlanan Maracaibo Gölü Köprüsü'dür.

3.7.2. Konsol Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Konsol strüktürün çalışma prensibi, köprünün kendini taşıyan bağımsız kollarının birbirine bağlanarak açıklığı geçmesine prensibine dayanır. Sistem, iki kıyıdan uzayan köprü kollarının açıklığı bir defada geçecek şekilde kurulabildiği gibi büyük açıklıklarda yükselen ayakların iki yanından çıkan konsolların birbirine bağlanması şeklinde de tekrarlanabilir.

Konsol köprüler; açıklığın iki ucunda yer alan köprü ayaklarına, ankastre olarak mesnetlenen konsol kirişlerin veya döşeme elemanlarının uzatılması ile oluşturulmaktadır. İki konsol, uç noktalardan rijit olarak birleştirilmez ve araya göreceli olarak daha kısa olan bir kiriş veya döşeme bloğu yerleştirilerek sistem tamamlanır. Konsol uçları arasında yer alan döşemeye **asılı döşeme** adı verilir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35: Çift kollu konsol köprü

Konsol köprülerin yapımında sistem, hesaplanan değerlerde yük dağılımına sahip olup dengesini bulana kadar geçici destekler veya iskeleler ile takviye edilmelerini gerektirir. Ancak su derinliğinin fazla olması, suda buzlanma etkileri veya topoğrafik şartların uygun olmaması durumunda geçici destek elemanlarının kurulması mevcut imkânlarla her zaman mümkün olamamaktadır. Yapımda karşılaşılan bu tip engelleri aşmak için kademeli konsol yapım metodu geliştirilmiştir. Kademeli yapım metodunda, konsol döşeme bölümlere ayrılır ve eş zamanlı olarak konsolun uzadığı mesnetten itibaren çelik veya öngermeli prefabrik elemanların uç uca eklenmesi ile yapılır. Bu şekilde alt noktadan iskelelerle destekleme ihtiyacı olmaz.

SIRA SİZDE

Çift kollu konsol köprü krokisini serbest elle çizerek elemanlarını gösteriniz.

3.8 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KONSOL KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, konsol köprülerin çalışma prensibi ve kuvvet dağılımı ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Konsol köprülerin yük taşıma sistemi ile ilgili deney çalışmasını, verilen malzemelerle aşağıdaki işlem basamaklarına göre öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

BU ÇALIŞMA 5 KİŞİLİK ÖĞRENCİ GRUBU İLE YAPILMALIDIR.

Verilenler

- **75x4x4 cm ölçülerinde 4 adet lata**
- **60x 4x4 cm ölçülerinde 1 adet lata**
- **Yaklaşık 8 metre uzunluğunda ve en az 7 mm kalınlığında çamaşır ipi veya sicim**
- **2 adet sandalye**
- **Şarjlı matkap ve 8 mm'lik ahşap delme ucu (Uç çapı ipin kalınlığından 1 mm büyük olmalıdır.)**

İstenenler

Projede verilen ölçülere göre düzeneği hazırlayınız ve sonuçları değerlendiriniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda iş güvenliği kurallarına dikkat ediniz.
- Proje ölçülerine göre kesim ve delme işlemlerini gerçekleştiriniz.
- Farklı öğrenci gurupları ile deneyi tekrar ediniz.
- Çalışmanız aşağıda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

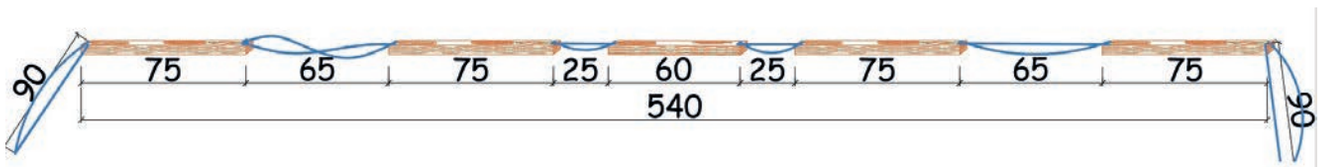
İŞLEM BASAMAKLARI

1. Lataların kenarlarından 8 mm içeride olacak şekilde her iki uçlarına ikişer adet delik açılır (Şekil 3.36).

Şekil 3.36: Latalara delik açma

2. Çizimdeki ölçülere göre ipler kesilir (İp uzunlukları proje ölçülerinin en az 2 katı alınmalı ve düğüm payları unutulmamalıdır.).

3. İpler sırasına göre lata deliklerinden geçirilerek uçlarına düğüm atılır (Şekil 3.37).



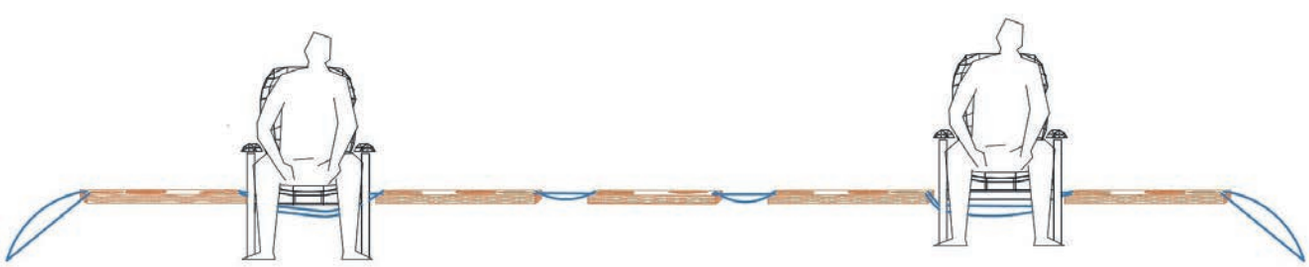
Şekil 3.37: Latalara ip geçirme

4. Oluşturulan düzenek düz bir zemine yerleştirilir (Şekil 3.38).

5. İki adet sandalye, düzeneğin üstünde projede gösterilen yerlerine yerleştirilir. İpler sandalyelerin altında olmalıdır (Şekil 3.38).

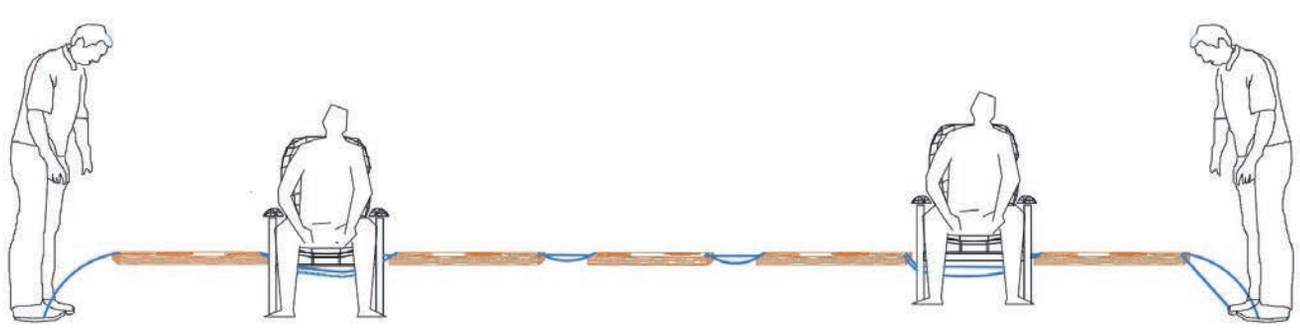
Şekil 3.38: Düzeneği yere serme ve sandalyeleri yerleştirme

6. İki sandalyenin üzerine iki kişi oturur (Şekil 3.39).



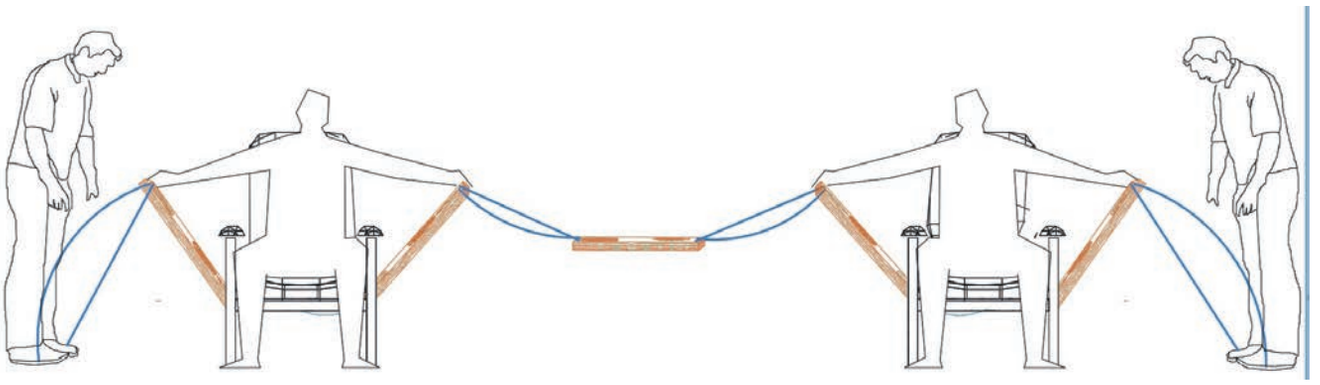
Şekil 3.39: Sandalye üzerinde oturma

7. Düzeneğin başında ve sonunda bulunan iplerin üzerine karşılıklı iki kişi ayaklarını basar (Şekil 3.40).



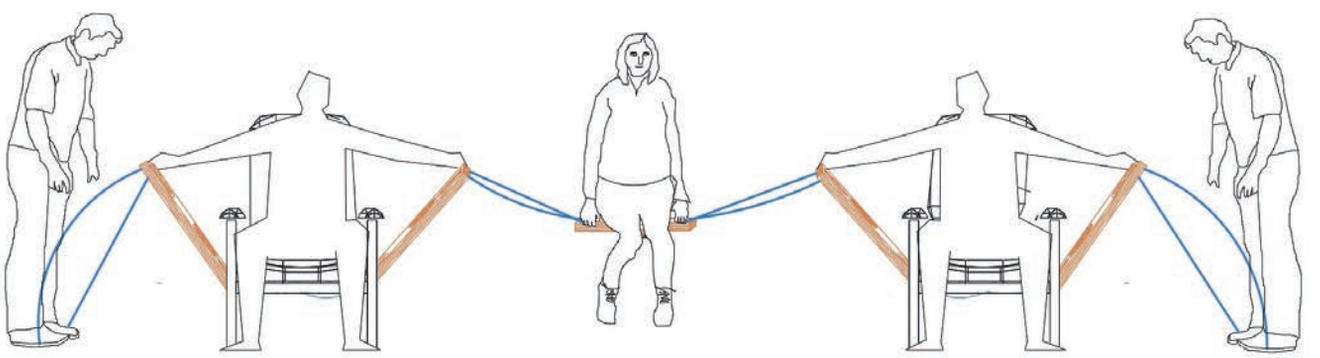
Şekil 3.40: Düzeneğin başında ve sonundaki iplerin üzerine ayaklarla basılması

8. Sandalyede oturan iki kişi düzeneği gerecek şekilde lataları havaya kaldırır (Şekil 3.41).



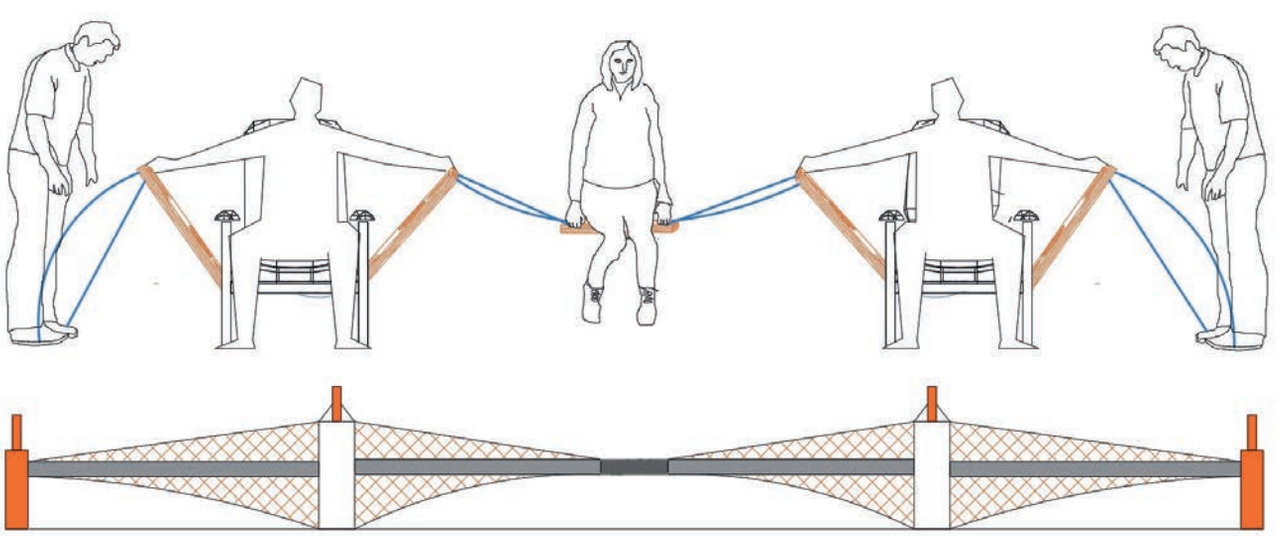
Şekil 3.41: Sandalye üzerindeki kişilerin düzeneği germesi

9. Ortada bulunan latanın üzerine 5. kişi oturur (Şekil 3.42).



Şekil 3.42: Düzeneğe 5. kişinin oturması

10. Sistemde oluşan basma ve çekme gerilmeleri saptanır ve çizim haline getirilir (Şekil 3.43).



Şekil 3.43: Oluşan gerilmelerin tespiti ve deneyde oluşturulan konsol köprü

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Lataların uçlarına ikişer adet delik açtınız mı?		
2	İpleri ölçülerine göre (bağlama paylarını dikkate alarak) kestiniz mi?		
3	Kesilen ipleri sırasına göre lataların deliklerinden geçirip uçlarına düğüm attınız mı?		
4	Oluşturulan düzeneği düz bir zemine yerleştirdiniz mi?		
5	İki adet sandalyeyi projede gösterilen yere yerleştirdiniz mi?		
6	İki sandalyenin üzerine iki kişi oturdu mu?		
7	Düzeneğin başında ve sonunda bulunan iplerin üzerine karşılıklı iki kişi ayaklarını bastı mı?		
8	Sandalyede oturan iki kişi, düzeneği gerecek şekilde lataları havaya kaldırdı mı?		
9	Ortada bulunan latanın üzerine 5. kişi oturdu mu?		
10	Sistemde oluşan basma ve çekme gerilmeleri saptanıp çizim haline getirildi mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	20	70	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1915 Çanakkale Köprüsü ile ilgili araştırma yapınız ve sunum hazırlayarak arkadaşlarınızla paylaşınız.

3.9. ASMA KÖPRÜLER

Asma köprüler, esas taşıyıcı elemanı kuleler arasına asılmış olan kablo veya zincirden teşkil edilmiş olan köprülerdir. Asma sistemlerde, sürekliliği olan bir ana taşıyıcı kablonun üzerinden sarkıtılan askı kabloları ile döşeminin (köprü tabliyesi) taşınması söz konusudur. Askılar arası mesafenin açıklığa göre oldukça kısa düzenlenebilmesi sayesinde, döşemenin ağırlığı diğer sistemlere göre oldukça hafif oluşturulabilmektedir.

Kablo çekmeye çalışan bir elemandır, taşıma kapasitesi diğer tüm yapı malzemelerinden daha yüksektir ve ekonomik olarak daha uygundur. Asma sistemler yeni bir uygulama yöntemi değildir ancak geniş açıklıklarda kullanılabilmeleri özellikle Batı'da Endüstri Devrimi sonrasında, demir ve çeliğin gelişmesi sayesinde gerçekleştirilebilmiştir.

3.9.1. Asma Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Çin'de 1600'lü yıllarda Hwa Kiaye Nehri üzerinde inşa edilmiş, 16 adet demir zinciri olan 60 metre açıklığındaki köprü, hâlâ mevcut olan bir asma köprü örneğidir. Çin'de MÖ 65 yılında ilkel zincirler ile inşa edilmiş birçok köprü olduğu bilinmektedir.

İlk madeni asma köprüler 18. yüzyıldan sonra yapılmaya başlanmıştır. İlk yapılan köprüler yaya trafiği için tasarlanmış ,küçük açıklığa sahip köprülerdir. Asma sistemi olarak zincir kullanılmıştır. Kuleler ahşap, kâgir veya madeni malzemeden inşa edilmiştir. Teknolojiye bağlı olarak zamanla gelişen malzeme kalitesi ve yeni yapım teknikleri ile birlikte büyük açıklıklı ve uzun ömürlü köprüler inşa edilmiştir.

İlk çelik asma köprü 1741 yılında İngiltere'de inşa edilmiş olan Riwer Tees Köprüsü'dür. Açıklığı 21,5 metre olan bu köprü 61 yıl dayanmıştır. 1785 yılında Almanya'da Lahn Köprüsü ve 1796 yılında Amerika'da Uniontown Köprüsü ilk asma köprü örneklerindendir. Amerikalı Yargıç James Finley (1756-1828), modern kablolu asma köprüyü ilk tasarlayan ve yapan kişidir. 1801'de yaptığı Jacob's Creek Köprüsü, ferforje zincirler ve düz tabliyelerden oluşturulmuş ve 1833'te yıkılmıştır.

Asma sistemi kablo olan köprülere 19. yüzyılın başlarında rastlanmaktadır. İlk kablolu asma köprü ,1816 yılında Amerika Philadelphia'da inşa edilen Schuylkill Falls Köprüsü'dür. Açıklığı 125 metre olan bu köprünün ömrü ancak bir yıl olmuştur. Aynı yıl İngiltere'de açıklığı 34 metre olan bir kablolu asma köprü inşa edilmiştir. 19. asırda ve 20. asrın başlarında büyük açıklıklı köprüler yapılmıştır. Bunların çoğu hâlâ hizmet görmektedir. 1930 yılından sonra büyük açıklıklı birçok köprü yapılmıştır.

İlk yapılan asma köprüler çeşitli sebeplerden dolayı yıkılmak zorunda kalmıştır. Bu köprülerden en önemlisi ABD'nin Washington Eyaleti'ndeki Tacoma Narrows Köprüsü'dür. Açıklığı 854 metre olan bu köprü 1940 yılında orta şiddetli bir fırtınada yıkılmıştır.

SIRA SİZDE

Asma köprülerin taşıma prensibini aşağıda verilen boşluğa yazınız.

San Francisco'da 1937 yılında açılan en uzun asma köprü Golden Gate Köprüsü'dür. Köprü yüksekliği 227 metre ve açıklığı ise 1280 metredir (Resim 3.19).

Resim 3.19: ABD, San Francisco Golden Gate Köprüsü

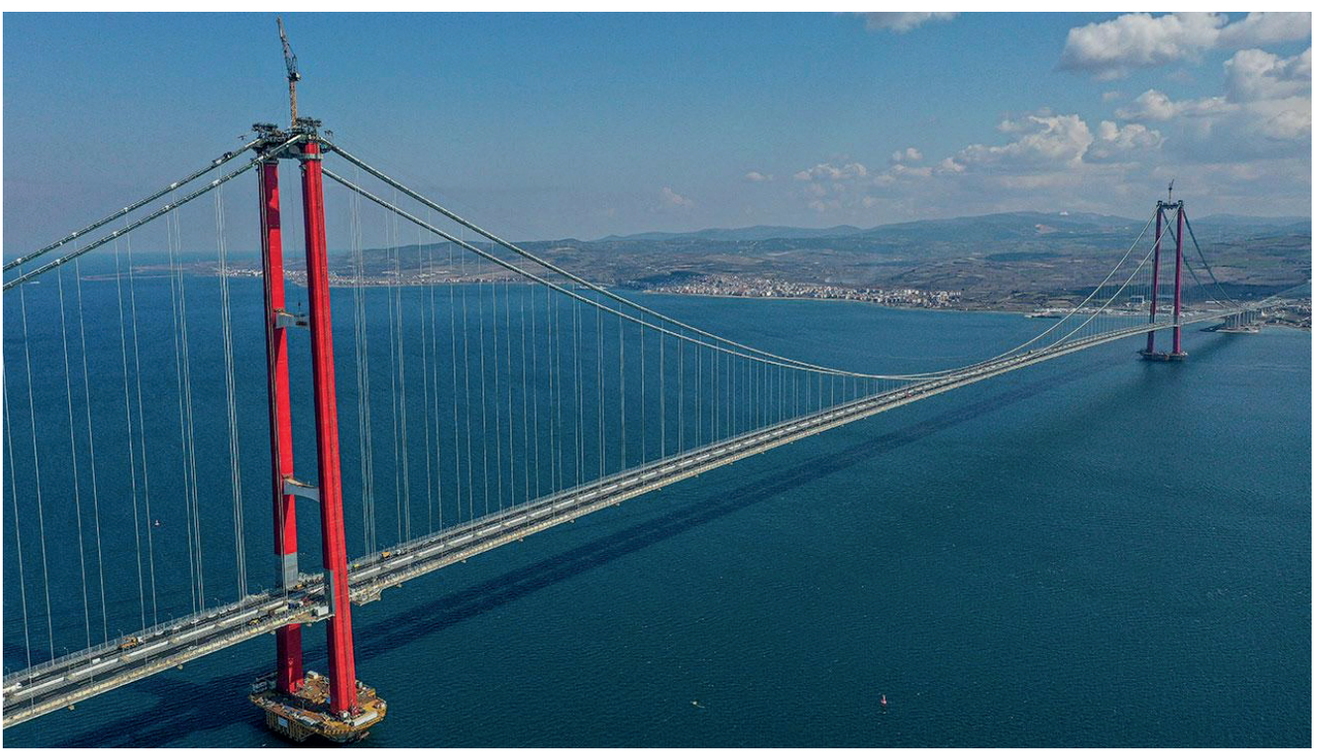
Ülkemizin ilk asma köprüsü olan İstanbul Boğaziçi Köprüsü, Cumhuriyet'in ilanının 50. yıldönümü olan 29 Ekim 1973'te hizmete açılmıştır. Köprünün toplam uzunluğu 1560 metre, iki ayak arasındaki uzunluğu 1073 metre ve denizden yüksekliği ise 64 metredir (Resim 3.20).

Resim 3.20: 15 Temmuz Şehitler (İstanbul Boğaziçi) Köprüsü

İstanbul Boğazı'na yapılan Fatih Sultan Mehmet Köprüsü 3 Temmuz 1988 tarihinde hizmete açılmıştır. Ankraj blokları arasındaki uzunluğu 1510 metre, orta açıklığı 1090 metre ve denizden yüksekliği 64 metredir (Resim 3.21).

Resim 3.21: İstanbul Fatih Sultan Mehmet Köprüsü

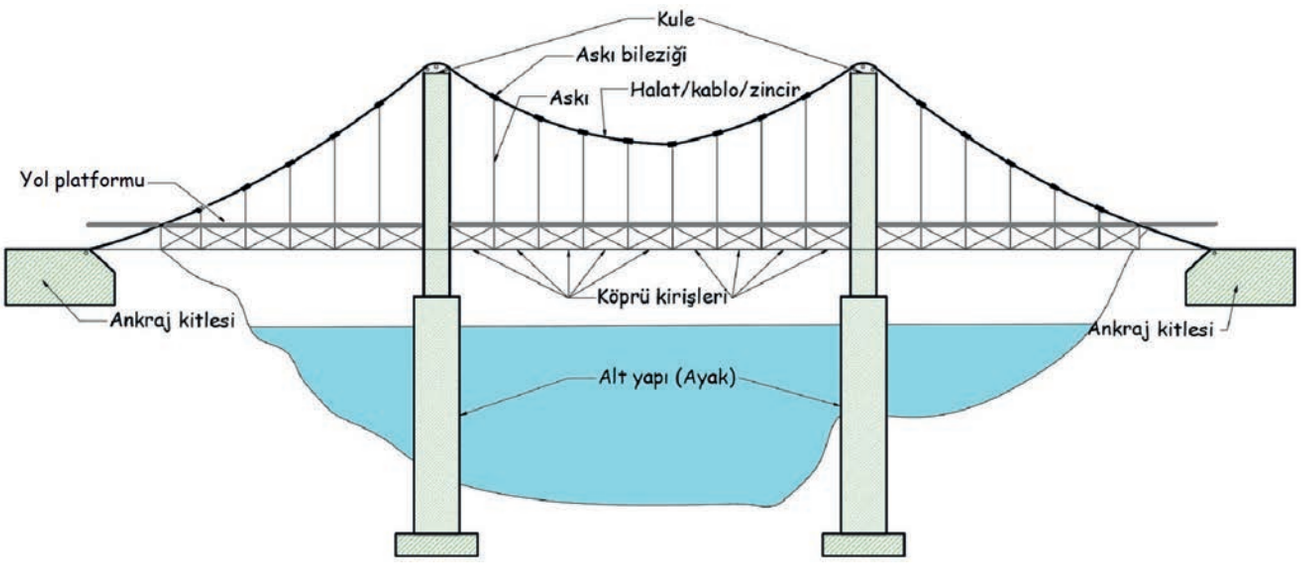
1915 Çanakkale Köprüsü, 2023 metre orta açıklığı ile dünyanın en uzun orta açıklıklı asma köprüsüdür. Bir diğer önemli özelliği de dünyanın en yüksek köprü kulelerine sahip olmasıdır. 4 parçadan oluşan çelik top mermisi figürleriyle oluşturulan kulelerinin yüksekliği 334 metredir (Resim 3.22).



Resim 3.22: 1915 Çanakkale Köprüsü

3.9.2. Asma Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Asma köprüler; altyapı (ayaklar), kuleler, kuleler üzerindeki kablo mesnetleri (semerler), ankraj tertibatı ve kitlesi, kablo veya zincir askılar, rijitlik kirişi ve yol platformu gibi esas kısımlardan oluşur (Şekil 3.44).



Şekil 3.44: Asma köprü elemanları

Altyapı: Genellikle büyük açıklıklı diğer köprü temellerinden önemli bir farkı yoktur. Derin ve büyük boyutlu temellerdir. Su içinde genellikle keson tekniği ile inşa edilir.

Kuleler: Kuleler, kablo veya zincir vasıtasıyla gelen yükleri ve rüzgâr yüklerini altyapıya (ayaklara) aktarır. İlk köprülerde kuleler inşa edilirken ahşap, kâgir ve çelik malzemeler kullanılmıştır. Günümüzde ise kuleler betonarme ve çelik malzemelerden yapılmaktadır.

Çelik kulelerdeki kolon veya ayaklar, yanal stabilite için enine kirişler, enine bağlantılar veya kemer portallerle birbirine bağlanır. Bu bağlantılar kolonların burkulmasının önlenmesi, köprüye tesir edecek her kuvvetin altyapıya iletilmesi bakımından önem arz etmektedir. Yüksek kuleler birbirine bağlanmış dörder kolondan ibaret ayaklar şeklinde inşa edilir. Kuleler altyapıya rijit olarak bağlanır.

Semerler: Kuleler üzerinde kabloların oturması için konulan özel döküm mesnetlere semer denir. Semerler, ısı değişimlerine bağlı olarak ortaya çıkacak genleşme ve büzüşmelerden kablonun etkilenmesini önlemek için makaralı sistem olarak yapılır. Bu mesnetler kulelere sabit veya hareketli mesnet olarak yerleştirilir.

Zincir: Uçlarına delik açılmış çubuklardan teşkil edilir. Pim bağlantılı kafes kiriş inşaatına benzer. İmalatında çelik veya nikelli çelik kullanılmıştır. Pimler arasındaki çubukların eşit gerilme üretememesinden dolayı asma köprülerde zincir kullanımı günümüzde terk edilmiştir.

Kablo: Asma köprülerde kullanılan kablolar iki şekilde hazırlanmaktadır.

a) Paralel Tel Kablolar: Daha çok Amerika'da yapılan köprülerde kullanılır. Çapı 5 mm civarında olan galvanizli çelik tellerden yapılır. Paralel tel kabloların teşkili için teller ankrajlar arasına gerilir ve istenen sayıya ulaşılınca bir demet haline getirilir. Her demette 300-400 tel bulunur. Demetler özel ekipmanlarla sıkıştırılır, kelepçelenir ve silindir bir kablo haline getirilir. Kablolardaki demet sayısı kablonun büyüklüğüne göre 7, 19, 37 veya 61 tane olur. Kablo, ankrajlarda demetlere ayrılır ve demetler birbirine göre kaydırılarak pabuçlara bağlanır. Pabuçlar, atnalı biçiminde ve üzerinde tel yuvaları bulunan döküm parçalardır. Demet bağlanmış pabuçlar önceden hazırlanmış olan delikli ankraj çubuklarına pimlerle bağlanır.

b) Bükümlü Tel Halatlar: Daha çok Avrupa'da yapılan köprülerde kullanılmaktadır. Bükümlü tel halatlar, 250-300 metre açıklıklar için fabrikada hazırlanıp köprü sahasına sevk edilebilmeleri sebebiyle tercih edilir. Kılavuz bir kablo yardımıyla kablo yerine yerleştirildikten sonra kablo uçları çelik soketlerle ankraj kitlelerine bağlanır. Çapları 60-70 mm'ye kadar olan halatlar, yuvarlak tellerin spiral şeklinde sarılmasıyla elde edilir. Daha büyük çaplar için bükülü tel demetleri bir çekirdek demet etrafına sarılmak suretiyle imal edilir. Bükülü tel halatların elastisitesi paralel tel kablolardan küçüktür.

Askılar ve Askı Bilezikleri: Rijitlik kirişi veya köprü yol platformu askılar vasıtasıyla kablolara asılır. Ankraj kitlerine gerilerek bağlanan kablolar üzerine askıların bağlanması için askı bilezikleri yerleştirilir. Askı bilezikleri kablo üzerinde kaymaya dirençli, flanşlı bilezik şeklinde üretilmiş döküm parçalardır. Askılar, bu bilezikler üzerinde yer alan flanşlı yuvalara oturur ve sabitlenir.

Rijitlik Kirişi: Kabloda meydana gelebilecek distorsiyonu (Distorsiyon; kablonun orijinal şeklini bozan eğilme, çarpılma gibi tüm hataların genel adıdır.) sınırlandırmak üzere askıya bağlı bir rijitlik kirişi kullanılır. Bu kiriş asma köprülerde ilk zamanlarda kafes kiriş şeklinde inşa edilmiştir. Günümüzde ise kapalı sistemli çelik kirişler kullanılmaktadır.

Ankraj Tertibatı ve Ankraj Kitlesi: Pabuçla etrafına ilmek şeklinde çevrilen kablo demetlerindeki yükler, pabuçların pimle bağlı olduğu ankraj zinciri vasıtasıyla ankraj levhası, kirişi veya ızgarasına iletilir. Zincir kullanımadığı zaman ise ankraj kitlesi içinde yer alan soketlere yerleştirilerek ankastre edilir.

Asma köprülerin inşa faliyetleri şunlardır:

- Köprü yapılacak en uygun yer belirlenir ve projelendirme işlemi yapılır.
- Asma köprünün her iki yanında kabloların bağlanacağı ankraj kitleleri yapılır.
- Kule altı temelleri inşaatına geçilir. Temel karada olacaksa çoğunlukla betonarme sömel şeklinde yapılır. Zemin zayıf yapıya sahipse kuyu ve kazık temeller yapılır.
- Temel su içinde olacaksa temel alanı batardolarla veya kesonlarla çalışmaya uygun hale getirilir. Keson; suyun dibine batırılan büyük, su geçirmez bir odadır. Bu odanın içi betonla doldurulur.
- Kule inşaatına geçilir. Kuleler çoğunlukla çelik veya betonarme malzemeden yapılır. Su altı temeli atıldıktan sonra kulenin tabanı olacak yere dev beton bloklar eklenir. Beton bloklar, temel görevi görmesi ve gemi çarpmalarında köprüye gelebilecek zararı engellemek için kullanılır.
- Kulelerin inşaatı, çelik veya beton bölümlerin yukarı ve yerine kaldırılması işlemi ile devam eder. Kuleler, çok büyük cıvatalar kullanılarak temellere kilitlenir.
- Kulelerin arasına halat germe işlemi yapılır. Halat veya kablolar, ankraj kitleleri arasında gerilir. Germe işlemi sırasında vinçlerden faydalanılır. Gerilen kablolar projeye uygun hale gelince kitlelere sabitleme işlemleri yapılır.
- Kabloların arasında proje uzunluğuna göre hazırlanan askılar kablolar üzerine yerleştirilir ve sağlamlaştırılır.
- Köprünün her iki tarafından (aynen kemer yapımında olduğu gibi) tabliye kirişleri köprünün ortasında kenetlenerek kavuşacak şekilde yerleştirilir. Vinçlerle kaldırılan veya döşeme üzerinden sürülen tabliyeler yerlerine yerleştirilir ve tabliye askı bağlantıları yapılır.
- Tabliye üzerinde korkuluk ve asfalt platform inşası yapılır ve köprü tamamlanır.

SIRA SİZDE

Asma köprü krokisini serbest elle çizerek elemanlarını gösteriniz.

3.10 UYGULAMA

2 (5) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

ASMA KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yer alan asma köprülerin taşıyıcı sistemlerine göre incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Ülkemizde yer alan ve aşağıda adları verilen köprülerden bir tanesini seçiniz ve köprü ile ilgili araştırmayı, aşağıdaki işlem basamaklarını dikkate alarak öğretmeninizin gözetim ve rehberliğinde uygulama ödevi olarak yerine getiriniz.

Verilenler

İstanbul 15 Temmuz Şehitler (İstanbul Boğaziçi) Köprüsü, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, 1915 Çanakkale Köprüsü

İstenenler

Verilen köprülerden bir tanesini seçiniz ve köprünün yapılış sürecini, köprü elemanlarının özelliklerini, yapılış tekniklerini inceleyiniz ve köprüye ait resim, fotoğraf, proje çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda seçtiğiniz köprü ile ilgili araştırmalarda resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Seçilen köprünün proje hazırlık aşamaları incelenir.
2. Proje öncesi yapılan etüt çalışmaları incelenir.
3. Köprü temelinin yapılışı ve kullanılan yöntemler incelenir.
4. Köprü kulelerinin özellikleri ve yapılış teknikleri incelenir.
5. Kuleler üstüne yapılan semerler veya makaraların özellikleri incelenir.
6. Kullanılan halat/kablo özellikleri incelenir.
7. Halat/kablo germe tekniği ve germe aşamaları incelenir.
8. Kablo askı bağlantı elemanları incelenir.
9. Köprüde yer alan tabliyelerin köprüye yerleştirilme aşamaları incelenir.
10. Tabliye askı bağlantı şekilleri incelenir.
11. Platform ve asfalt kaplama teknikleri incelenir.
12. Köprülere yapılan periyodik bakımların içeriği ve yapılış tekniği incelenir.
13. Seçilen köprünün internet ortamında fotoğrafları ve videoları incelenir. Uygun görülenler seçilip dosyaya kaydedilir.
14. Farklı kaynaklardan derlenen bilgiler incelenir, karşılaştırılarak doğru veriler süzülür.
15. Seçilen köprü ile ilgili derlenen veriler ve seçilen resimlerden slâyt veya video sunumu hazırlanır.
16. Seçilen köprü ile ilgili hazırlanan sunum sınıfça izlenir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Seçilen köprünün proje hazırlık aşamalarını incelediniz mi?		
2	Proje öncesi yapılan etüt çalışmalarını incelediniz mi?		
3	Köprü temelinin yapılışı ve kullanılan yöntemleri incelediniz mi?		
4	Köprü kulelerinin özellikleri ve yapılış tekniklerini incelediniz mi?		
5	Kuleler üstüne yapılan semerler veya makaraların özelliklerini incelediniz mi?		
6	Kullanılan halat/kablo özelliklerini incelediniz mi?		
7	Halat/kablo germe tekniği ve germe aşamalarını incelediniz mi?		
8	Kablo askı bağlantı elemanlarını incelediniz mi?		
9	Köprüde yer alan tabliyelerin köprüye yerleştirilme aşamalarını incelediniz mi?		
10	Tabliye askı bağlantı şekillerini incelediniz mi?		
11	Platform ve asfalt kaplama tekniklerini incelediniz mi?		
12	Köprülere yapılan periyodik bakımların içeriği ve yapılış tekniğini incelediniz mi?		
13	Seçilen köprünün internet ortamında fotoğrafları ve videoları inceleyip uygun gördüklerinizi dosyaya kaydettiniz mi?		
14	Farklı kaynaklardan derlenen bilgileri inceleyerek doğru verileri süzdünüz mü?		
15	Seçilen köprü ile ilgili derlenen veriler ve seçilen resimlerden slâyt veya video sunumu hazırladınız mı?		
16	Seçilen köprü ile ilgili hazırlanan sunumu sınıfça izlendi mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	35	55	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Yaşadığınız çevrede bulunan kablo destekli köprüleri inceleyiniz ve fotoğraflarını çekiniz. Sınıf panosunda kişisel fotoğraflarınızı sergileyiniz.

3.11. KABLO GERGİLİ KÖPRÜLER

Kablo destekli köprü, sürekli kirişli yapısal bir sistemdir. Kablo gergili köprü, elastik desteklerle desteklenen sürekli kirişli bir köprüdür. Kablo askılı köprüler, kısa ve uzun açıklıklarda ilk tercih edilen köprü modeli olmuştur. Günümüzde kısa mesafelerde diğer köprüler tercih edilirken 150 ile 600 m arası açıklıklarda kablo gergili köprüler tercih edilmektedir. Bu aralıkta açıklığa inşa edilen kablo gergili köprünün yapım maliyeti diğer köprülere göre çok daha ekonomiktir. Zarif bir görünüme sahip olması da tercih edilmesinin diğer bir nedenidir (Resim 3.23).

Resim 3.23: Malatya ile Elazığ arasında Karakaya Baraj Gölü üzerinde Kömürhan Köprüsü

3.11.1. Kablo Gergili Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Kablo askılı köprülerin ilk tasarımı 1595 yılına dayanmaktadır. İlk kablo destekli köprü 19. yüzyılın başlarında inşa edilmiş, ancak süreklilik kazanamamıştır. 1950'den sonra yapımı diğer köprü türleri gibi yaygınlaşmaya başlamıştır. 1950'lerin başında Almanya'da ilk modern kablolu köprü yapılmış, daha sonra 1955'te İsveç'te Strömsund Köprüsü inşa edilmiştir (Resim 3.24).

Resim 3.24: İsveç Strömsund Köprüsü

1970 sonrası Batı Avrupa'da geniş uygulama alanı bulmuştur. Bilgisayarlarla strüktürel analiz metotlarının bulunması, yüksek gerilimli çeliğin uygulanması, orthotropik (Malzemenin özellikleri eksenler doğrultusunda farklı özellikler göstermesidir.) çelik tabliyenin gelişimi, köprü deneyimleri, maket çalışmalarıyla strüktürlerin analiz edilebilmesi kablo gergili köprülerin tercih edilmesinde etkili olmuştur. Kablo destekli köprüler günümüzde dünya çapında kullanılmaktadır. Rusya'daki Russky Köprüsü, dünyanın en uzun açıklıklı kablolu köprüsüdür ve 1104 m açıklığa sahiptir (Resim 3.25). Kule yüksekliği bakımından en yüksek kablo gergili köprü ise Fransa'da inşa edilen Millau Viyadüğü'dür. Toplam uzunluğu 2460 metre ve en uzun kule boyu 336,4 metredir (Resim 3.26).

Resim 3.25: : Rusya'daki Russky Köprüsü

Resim 3.26: Fransa Millau Viyadüğü

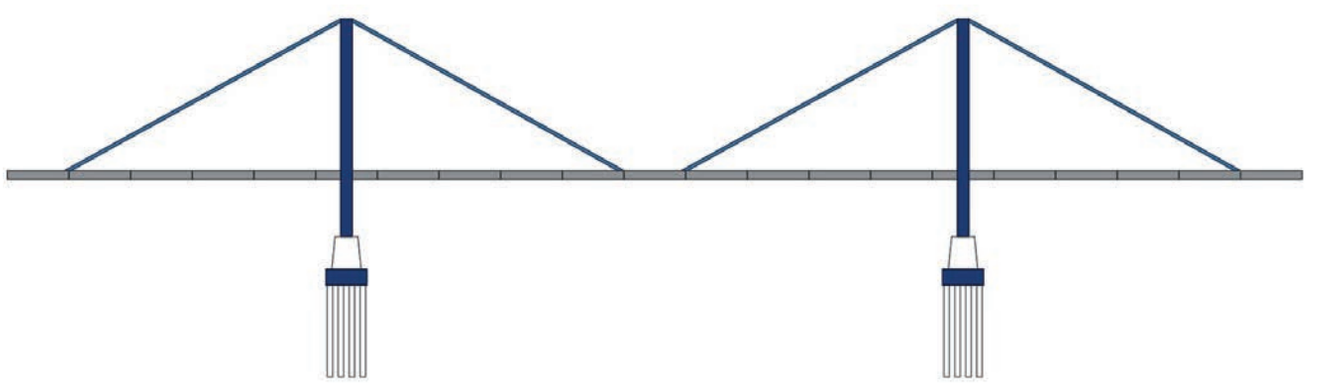
3.11.2. Kablo Gergili Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Köprü döşemesinin, ana kablolar olmadan doğrudan kulelere asılması yöntemi ile inşa edilen köprüler kablo gergili köprü (eğik askılı köprü) olarak tanınmaktadır. Bu form konsol ve asma köprü tekniğinin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş en yeni köprü tipidir. Kablo askılı köprünün çalışma prensibi oldukça basittir. Bu köprüde tüm elemanlar esas olarak çekme veya basma gerilmesine karşı çalışır. Ana kablolar, ana kirişe etki eden dikey yükleri taşımak için ara elastik destek sağlar ve böylece yük daha uzun bir mesafeye yayılır.

Yükleri taşımak için kabloların eksenel çekme kuvvetine dayanması gerekir. Bu nedenle hem direklerde hem de ana gövdede sıkıştırma kuvvetleri oluşur. Her ne kadar bazı bükülme momentleri veya başka kuvvetler olsa da direkler ve ana kirişlerde bunların etkileri çok daha küçüktür.

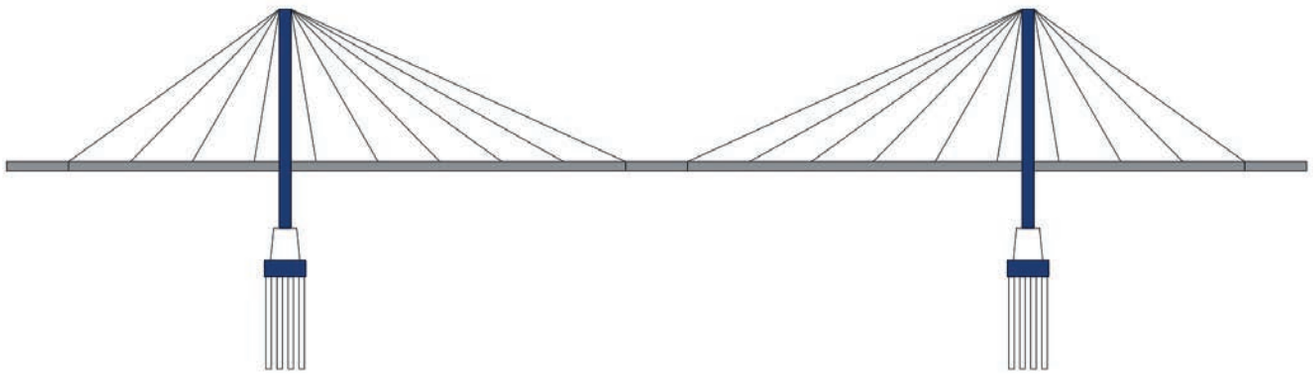
Kablo gergili köprüler kabloların gövdeye bağlanma şekillerine göre **dört başlık** altında toplanmaktadır.

Tek Kablo Sistemi: Bu tasarımda tabliye ile kuleler arasında tek bir kablo kullanılır ve az yapılan askılı köprü türlerindendir. Kablo kesiti çok büyük seçilmektedir. Almanya'da Neckar Nehri Köprüsü tipik bir mono kablolu köprüdür (Şekil 3.45).



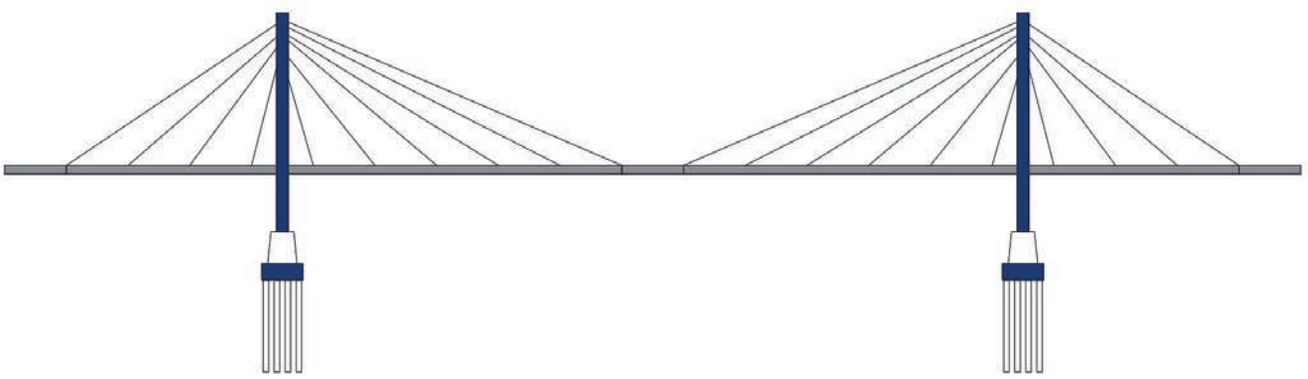
Şekil 3.45: Tek kablo gergili köprü

Yelpaze Sistemi: Yelpaze kablo tasarımında tüm destek kabloları kulelerin tepesine bağlanmakta veya kulenin üzerinden geçmektedir (Şekil 3.46). Yelpaze düzeni, az kablonun kullanımı gerekli ise uygulanabilir ve pilonların (köprü ayaklarının) eğilme etkilerini azaltabilir. Yelpaze tasarımında kablo eğimlerinin büyük açılarda olması nedeniyle belirgin zorluklar bulunmaktadır. Kulelerin başında olası korozyon, malzeme yorulma sorunları, kablo kuvvetlerinin miktarı, ankrajların ağırlığı ve karmaşıklığı, kablo bakımlarının zorluğu bu sistemin ortaya çıkan sıkıntılarıdır.



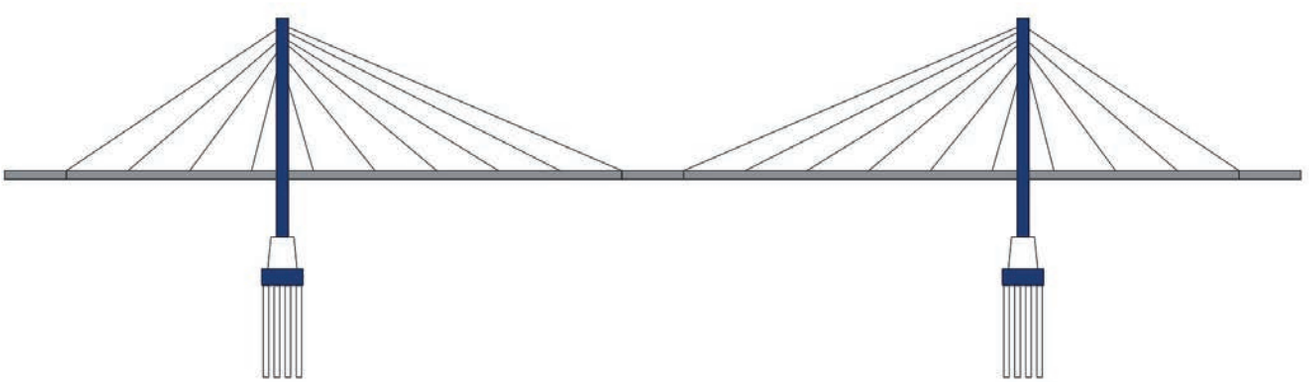
Şekil 3.46: Yelpaze kablo gergili köprü

Asimetrik Kablo Sistemi: Yelpaze sisteminde kabloların aynı yere sabitlenmesi sonucu oluşan zorlukları önlemek için geliştirilen sistemdir. Bu sistemde kablolar kulenin tepesine yakın bir yere bağlanır ve kablolar birbirinden yeterince aralıklıdır (Şekil 3.47). Bu şekilde kablolara erişim ve bakım işlemleri kolaylaşmıştır. Bu sistem özellikle çok kablonun kullanıldığı köprüler için uygundur.



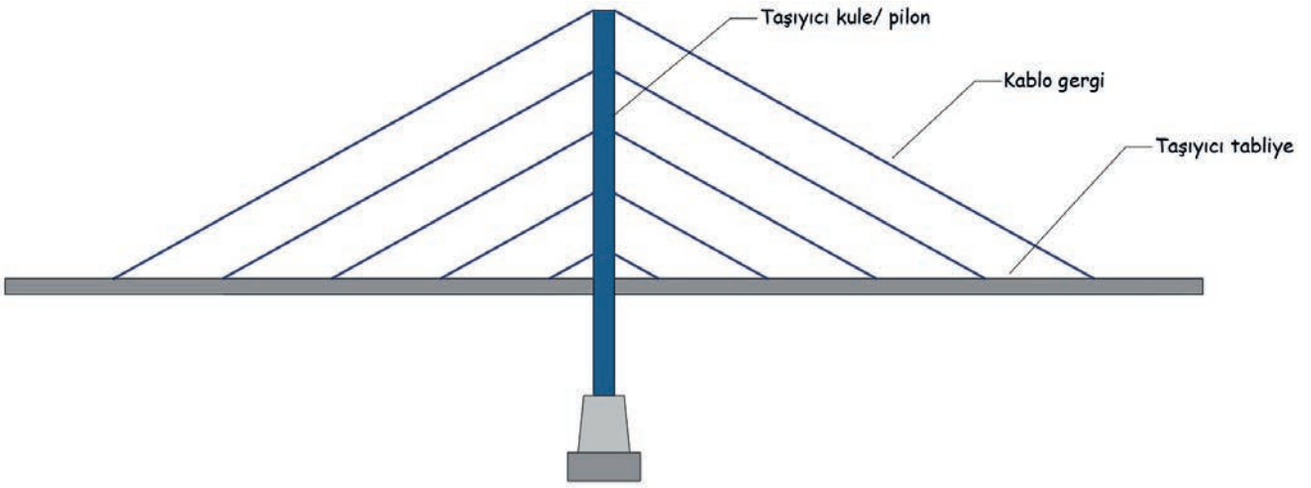
Şekil 3.47: Asimetrik kablo gergili köprü

Arp Kablo Sistemi: Arp kablo sisteminde kablolar birbirine neredeyse paralel olduğundan kule üzerindeki sabit noktaların yüksekliği kuleden güvertedeki konumlarına olan mesafeyle orantılıdır. Arp kablo sistemi yapısı itibarı ile zarif bir görünüme sahiptir. Çünkü kabloların diziliş sırası estetik açıdan güzel bir görünüş sunmaktadır (Şekil 3.48). Ayrıca kuledeki kablo ankrajları daha düşük bir yükseklikte başladığından kiriş inşaatının daha erken başlamasına da olanak tanımaktadır.



Şekil 3.48: Arp dizilişli kablo gergili köprü

Kablo gergili köprüler; taşıyıcı kuleler (pilonlar), kablolar ve taşıyıcı tabliyeden oluşan üç elemanlı köprülerdir (Şekil 3.49).

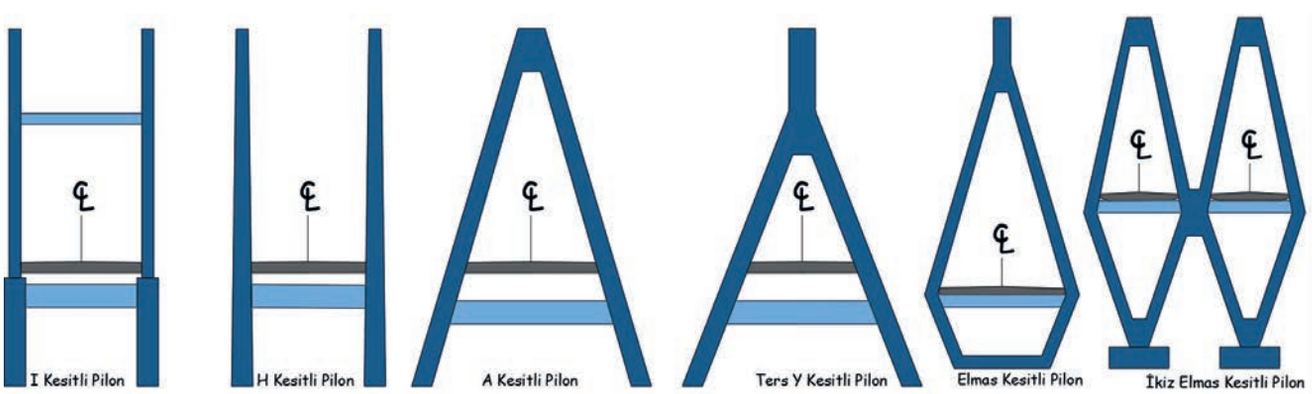


Şekil 3.49: Kablo gergili köprü elemanları

Kablolar temel yük taşıyıcı elemanlar olup kulelere ve tabliyelere bağlanmıştır. Kablolu köprülerde kablolar kule ve tabliyeye direkt olarak bağlıdır. Kablolu köprülerde çok farklı kule tiplerinin kullanılması ve farklı kablo düzenlemesine izin vermesi tasarımcının yaratıcılığını artırmaktadır.

Bu da çok farklı şekillerde kablolu köprülerin meydana getirilmesini sağlamıştır. Kabloların tabliyelere, kulelere ve altyapıya bağlantısı son derece önemlidir. Kablo bağlantıları yüklerin tam transferini sağlamalıdır ve iklim şartlarına karşı korunmalıdır. Eğik kablo askılı köprülerin ana elemanları aşağıdaki gibidir.

Taşıyıcı Kuleler: Temelden sonra tek bir sütun olarak tasarlanabilmektedir. Genellikle I, H, A ve ters Y harflerine benzer şekillerde tasarlanır. Ayrıca elmas ve ikiz elmas şeklinde tasarımlar da mevcuttur (Şekil 3.50). Kablo gergili köprü kulelerinde kullanılan üç temel malzeme betonarme, ön gerilmeli beton ve çeliktir. İlk inşa edilen köprülerde çelik malzeme yoğun olarak kullanılmıştır. Birleştirmeler perçinle yapılmıştır. Ancak çelik köprülerde zamanla sorunlar çıkması üzerine betonarme ve ön gerilmeli beton kullanımı ön plana çıkmıştır.

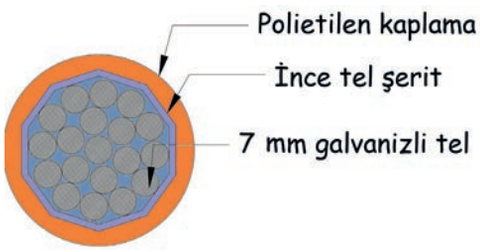


Şekil 3.50: Taşıyıcı kule (pilon) şekilleri

Eğik kablo askılı köprü kuleleri, tabliye yüzeyinden daha yüksekte inşa edilir. Eğik askılı köprülerde sistemin çalışma mekanizmasından dolayı kablolarda çekme kuvveti oluşur ve kablolar çekme kuvvetini kuleye aktarır. Bu çekme kuvveti kulede basınç kuvveti oluşturur. Kuleler bu basınç kuvveti ile birlikte eğilme momentini, deprem ve rüzgârdan dolayı oluşan ek yatay kuvvetleri de karşılar. Kuleler kablo sisteminin bir parçası gibi davranır.

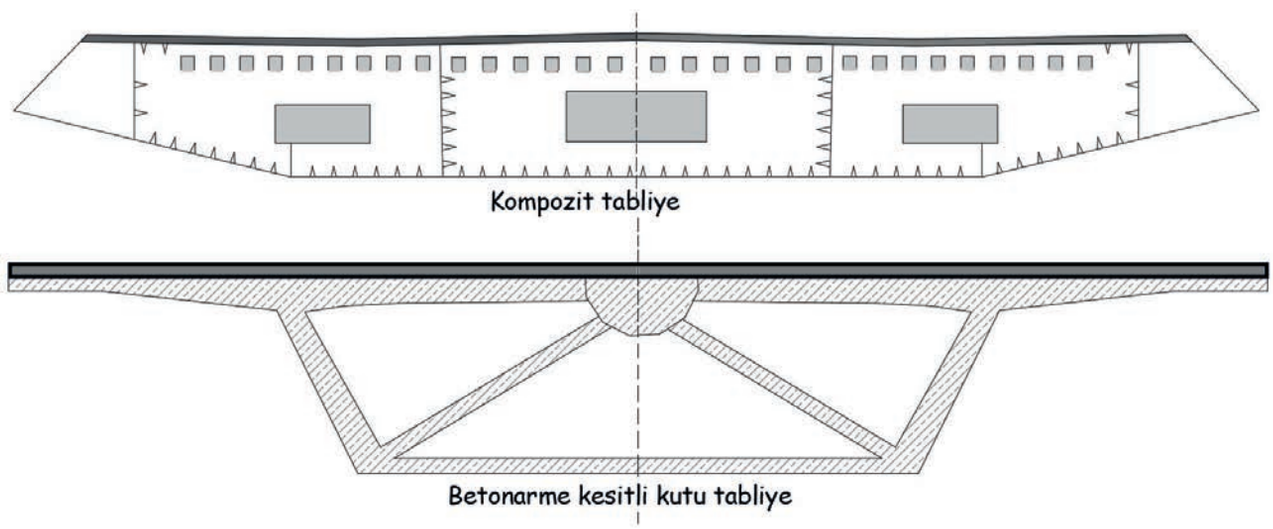
Kuleleri meydana getiren dikmeler kutu kesitli olup genelde içleri boştur. Yol seviyesine ve bakım onarım için mesnet semerlerine çıkmayı sağlamak için kulelerde asansör tertibatı vardır. Her bir kule bir veya iki ayaktan oluşturulur ve bu ayaklar diyagonal veya yatay kirişlerle birbirine bağlanmaktadır. Kuleler köprü yükünün zemine aktarılmasında birincil yük taşıyıcı bir yapıdır. Kuleler, her türlü zemin koşullarında inşa edilebilir. Kulelerin yüksekliği açıklığın %20-%25'i arasında alınır. Eğer civarda havaalanı gibi yerler varsa yükseklik düşürülmektedir.

Kablolar: Eğik kablo askılı köprüleri diğer klasik köprülerden ayıran ana özelliği, taşıyıcı sistemlerin önemli bir parçasının kablolardan oluşmasıdır. Eğik kablo askılı köprülerde kablolar tabliyeye ve kulelere belli bir açıyla bağlanmaktadır. Kablolar tabliyeye bağlanmadan önce bir çekme kuvvetine maruz bırakılır ve bu gerginlikte tabliye noktasına bağlanır. Bu işlem sistemin rijitliğini sağlamaktadır. Kablolar, özel üretilmiş elemanlardan oluşur. Çoğunlukla galvanizli çelik tellerin sarmal, spiral, paralel ve halat şeklinde örülmesiyle oluşturulur. Kablolarda tüm teller galvanizli durumdadır ve en az 1770 N/mm^2 kadar gerilmeye sahiptir. Tellerin yüzeyi paslanmalarını önlemek için polietilen kaplama ile kaplanmıştır. Bazı köprü uygulamalarında kablolar betonarme koruyucu kılıf içine de gömülmüştür. Yeni geliştirilen bir kablo çeşidi olan kompozit kablolar, aromatik poliamid liflerinden üretilmiştir ve armid diye kısaltılmıştır. Korozyona karşı direnci çok iyi olduğu için deniz, göl ve akarsu ortamlarda kullanılması uygun bulunmuştur (Şekil 3.51).



Şekil 3.51: Taşıyıcı kablo kesiti

Tabliyeler: Kablo gergili köprülerde döşeme; çelik/ betonarme kutu kesitli, öngermeli veya kompozit olarak uygulanmaktadır (Şekil 3.52).



Şekil 3.52: Köprü tabliye kesiti

Betonarme kutu kesitli tabliyeler, 250 m üzerindeki açıklıklarda tek çözüm olarak kabul edilir. Döşeme tipi ve kabloların düzeni ile kablo gergili köprüler, asma köprülere göre aerodinamik stabilite ve burulma rijitliği bakımından daha dayanıklıdır. Bu özelliği nedeniyle döşeme daha narin yapıda inşa edilir. Ayrıca bu özelliklerden dolayı yatay yüklere karşı stabilite sağlanması için portal kirişlere de gerek kalmaz.

Genel olarak güvertenin ölü ağırlıktan kaynaklanan eğilme momentine, hareketli yüke ve yatay bileşenlerden gelen eksenel kuvvetlere karşı direnmesi gereklidir. Bu nedenle asma köprüdeki tabliyeden farklı olarak tabliyeler kablo askılı köprülerde farklı yapısal formlar olarak tasarlanabilmektedir. Kablo gergili köprüler, iskele ve serbest konsol olmak üzere iki yöntemle inşa edilir.

İskele Yöntemi: Deniz trafiğinin olmadığı yerlerde ve kısa açıklıklı köprü imalatında kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, güverte montajı için iskeleler kullanılır.

İskele yönteminde inşa faaliyetleri şunlardır:

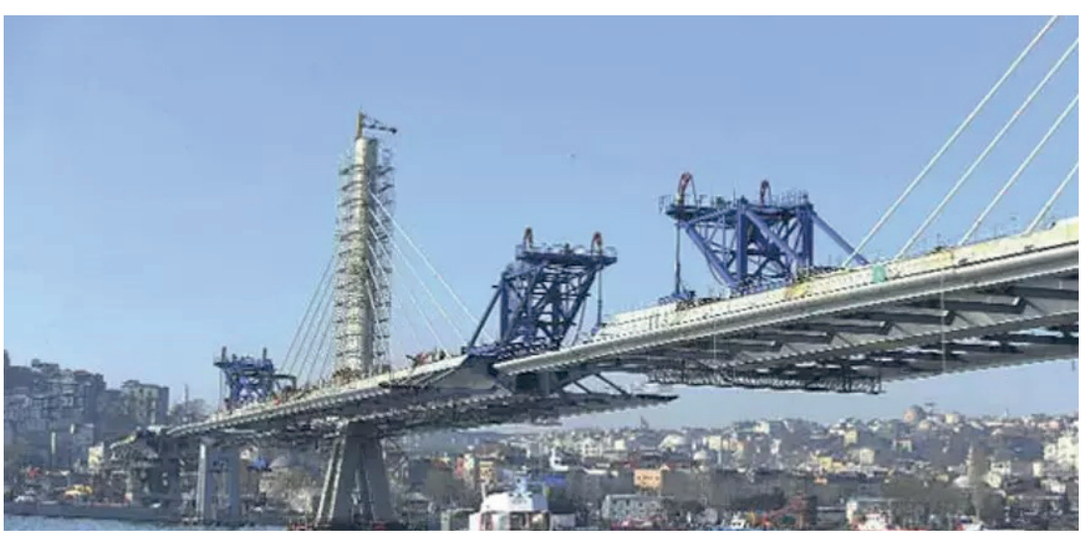
- Temel inşası
- Kulelerin inşası
- Tabliyeler altına iskelelerin yerleştirilmesi
- Tabliyelerin yerleştirilmesi
- Kabloların gerilmesi
- Köprü korkuluğu ve kaplamanın yapılması
- İskelenin sökümü

Serbest Konsol Yöntemi: Serbest konsol yöntemi, modern kablo askılı sistemlerde daha sık kullanılır.

Köprü tabliyesinin doğrudan kabloyla desteklendiği yöntemdir. Köprü kulenin her iki yönünde simetrik konsol olarak başlar ve en son tabliye köprünün ortasına yerleştirilir. Bu sistemde tabliyeler birbiri üzerinden kaydırılmakta ya da vinçle yerlerine kaldırılarak kablolara bağlanmaktadır (Resim 3.27).

Serbest konsol yönteminde inşa faaliyetleri şunlardır:

- Temel inşası
- Kulelerin inşası
- Kulelerden başlayarak simetrik bir şekilde kulenin her iki yanına tabliyelerin tek tek yerleştirilmesi ve kablolara bağlanması
- Orta tabliyenin yerleştirilmesi
- Köprü korkuluğu ve kaplamanın yapılması



Resim 3.27: İstanbul Haliç metro geçiş köprüsünde tabliye yerleştirme

SIRA SİZDE

Kablo gergili köprü krokisini serbest elle çizerek elemanlarını gösteriniz.

3.12 UYGULAMA

1(5) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KABLO GERGİLİ KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, kablo gergili köprülerin taşıyıcı sistemleri ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Kablo gergili köprü olarak inşa edilen İstanbul Haliç metro geçiş köprüsü ile ilgili sunumu aşağıdaki işlem basamaklarını ve araştırma verilerini dikkate alarak **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

İstanbul Haliç metro geçiş köprüsü

İstenenler

İstanbul Haliç metro geçiş köprüsünü araştırınız ve bu köprüye ait resim, fotoğraf, proje çizimlerini içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda köprünün yapılışı ile ilgili araştırmalarda resmi kurumların (bakanlık, valilik, kaymakamlık, üniversite ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. İstanbul Haliç metro geçiş köprüsünün projelendirme aşamaları farklı kaynaklardan araştırılır.
2. İstanbul Haliç metro geçiş köprü temelinin yapılışı ve kullanılan yöntemler incelenir.
3. İstanbul Haliç metro geçiş köprü kulelerinin özellikleri ve yapılış teknikleri incelenir.
4. İstanbul Haliç metro geçiş köprüsünde kullanılan halat/kablo özellikleri incelenir.
5. Halat/kablo germe tekniği ve germe aşamaları incelenir.
6. Köprüde yer alan tabliyelerin köprüye yerleştirilme aşamaları incelenir.
7. Tabliye askı bağlantı şekilleri incelenir.
8. Raylı sistem platform özellikleri incelenir.
9. Seçilen köprünün internet ortamında fotoğrafları ve videoları incelenir. Uygun görülenler seçilip dosyaya kaydedilir.
10. Farklı kaynaklardan derlenen bilgiler incelenir, karşılaştırılarak doğru veriler süzülür.
11. Seçilen köprü ile ilgili derlenen veriler ve seçilen resimlerden slayt veya video sunumu hazırlanır.
12. Seçilen köprü ile ilgili hazırlanan sunum sınıfça izlenir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	İstanbul Haliç metro geçiş köprüsünün projelendirme aşamalarını farklı kaynaklardan araştırdınız mı?		
2	İstanbul Haliç metro geçiş köprüsü temelinin yapılışını ve kullanılan yöntemleri incelediniz mi?		
3	İstanbul Haliç metro geçiş köprüsü kulelerinin özelliklerini ve yapılış tekniklerini incelediniz mi?		
4	İstanbul Haliç metro geçiş köprüsünde kullanılan halat/kablo özelliklerini incelediniz mi?		
5	Halat/kablo germe tekniğini ve germe aşamalarını incelediniz mi?		
6	Köprüde yer alan tabliyelerin köprüye yerleştirilme aşamalarını incelediniz mi?		
7	Tabliye askı bağlantı şekillerini incelediniz mi?		
8	Raylı sistem platform özelliklerini incelediniz mi?		
9	Seçilen köprünün internet ortamında fotoğraf ve videolarını inceleyip uygun gördüklerinizi seçip dosyaya kaydettiniz mi?		
10	Farklı kaynaklardan derlenen bilgileri karşılaştırarak doğru verileri süzdünüz mü?		
11	Seçilen köprü ile ilgili derlenen veriler ve seçilen resimlerden slayt veya video sunumu hazırladınız mı?		
12	Seçilen köprü ile ilgili hazırlanan sunumu sınıfça izlediniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	35	55	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. "Kemere etki eden yük kemer içinde dengeli olarak dağılmaktadır ve kemer köprüler emniyetli yük taşıması için özel bir eğriliğe sahiptir."

Kemerdeki bu eğriliğe ne ad verilir?

A) Zincir eğrisi

B) İntegral eğrisi

C) Çember yayı

D) Parabol eğrisi

E) Çan eğrisi

2. Kemer tabliyenin altında kalmakta ve sadece kemer üst tepe noktasından tabliyeye temas etmektedir.

Buna göre özelliği verilen kemer köprünün adı aşağıdakilerden hangisidir?

A) Güverte kemer köprüsü

B) Geçiş kemerli köprü

C) Katedral kemer köprüsü

D) Parabol kemer köprüsü

E) Yarı geçiş kemerli köprü

3. **Prof. Dr. R. Naumann tarafından yapılan arkeolojik kazılarda ortaya çıkarılan ve MÖ 13. yüzyılda Hititler tarafından yapıldığı tahmin edilen Anadolu toprakları üzerinde yer alan en eski ahşap kirişli taş köprü nerede ortaya çıkarılmıştır?**

A) Kültepe - Kayseri

B) Truva - Çanakkale

C) Göbeklitepe - Şanlıurfa

D) Boğazköy - Çorum

E) Gordion - Ankara

4. Kemer köprüde, tempan duvarlarının ağırlığını azaltmak için duvar gövdesinde yer yer boşluklar (pencereler) bırakılır.

Buna göre bırakılan bu boşluklara ne ad verilir?

A) Kemer kuş gözü

B) Niş gözü

C) Kemer dolgu gözü

D) Seyir terası

E) Kemer boşaltma gözü

5. Sürekli kirişlerde ara mesnet sayısı kadar kirişlere mafsal eklemek suretiyle oluşturulan izostatik sistemlere ne ad verilir?

A) Kafes kirişi

B) Gerber kirişi

C) Warren Truss kirişi

D) Öklid kirişi

E) Leonardo da Vinci kirişi

6. Isı değişimlerine bağlı olarak ortaya çıkacak genleşme ve büzüşmelerden kablonun etkilenmesini önlemek ve kuleler üzerinde kabloların oturması için konulan özel döküm mesnetlere ne ad verilir?

A) Eyer

B) Bilezik

C) Palanga

D) Semer

E) Zincir

7. Aşağıdakilerden hangisi köprü elemanlarından pilonun tanımıdır?

A) Köprü tabliyesini kabloya bağlayan ankraj demirlerdir.

B) Betonarme kesitli kutu tabliyelerde oluşturulan gözlerdir.

C) Köprü güvertesinin montajında kullanılan vinçlerdir.

D) Asma ve kablo gergili köprülerdeki taşıyıcı kulelerdir.

E) Kemer ile yol tabliyesi arasına yerleştirilen dikmelerdir.

8. Dünyada ilk kafes kiriş tasarımını yapan ve patentini alan kişi kimdir?

A) Heinrich Gerber

B) Mauro İcardi

C) Warren Truss

D) Gustave Eiffel

E) Frédéric Auguste Bartholdi

9. Isıya bağlı olarak köprü yapısında oluşabilecek hasarları önlemek için köprü kirişleri birleşim yerlerinde bırakılan boşluklara ne ad verilir?

A) Çekme derzi

B) Yatay ve düşey derzi

C) Deprem izolatörü

D) Sismik sönümleyici

E) Dilatasyon derzi

10. Bir konsol köprüde karşılıklı iki konsol uç arasına yerleştirilen döşeme türü aşağıdakilerden hangisidir?

A) Asılı

B) Asmolen

C) Hurdi

D) Konsol

E) Sarkan

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

4. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

4.1. DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ
4.2. UYGULAMA: DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ
4.3. KARAYOLU KÖPRÜLERİ
4.4. UYGULAMA: KARAYOLU KÖPRÜLERİ
4.5. YAYA KÖPRÜLERİ
4.6. UYGULAMA: YAYA KÖPRÜLERİ
4.7. BORU HATTI KÖPRÜLERİ
4.8. UYGULAMA: BORU HATTI KÖPRÜLERİ
4.9. YÜK TAŞIMA AMAÇLI KÖPRÜLER
4.10. UYGULAMA: YÜK TAŞIMA AMAÇLI KÖPRÜLER
4.11. SU KEMERİ KÖPRÜLERİ
4.12. UYGULAMA: SU KEMERİ KÖPRÜLERİ
4.13. VİYADÜKLER
4.14. UYGULAMA: VİYADÜKLER

KULLANIM AMACINA GÖRE KÖPRÜLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Demiryolu köprülerinin yapıldıkları dönemlere göre yapım tekniklerinin incelenmesi
- Demiryolu köprülerinin yapım dönemlerine göre yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Karayolu köprülerinin yapıldıkları dönemlere göre yapım tekniklerinin incelemesini
- Karayolu köprülerinin yapım dönemlerine göre yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Yaya köprülerinin yapıldıkları dönemlere göre yapım tekniklerinin incelemesini
- Yaya köprülerinin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Boru hattı köprülerinin yapıldıkları dönemlere göre yapım tekniklerinin incelemesini
- Boru hattı köprülerinin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Yük taşıma amaçlı köprülerin yapıldıkları dönemlere göre yapım tekniklerinin incelemesini
- Yük taşıma amaçlı köprülerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını
- Viyadüklerin yapım tekniklerinin incelemesini
- Viyadüklerin yapım tekniklerinin incelenmesi uygulamasını

Temel Kavramlar

asma köprüler, ardgermeli köprüler, askeri köprüler, boru hattı köprüleri, çelik prefabrik köprü, demiryolu köprüleri, dengeli konsol köprüler, eğik askılı köprüler, itme sürme köprüler, karayolu köprüleri, mevcut köprüye askı yöntemi, çapraz kemer boru köprüsü, ön dökümlü betonarme kirişli köprü, yüzer köprüler, viyadükler, yaya köprüleri, yük taşıma amaçlı köprüler

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Demiryolu köprüleri mevcut ulaşım sisteminde nasıl bir rol oynamaktadır? Arkadaşlarınızla tartışınız ve bunları listeleyiniz.

4.1. DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ

Bir yerden bir yere demir bir yol üzerinde, mekanik bir güçle hareket ettirilen vagonlar içinde, insan ve malzeme taşımasını sağlayan tesislerin tamamına **demiryolu** denir. Tanımdan da anlaşılacağı üzere demiryolu bir bütün olarak sadece ray, travers ve balasttan ibaret değildir. Tren istasyon binaları, köprü ve tüneller, lokomotif depoları vb. unsurlar da demiryolunun parçalarıdır. Demiryollarında yardımcı her tesis demiryolunun bir kolunu oluşturur. İyi planlamış bir demiryolunun tüm tesislerinin kullanım amacına uygun olarak inşası son derece önemlidir.

Akarsu, göl, vadi gibi doğal ve yapay engellerin üzerinden demiryolu hattı geçirmek amacıyla inşa edilen köprülere **demiryolu köprüsü** adı verilir. Yük ve yolcu taşıma amaçlı olarak inşa edilen demiryolu hatlarının vadi, akarsu, göl, deniz vb. yerlerin üzerinden geçirilmesi amacıyla köprü tesisleri yapılır.

Fırat Demiryolu Köprüsü, Varda Demiryolu Köprüsü, Karkamış Demiryolu Köprüsü gibi demiryolu köprüleri, ülkemizde hizmet veren önemli köprüler arasındadır. New York'taki Brooklyn Köprüsü, İskoçya'daki Forth Demiryolu Köprüsü, Cape Town'daki Victoria Köprüsü ve Kanada'daki Quebec Köprüsü görkemleriyle ve demiryolu sistemlerinin birbirine bağlanmasında üstelendikleri önemli rollerle dünyada en önemli demiryolu köprüleri arasındadır.

4.1.1. Taşıyıcı Sistemlerine Göre Kemer Köprü Çeşitleri

Kullanım amacına göre köprüler; demiryolu, karayolu, yaya, boru hattı, yük taşıma amaçlı, su kemeri ve viyadük köprüler şeklinde sınıflandırılır.

Demiryolu, karayolu ve viyadük köprülerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde, köprü açıklığı ve geçilecek engel türü (akarsu, demiryolu, karayolu vb.) ön plana çıkar. Aynı uzunluğa sahip açıklıklarda farklı tasarımlar tercih edilebilir. Yaya köprülerinde ise yapısal özelliklerle birlikte mimari form ve estetik detaylar ön plana çıkarılır. Su, petrol, doğal gaz gibi ürünlerin taşınmasında; mevcut köprüye askı yöntemi, betonarme temel ve ayaktan oluşan çelik kiriş köprüleri, çelik kemer köprüler, kablo askılı köprüler vb. tercih edilmektedir. Yük taşıma amaçlı köprüler; ticari yük taşıma köprüleri, yüzer köprüler, askeri tank ve zırhlı araçların geçişleri için imal edilen köprülerdir.

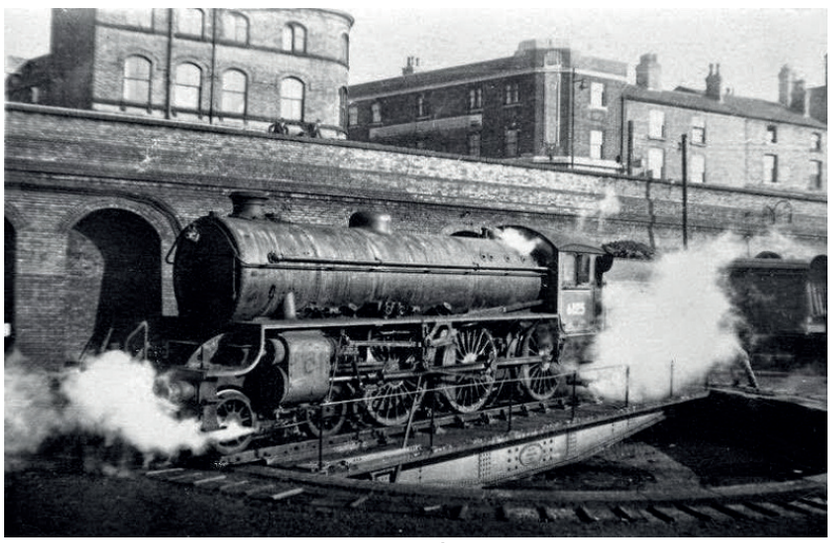
4.1.2. Demiryolu Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Dünyanın en eski demiryolu köprüsü, İngiltere'de Birmingham kentinde 19. yüzyılda inşa edilmiş olan döner köprüdür. Döner köprü, lokomotiflerin yönünü değiştirmek için kullanılmıştır. High Speed 2 (HS2) yüksek hızlı tren yolu inşaatındaki kazılar sırasında bu demiryolu köprüsü keşfedilmiştir. Döner köprü, Birmingham'ın merkezinde hizmet veren ve şehrin büyüme döneminde inşa edilen, ilk demiryolu terminali olan eski Curzon Caddesi İstasyonu'nun yanında bulunmuştur. 19. yüzyıl mühendislerinden Robert Stephenson tarafından yapılan döner köprü 12 Kasım 1837'de hizmet vermeye başlamıştır.

SIRA SİZDE

Ülkemizde ve Dünya'da hizmet veren bazı önemli demiryolu köprülerinin adlarını aşağıda verilen boşluğa yazınız.

Döner köprüler, lokomotiflerin yönünü değiştirmek amacıyla kullanılmış olup günümüzde ise bakım istasyonlarında kullanılmaktadır. Birmingham'daki döner köprü, daha önce yine İngiltere'nin Derby şehrinde bulunan döner köprüden 2 yıl önce inşa edilmiş ve keşfedilmesiyle dünyanın en eski demiryolu köprüsü olma özelliğini kazanmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1: Birmingham, Curzon Caddesi İstasyonu demiryolu döner köprüsü

Türkiye'deki büyük garların ve demiryolu depolarının büyük bölümünde döner köprüler hizmet vermektedir. Bunlar arasında 1932'den bu güne Haydarpaşa, 1926'dan bugüne hizmet veren Eskişehir ve 1836'da açılan Adana döner köprüleri sayılabilir. Bunların yanı sıra Türkiye'nin dört bir yanında hâlâ faaliyet gösteren 26 döner köprü bulunmaktadır. Türkiye'nin ilk döner köprüsü Uşak'ta 1886 yılında hizmete açılmıştır. Bu köprü, yapılan modernizasyon çalışmalarıyla sürekli yenilenerek bugün hala hizmet vermektedir. Gaziantep'in Kargamış ilçesine Halep'ten getirilen döner köprü 1922 yılında hizmete başlamıştır, ancak günümüzde hizmet vermemektedir.

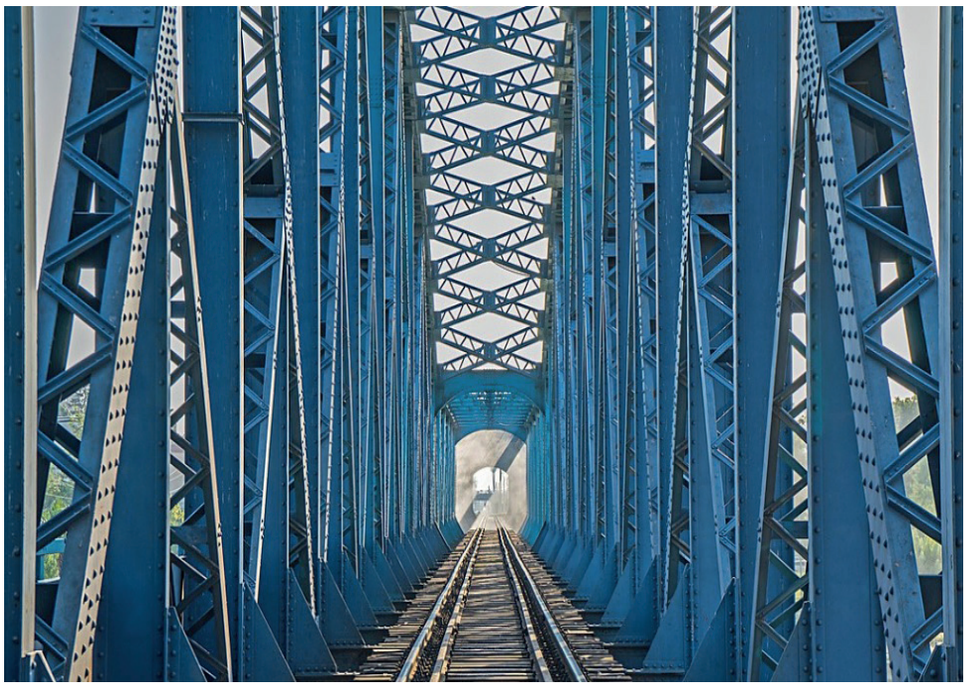
Konya Garı'nda, trenlerin yön değiştirmesi için 1935 yılında yapılan döner köprü günümüzde de kullanılmaktadır. Döner köprü, lokomotiflerin yön değiştirmesi ve dairesel kapalı depo alanına park edilmesi için kullanılmaktadır (Resim 4.2).

Resim 4.2: Konya Garı TCDD döner köprüsü

Türkiye'de hizmet veren önemli konuma sahip bazı demiryolu köprüleri ile ilgili bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

Gaziantep Karkamış Demiryolu Köprüsü: 1899 yılında Konya'dan Bağdat'a kadar uzanacak demiryolunun yapımı Almanlara verilmiştir. Fransa, Almanya'dan belli bir hisse alarak demiryolu köprüsü yapımına ortak olmuştur. Tarihi Fırat Demiryolu Köprüsü de İstanbul-Bağdat-Basra demiryolu hattının bir parçası olarak 1911-1913 yılları arasında Alman ve Fransız teknolojisi ile inşa edilmiştir.

Demiryolu köprüsünün toplam uzunluğu 870 metredir. Köprünün güneyinde, 80 cm genişliğinde yaya yolu yapılmış ve köprü 10 adet ayak üzerine oturtulmuştur. Köprü çelik elemanları, perçinle birleştirilmiştir. Günümüzde demiryolu ulaşımında kullanılan köprü, aynı zamanda Suriye ile olan sınırı da belirlemektedir. Karkamış ilçe merkezinin 1,5 km güneydoğusunda bulunan köprü, Fırat Nehri'nin Türkiye topraklarını terk ettiği noktadadır (Resim 4.3).



Resim 4.3: Gaziantep, Karkamış Demiryolu Köprüsü

Adana Varda Köprüsü: Adana'nın Karaisalı ilçesi Hacıkırı (Kıralan) Mahallesi'nde bulunan, yöre halkı tarafından Koca Köprü adıyla anılan köprüdür. Hacıkırı Demiryolu Köprüsü ya da 1912 yılında Almanlar tarafından inşa edildiği için Alman Köprüsü adıyla bilinmektedir.

Köprü, çelik kafes taş örme tekniği ile yapılmış ve 1912 yılında hizmete açılmıştır. Köprünün yapılış amacı, İstanbul-Bağdat-Hicaz demiryolu hattını tamamlamaktır. Kâgir köprü türündedir ve 3 ana açıklıklı olarak 4 ana ayak üzerine kuruludur. Uzunluğu 172 m, yerden orta ayak yüksekliği ise 99 m'dir. Köprü ayakları çelik mesnet türü olup dış kaplaması taş örme tekniği ile yapılmıştır.

Köprünün inşası 1912'de tamamlanmıştır. Köprü ayakları bakımı için dört adet ayağın içinde bakım merdivenleri mevcuttur. Köprü üzerindeki demiryolu 1220 m yarıçaplı bir kurpla düzenlenmiştir. Dever, 85 km hıza göre oluşturulmuş olup 47 mm'dir (Resim 4.4).

Resim 4.4: Adana, Karaisalı Varda Köprüsü

Adıyaman Alman Köprüsü: Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde yer alan demiryolu köprüsüdür. Fırat'ın bir kolu olan Göksu Çayı'nın üzerinde, 1929'da inşa edilmiştir. Alman mühendislerin projesini hazırladığı köprünün yapımına 17 Temmuz 1927'de başlanmıştır. 20 ay süren inşaat çalışmaları Mart 1929'da tamamlanmıştır.

Köprüye 2005 yılında yürüme yolu eklenmiştir. Köprü, **korunması gerekli taşınmaz kültür varlığı** olarak tescil edilmiştir. 12 ayağı, 7 kemeri bulunan köprü 280 m uzunluğunda ve 35 m yüksekliğindedir. Kemer genişliği 3,97 m, tabliye genişliği 4,92 m'dir. Ayakları çelikten yapılmış olup dışı taş kaplanmıştır. Fırat'ın bir kolu olan Göksu Çayı üzerinde, güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda yer alan köprüden Fevzipaşa-Kurtalan Demiryolu geçmektedir (Resim 4.5).

Resim 4.5: Adıyaman, Gölbaşı Alman Köprüsü

Fırat Demiryolu Köprüsü: Malatya ile Elazığ illerini birbirine bağlayan ve aynı zamanda geçiş yolu olarak kullanılan demiryolu köprüsü, 16 Haziran 1986 tarihinde ulaşıma açılmıştır. Köprünün temelleri çelik ankraj kazıklarla inşa edilmiştir.

Köprü ayakları betonarme, tabliyeleri ise çelik malzemeden yapılmıştır. Malatya'nın Battalgazi ilçesindeki Fırat Tren İstasyonu ile Elazığ'ın Baskil ilçesinin Kuşsarayı Tren İstasyonu arasında bulunan Fırat Demiryolu Köprüsü'nün eni 4,5 metre ve yüksekliği 6 metredir.

Malatya Karakaya Baraj Gölü üzerinde inşa edilen Fırat Demiryolu Köprüsü, Türkiye'nin en uzun demiryolu köprüsüdür. 2030 m uzunluğundaki köprü 60 m yüksekliğindedir ve 30 adet betonarme ayağın üzerine inşa edilmiştir. Her biri 366 ton ağırlığında, 65 m boyunda, 29 adet çelik kirişten oluşturulmuştur. Çelik kirişler yer seviyesinde, betonarme ayaklar arasında yerleştirilmiş ve yerlerine hidrolik krikolarla kaldırılmıştır. İnşasında 1100 ton ağırlığında, 243 m boyunda yüzer çelik servis köprüsü, 11327 ton betonarme demiri ve 119320 m^3 beton kullanılmıştır. Köprünün temelinde 70 cm çapında, 420 m kaya ankraj kazığı kullanılmıştır (Resim 4.6).

Resim 4.6: Malatya, Fırat Demiryolu Köprüsü

SIRA SİZDE

Köprülerin kullanım amacına göre (demiryolu, karayolu, viyadük, yaya vb.) yapısal özelliklerinin belirlenmesinde hangi hususlar dikkate alınır? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

Adana 15 Temmuz Şehitler Köprüsü: Adana Seyhan Nehri üzerinde bulunan karayolu ve demiryolu köprüsüdür. Köprü, betonarme kolon ayakları üzerine oturtulmuştur. Köprü, 825 m uzunluğu ve 40 m genişliği ile Türkiye'nin en uzun dördüncü köprüsüdür. Her yönde üç karayolu şeridi ve bir metro hattı bulunmaktadır (Resim 4.7).

Resim 4.7: Adana, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü

Haliç Metro Köprüsü: İstanbul'da Haliç üzerinde yer alan, M2 metro hattının geçişini sağlayan ve üzerinde Haliç Metro İstasyonu bulunan gergin eğik askılı köprüdür. Köprü, Şişhane ile Haliç arasında M2 metro hattının geçişini sağlamaktadır. Köprü gemi geçişleri sırasında açılıp kapanabilme özelliğine sahiptir. 2 Ocak 2009 tarihinde M2 hattının Taksim-Yenikapı uzatması kapsamında başlayan köprü, 15 Şubat 2014 tarihinde Yenikapı uzatmasıyla birlikte hizmete açılmıştır (Resim 4.8).

Resim 4.8: İstanbul, Haliç Metro Köprüsü

4.1.3. Demiryolu Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Demiryolu köprüleri; üstyapı, altyapı ve mesnetlerden oluşur. Üstyapı, üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde mesnetlere aktarır. Mesnetler ise gelen yükleri köprü altyapısına aktarır. Köprü altyapısı da mesnetlerden gelen yükleri sağlam zemine aktararak üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde taşır.

Demiryolu köprüleri genellikle çelik kirişli, çelik kafes kirişli veya betonarmeden inşa edilir. Çelik ve betonarmenin birlikte kullanılarak inşa edildiği kompozit demiryolu köprüleri de sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanılacak köprü malzemesi için tasarım mühendislerince taşıma kapasitesi, açıklık, imalatın yapılacağı bölgesel koşullar ve bakım onarım maliyetleri gibi birçok farklı parametre değerlendirilerek karar verilir.

Çelik demiryolu köprülerinde üstyapı; boylamalar, enlemeler ve taşıyıcı elemanlarla inşa edilir. Tren lokomotif ve vagon yükleri, raylar, traversler, boylamalar ve enlemeler vasıtasıyla taşıyıcı sisteme ve mesnetlere aktarılır. Bu köprüler, dolu gövdeli ana taşıyıcı kirişler yardımıyla inşa edilebileceği gibi kafes sistem çelik taşıyıcı elemanlar yardımıyla da inşa edilmektedir. Çelik kafes kiriş köprülerde düşey yükler çelik makaslarla, yatay yükler ise alt ve üst rüzgâr çapraz bağlantı elemanları vasıtasıyla mesnetlere aktarılır.

Demiryolu köprüsünün inşası; topoğrafik çalışmalar, yapısal tasarım ve arazinin durum değerlendirmesi de dâhil olmak üzere dikkatli bir planlama gerektirir. Demiryolu köprüsü tasarımında; yapısal güvenliğin sağlanması, maliyet ile birlikte çevre üzerinde oluşabilecek etkilerin en aza indirilmesi ve doğal yaşam alanlarının korunması dikkatle ele alınır.

Demiryolu köprüleri; açıklık sayısı, üstyapı tipi, altyapı tipi, malzeme, yaklaşım tipi ve üstyapının sürekli devam edip etmemesi durumlarına göre sınıflandırılır. İlk olarak Northridge ve Loma Prieta depremlerinde köprülerde meydana gelen hasarlar üstyapı tipi ve malzeme özelliklerine göre gruplandırılmış ve daha sonra köprülerin diğer karakteristik özelliklerine göre alt guruplar oluşturulmuştur.

Demiryolu köprülerini depreme karşı tasarımı açısından birçok faktör göz önüne alınarak yapılan sınıflandırma aşağıda verilmiştir.

- Açıklık sayısı, tek açıklıklı ya da çok açıklıklı
- Taşıyıcı türü; betonarme, çelik, beton, ahşap, kompozit vb.
- Köprü ayağı türü; çok kolonlu köprü ayağı, tek kolonlu köprü ayağı, taşıyıcı perde yardımıyla oluşturulmuş köprü ayağı
- Yaklaşım ve mesnet türü, açıklıkların sürekli devam edip etmemesi vb.

Genel olarak köprülerin hafif depremler etkisi altında hemen kullanım performans seviyesine, şiddetli depremler etkisi altında ise can güvenliği performans seviyesine sahip olması hedeflenir. Kıyı ve Liman yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliğinde köprü veya viyadüğün bulunduğu enlem ve boylam dikkate alınarak üç farklı deprem düzeyi ile altı farklı zemin grubu için bulunan ivme değeri yardımıyla elde edilmektedir.

Bu üç deprem seviyesi D1, D2 ve D3 olarak adlandırılmıştır. D1 seviyesi, 50 yıllık süre zarfında olabilecek depremlerin tasarlanan depremleri aşma olasılığı %50 olarak ifade edilir (dönüş periyodu 72 yıl). D2 seviyesi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlere göre tasarım yapılır (dönüş periyodu 475 yıl). D3 seviyesi, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem durumları dikkate alınır (dönüş periyodu 2475 yıl).

Demiryolu köprülerinin tasarımı yapılırken hesaplamalarda; taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların ağırlığı (zati yükler), hareketli yükler ve dinamik yükler dikkate alınır. Dinamik yükler, köprünün işletilmesi esnasında ortaya çıkan yük grubudur. Bu yükler; merkezkaç kuvveti, rüzgâr etkisi, deprem etkisi, ısı değişimi ve rötre etkisi, ivmeleme, fren kuvvetleri, yanal çarpma, sürşarj yükleridir.

Hareketli yük olarak tren katarı yükleri ile ivmelenme ve fren kuvvetleri yanı sıra yanal çarpma etkisi olarak dikkate alınmaktadır. Bunların yanında sismik etki için deprem yükü de hesaplara katılmaktadır. Demiryolu köprülerinin zati yüklerini oluşturan elemanlar; temel, köprü ayağı, başlık kirişi, ön gerilmeli kirişler, enleme kirişleri ve tabliyedir. Bu elemanlar köprü yapısındaki zati yüklerin bir kısmıdır. Ayrıca demiryolu ulaşım sistemi yalıtımında kullanılan malzemeler, yapı üzerinden geçen tesisat boruları, yapının aydınlatılmasında kullanılan malzemeler zati yük olarak analizlerde dikkate alınmaktadır.

Ülkemizde, demiryolu köprülerinin inşasında Betonarme Alman Demiryolu Yönetmeliği kullanılmıştır. Ancak bu yönetmelik daha çok çelik demiryolu köprülerinin tasarımında kullanılması amacı ile hazırlanmıştır. Bu teknik şartnamenin yetersizliği nedeni ile EN 1991 EUROCODE Yönetmeliği ve UIC (International Union of Railways) Yönetmeliği kriterlerine göre köprü dizaynları yapılmaya başlanmıştır.

Demiryolu köprülerinin fonksiyonu, yapımı ve maliyeti nihai kararın verilmesinde etkili parametrelerdir. Köprüler, ana yapısal formlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- 250 m açıklığa kadar plak kirişli veya kutu profil kirişli köprüler
- 400 m açıklığa kadar makas kirişli köprüler
- 600 m açıklığa kadar konsol köprüler
- 1200 m açıklığa kadar halatlı köprüler
- 1900 m açıklığa kadar asma köprüler

Karayolu ve demiryolu köprülerinde üstyapı sistemi olarak genellikle öngermeli betonarme I kirişler kullanılmaktadır. Üstyapı sistemi, ülkemiz şartlarında kullanılmakta olan konvansiyonel karayolu ve demiryolu köprülerinde ihtiyacı karşılamaktadır.

Son yıllarda yüksek hızlı tren ile ulaşımın ön plana çıkması, yüksek hızlardaki trenlerin üzerlerinden geçebileceği köprülerin tasarımı ihtiyacını doğurmuştur. Öngermeli betonarme I kesitli kirişli üstyapı sistemine alternatif olarak ardgermeli kutu kesitli üstyapı sisteminin yüksek hızlı tren köprülerindeki kullanımı ön plana alınmıştır. Alternatif olarak ardgermeli kutu kesitli demiryolu üstyapı sisteminin, EUROCODE yüksek hızlı tren köprüleri kriterlerine göre daha sağlıklı ve daha az maliyetli olduğu belirtilmektedir.

Öngermeli I kesitli demiryolu üstyapı sistemi, genellikle 10-12 adet arasında değişen kirişin bitişik yerleştirilmesiyle oluşur. Bu kirişler, fabrikada imal edildikten sonra köprünün yapılacağı sahaya kadar taşınır. Sahada yerlerine yerleştirildikten sonra derinlikleri 1,30-1,95 m arasında değişen kirişler birbirine bağlanarak birlikte çalışmaları için 25-30 cm arası tabliye betonu dökülür. Yerinde dökme işlemini daha kolay gerçekleştirebilmek için kirişlerin üst flanşları bitişik nizam yapılır. Ayrıca mesnet bölgelerinde kalınlığı 0,50 m ile 1,0 m arasında değişebilen enleme kirişleri ile üstyapı bütünlüğü sağlanmaya çalışılır.

Köprü platform genişliğinin artması ya da hat sayısının artması durumunda, kullanılması gereken kiriş sayısı ve buna bağlı olarak mesnet sayısında artış görülmektedir. Ek olarak, öngermeli I kirişlerin üstyapı sistemi olarak tercih edilen demiryolu köprülerinde ayaklar arası mesafe 30 metreyi geçememektedir. Açıklığın 30 metreyi geçmesi durumunda kirişte oluşan gerilmeler, izin verilen değerlerin üzerine çıkmaktadır. Bunun sonucunda daha derin kiriş kullanımı ile birlikte demiryolu üstyapı sistemi ağırlaşmaktadır.

Ardgermeli kutu kesit köprülerde ise iki ayak arası mesafe 40-45 m olabilmektedir. Ayaklar arasına kalıp kurulup kutu kesit betonu döküldükten sonra yerinde germe işlemi gerçekleştirilir. Ardgerme işlemi tamamlandıktan sonra kalıplar çıkarılıp bir sonraki açıklığa geçilir. Tüm üstyapı betonu beraber döküldüğü için kesitin her türlü etkiye karşı birlikte çalışacağı kabul edilmektedir.

Ülkemizde inşa edilen tarihi niteliğe sahip demiryolu köprülerinden bazılarına ait yapım teknikleri ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

TCDD 199+325 Çelik Demiryolu Köprüsü; Basmane-Dumlupınar güzergâhında, Uşak ili sınırları içerisinde, Alaşehir-Eşme hattında, yüksekliğin 50 metre olduğu vadi geçidinde 19. yüzyılda inşa edilmiştir.

Resim 4.9: 199+352 Çelik Demiryolu Köprüsü

Köprünün ilk projesi 1896 yılında Fransızlar tarafından yapılmış olup 30 metrelik 5 adet kafes kiriş ve farklı yüksekliklere sahip 4 adet çelik kolon ayağından oluşmaktaydı. Köprü, Kurtuluş Savaşı Dönemi'nde hasar görmüş ve zaman içinde vadi içerisine doğru dar yarıçaplı bir normal hat güzergâhı yapılmıştır. Sonraki dönemde bakım ve onarımı yapılan köprü, 30 metreden oluşan 6 adet kafes kiriş ve farklı yüksekliklere sahip 5 adet çelik kolon ayağından oluşacak şekilde inşa edilmiştir (Resim 4.9).

Köprü, şist kayalık dar bir vadide olup yağmurlu dönemlerde altından sel sularının geçişini sağlamaktadır. 1960'lı yıllarda gerçekleşen yangın sonucu hasar gören köprü 1963 yılında yapılan projelendirme doğrultusunda Afyon yönüne doğru ilk iki açıklığı ve bir kolon ayağı yenilenmiştir. Köprünün yatay kurp yarıçapı 300 metre, düşey kurp eğimi %2,5 olarak yapılmıştır.

TCDD 199+352 Çelik Demiryolu Köprüsü'nün toplam uzunluğu 180 metre, genişliği 3,2 metre ve her bir kafes kirişin yüksekliği 4,5 metre yapılmıştır. Her bir açıklık iki ana makastan oluşmaktadır. Birbirlerine enleme kirişleri ve diyagonal elemanlarla bağlanmıştır. Makaslar basit kiriş mantığı ile çalışmakta olup makasın bir ucunda sabit, diğer ucunda hareketli mesnetler bulunmaktadır. Köprünün 5 çelik kolon ayağı dört noktadan kâgir mesnetler üzerine oturtulmuştur. Bu kâgir mesnetlerin ikisi bir yönde hareketli, biri iki yönde hareketli ve bir tanesi de sabit mesnet olarak tasarlanmıştır. Sabit mesnet uzun rotlar ile düşeyde kâgir temeller ankrajlanmıştır.

TCDD Kütahya Demiryolu Köprüsü; 41 metre uzunluğunda çelik kafes kirişli köprü, perçinli birleştirme ve basit mesnetli inşa edilmiştir. TCDD Alayunt-Balıkesir hattında Km 104+509'da yer almaktadır. Alayunt-Balıkesir hattı Km 106+569'da bulunan kemer beton köprü, toplam 32 metre açıklığında olup 1930 yılında inşa edilmiştir. Köprünün debuşesi yaklaşık 7 m'dir.

TCDD Manisa-Uşak-Dumlupınar-Afyon demiryolu hattı üzerinde inşa edilen tek açıklıklı basit mesnetli çelik köprü, iki ana kiriş tarafından taşınmaktadır. Ana kirişlere enleme kirişleri ve enleme kirişlerine de boylama kirişleri bağlanmaktadır. Boylama kirişlerinin üzerine çelik tabla yardımı ile balast konulmuştur. Traversler balast taşlarının üzerine yerleştirilmiş, üzerine raylar inşa edilmiştir. Böylece tren yükleri ana kirişlere sırasıyla aktarılmakta ve ana kirişlerden de mesnetlere aktarılmaktadır. Köprü boyu 22,4 m, ana kiriş yüksekliği ise 1,82 m'dir. Ana kiriş yapma bir kiriştir ve çelik plakalar ile korniyerlerin perçinler yardımıyla birleştirilmesiyle inşa edilmiştir.

Köprü boylama ve enleme elemanları IPN450, IPN300 ve UPN240 hadde profillerinden oluşturulmuştur. Köprü üzerinde inşa edilen çelik tabla ve balast taşları aynı zamanda köprünün yanal rijitliğine katkı sağlamakta ve köprü kütlesini arttırdığı için köprünün dinamik davranışını etkilemektedir.

SIRA SİZDE

Demiryolu köprü elemanlarını ve bu elemanların yapımında kullanılan ana malzemeleri aşağıdaki boşluğa yazınız.

4.2 UYGULAMA

2(6) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ

Bu çalışmanın amacı, demiryolu köprülerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Demiryolu köprülerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Forth Demiryolu Köprüsü

Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü

İstenenler

Verilen demiryolu köprülerinin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, demiryolu köprülerinin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (ulusal, uluslararası üniversiteler ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Fort Demiryolu Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Fort Demiryolu Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Fort Demiryolu Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
4. Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
7. Fort Demiryolu Köprüsü ve Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü sunumu için derlenen veriler, sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Fort Demiryolu Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Fort Demiryolu Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Fort Demiryolu Köprüsü'nün yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
4	Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü'nün yapım dönemi ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Fort Demiryolu Köprüsü ve Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu Hızlı Tren Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Karayolu köprülerinin inşa amaçlarını araştırınız ve edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.3. KARAYOLU KÖPRÜLERİ

Üzerinden karayolunun geçirilmesi amacıyla inşa edilen köprülere **karayolu köprüsü** adı verilir. Karayolu köprüleri; öngerilmeli prefabrike kirişli betonarme, yerinde dökme betonarme, yerinde dökme ardgerme kutu kesitli betonarme, çelik kirişli, çelik kafes kirişli, kompozit (çelik+betonarme), konsol, kemer, asma, gergin çelik askılı kablo vb. olarak inşa edilmektedir.

4.3.1. Karayolu Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

Türkiye Cumhuriyeti kurulduğunda Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden kalan birçok köprü bulunmaktaydı. Bu köprüler konum, biçim, yapım tekniği, kemer formu, kullanılan malzeme vb. bakımlardan farklı çeşitlilikte yapılmıştır.

Cumhuriyet Dönemi köprü faaliyetlerinde, Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün koyduğu **"günde 2 metre köprü"** ilkesi ile hareket geçilmiştir. Öncelikle iş gücüyle ve az masrafla yapılan köprüler tercih edilmiştir. Yurdun ilelebet yerinde durabilecek eserlerle bezenmesi, yurdun bütün parçalarının birbirine bağlanması ve günden güne artan ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla 1923 yılından itibaren demiryolları ve şoselerle beraber büyük şose köprülerinin yapımına hızla devam edilmiştir.

Cumhuriyet Dönemi'ne kadar olan dönemlerde karayolu köprüleri genellikle taş kemer ve ahşap köprüler olarak inşa edilmiştir. Cumhuriyet Dönemi ile birlikte taş ve ahşap köprülerle birlikte demir, beton ve betonarme köprüler yapılmaya başlanmıştır. Cumhuriyet Dönemi'ndeki en önemli gelişme, yeni köprü biçimlerinin inşa edilmiş olmasından çok bu alana ilişkin yeni mühendislik bilgisinin ülkemize transfer edilmesine başlanmış olmasıdır. Yeni mühendis mektepleri, bu bilgilerin ülkeye aktarılmasında başrol oynamıştır.

Gazi Mustafa Kemal Atatürk, yurtdışında yayınlanan tüm dergi ve kitapların dilimize çevrilmesi, okullarda okutulması ve yurtdışındaki konferanslara katılımı konusunda çok titiz davranmıştır. 1911 yılında Ziya Bey, Mühendis Vigman'dan **Kargır [kâgir] Köprüler** kitabının çevirisini yapmış; 1922 yılında Mühendis Fikri Bey, **Ahşap Köprüler** ve **Demir Köprüler** kitaplarını yazmıştır. Bu yıllar içerisinde betonarme bilgisi de ülkemize girmiş ve köprü uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır.

Demiryolu ve karayolu köprü inşasında önemli görülen ve üzerine düşülen konu demiryolu ve karayolu inşasının Türk mühendisi, Türk işçisi ve yerli imkânlarla inşa edilmesi isteğidir. Bu nedenle **Demir Köprüler Atölyesi** kurulmuştur. Geçmiş dönemlerde, yabancılar tarafından yapılmış olan işlerin birçoğu bu atölyede, Türk işçiler tarafından yapılmaya başlanmıştır. 40 metre açıklığa kadar demir köprü ve büyük demir hangar, demir çatı imalatı, montaj ve ripajını yapabilen Demir Köprüler Atölyesi, dönemin demir inşaatı için yüksek iş hacmi ve teknik kabiliyeti olan tek teşebbüs olarak faaliyet gerçekleştirmiştir. 1923-1933 yılları arasında yapılan köprüler malzeme ve formlarına göre; bowstring ve kemer şeklinde betonarme köprüler, taş kemer köprüler, çelik ve ahşap köprüler olarak sınıflandırılabilir.

1928 yılında inşası tamamlanan ve hizmet veremeye başlayan Kirazlık Köprüsü ve Niksar Köprüsü kâgir malzemeden kemer formda, Zigdi Köprüsü ahşap malzemeden, Borçka ve Vezirhan köprüleri çelik malzemeden ve diğer köprüler ise çeşitli formlarda betonarme malzemeden inşa edilmiştir. Malzeme tercihlerinde; geçilen vadinin biçimi, malzemenin teminindeki kolaylıklar ve maliyet etkili olmuştur. 1935 yılında inşası tamamlanan, yaya ve taşıt trafiğinin sağlanması amacıyla hizmet vermeye başlayan, çelik (demir) malzemeden yapılmış olan, 113 metre uzunluğundaki Borçka Köprüsü dönemin tek açıklıkla geçilen en büyük köprüsüdür. Köprü çelik elemanları perçinle birleştirilmiştir (Resim 4.10).

Resim 4.10: Artvin, Borçka Köprüsü

1934-1950 yılları arasında yapılan 170 adet büyük köprü ile birlikte 1923 yılından 1950 yılına kadar inşa edilen toplam köprü sayısı 210'a ulaşmıştır. 1923-1933 yılları arasında bayındırlık hizmetleri hızla ilerlemiş, özellikle demiryolu hatlarının yapımına özen gösterilmiş ve buna bağlı olarak da köprü inşaatları ön plana alınmıştır.

Anadolu'da Osmanlı Devleti'nden kalan demiryollarının iyileştirilmesi ve yenilerinin inşasına 1924 yılında başlanmıştır. 22 Nisan 1924 tarihi, Millî Demiryolu Politikası'nın başlangıcı olarak kabul edilmektedir. 1927 yılına kadar yavaş ilerleyen demiryolu inşaatları, 1927 yılından itibaren orta vadeli kredi sağlayan yabancı inşaat şirketlerinin devreye girmesi ile hız kazanmış ve inşa edilmeye çalışılan hat sayısı da arttırılmıştır.

Köprü inşa çalışmalarında, demiryolu hatlarına bağlanan karayolu güzergâhları üzerindeki köprülerin yapımına öncelik verilmiştir. Mevcut demiryolu ağının ülkemizin batı ve orta kesimlerinde yaygın olması nedeniyle inşa edilen karayolu köprüleri bu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bir başka ifadeyle köprülerin üzerinde inşa edildiği yollar, demiryolları ile bir bütünlük içinde ele alınmıştır.

Ülkemizde yapıldıkları döneme göre önemli bazı karayolu köprülerine ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Atatürk Köprüsü (Unkapanı Köprüsü): İstanbul'da tarihi yarımadayı Beyoğlu yakasına bağlayan köprüdür. Unkapanı Atatürk Köprüsü adıyla da anılmaktadır. Fatih ilçesine bağlı Unkapanı Küçükpazar bölgesiyle Beyoğlu ilçesine bağlı Azapkapı semtlerini birbirine bağlamaktadır. Aksaray semtinden başlayarak Unkapanı'na gelen Atatürk Bulvarı'nın devamı niteliğindedir. 1875 yılında bir Fransız şirketine ahşap köprü olarak yaptırılan Hayratiye Köprüsü yerine metalden yeni bir köprü inşa edilmiştir. 780 m uzunluğunda ve 18 m genişliğinde olan yeni köprü 1912 yılına kadar hizmete devam etmiştir. 1912 yılında bu köprü sökülüp yerine Galata Köprüsü olarak adlandırılan Eminönü-Karaköy Köprüsü yapılmıştır. 1936 yılında çıkan şiddetli fırtına sonucunda bu köprü yıkılmıştır. Yıkılan köprünün yerine 1940 yılında günümüzde kullandığımız Atatürk Köprüsü inşa edilmiştir.

Atatürk Köprüsü, tıpkı ilk inşa edilen Hayratiye Köprüsü gibi ahşaptandır. Yirmi dört duba üzerine oturtulmuş olan ahşap köprünün zemini 1954 yılında asfalt ile kaplanmıştır. 477 m boyunda ve 25 m eninde olan köprü hizmet vermeye devam etmektedir. Geliş ve gidiş yönlerinde ayrıca yaya yolları bulunmaktadır. Köprünün altından küçük gemi, vapur vb. geçişi için gözler bulunmaktadır. Büyük gemiler için ise açılır kapanır çelik tabliyelerden oluşan baskül kanat sistemi mevcuttur (Resim 4.11).

Resim 4.11: İstanbul, Atatürk Köprüsü

Birecik Köprüsü: Şanlıurfa'nın Birecik ilçesinde bulunan bir kemer köprüdür. Köprü, Fırat Nehri üzerinde Birecik ile Gaziantep'in Nizip ilçelerini birbirine bağlayan D 400 karayolunun bir parçasıdır. Köprü, 695 m uzunluğunda ve 11 m genişliğindedir; her iki yönde yayalara 1 m yaya yolu ayrılmıştır. Nehir üzerinde beş kemer bulunmaktadır. 1956 yılında Karkamış Köprüsü ve Uzun Köprü'den sonra Türkiye'nin üçüncü en uzun köprüsü olarak inşa edilmiştir. Birecik Köprüsü, yapıldığı tarih itibariyle Türkiye'nin en uzun betonarme karayolu köprüsüdür.

Resim 4.12: Şanlıurfa, Birecik Köprüsü

Birecik Köprüsü, kemer taşıyıcı sisteme sahip ilk kemer kısım ve kiriş taşıyıcı sisteme sahip ikinci kısım olmak üzere başlıca iki kısma ayrılmaktadır. Birecik tarafında kalan ilk kısım alttan kemer taşıyıcı sisteme sahip olup toplam 5 kemerden oluşmaktadır. Köprünün Nizip tarafında kalan ikinci kısmı ise değişken kesitli kirişli taşıyıcı sisteme sahip olup toplam 14 açıklıktan oluşmaktadır. Köprünün ayakları; kolon, kiriş, kemer ve tabliyesi betonarme olarak inşa edilmiştir (Resim 4.12).

Haliç Köprüsü: İstanbul'da Haliç üzerinde Ayvansaray ile Halıcıoğlu arasında uzanan köprüdür. 1971 yılında Boğaziçi Köprüsü çevre yolu ve Haliç'e üçüncü köprü inşası kararı alınmıştır. Boğaziçi Köprüsü çevre yollarının Haliç geçişini sağlayan bu köprü, betonarme ayaklar üzerinde inşa edilmiştir. Köprünün tabliyesi betonarmedir. Köprü, 10 Eylül 1974 tarihinde inşası tamamlanarak hizmete açılmıştır. İnşa edilen Haliç Köprüsü'nün yanına 1995 yılında trafik yoğunluğu nedeniyle iki adet ve ikişer şeritli çelik köprüler inşa edilmiştir. Köprü uzunluğu 995 m, genişliği 32 m ve deniz yüzeyinden yüksekliği 22 m'dir (Resim 4.13).

Resim 4.13: İstanbul, Haliç Köprüsü

15 Temmuz Şehitler Köprüsü (Boğaziçi Köprüsü): İstanbul Boğazı'na inşa edilen ilk asma köprüdür. Halk arasında Birinci Köprü olarak adlandırılan köprünün adı, 15 Temmuz 2016 yılında darbe girişiminde şehit olan vatandaşlarımıza atfen 15 Temmuz Şehitler Köprüsü olarak değiştirilmiştir. Karadeniz ile Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan İstanbul Boğazı üzerinde yer alan üç asma köprünün ilk inşa edilenidir. Köprü ayakları Avrupa Yakası'nda Ortaköy, Anadolu Yakası'nda Beylerbeyi semtlerinde bulunmaktadır.

Köprü toplam uzunluğu 1560 m olup Boğaz'ın iki sahilinde karada yer alan kuleleri arasındaki 1074 m'lik orta açıklığı asma bir sistemdir. İki yanlardaki 231 m ve 255 m'lik yaklaşım açıklıkları ise askılı olmayıp aşağıdan mesnetli viyadük şeklinde düzenlenmiştir. Boğaziçi Köprüsü, İngiliz standartları esas alınarak projelendirilmiş ancak yük kabulleri daha yüksek alınmıştır.

Resim 4.14: İstanbul, 15 Temmuz Şehitler (Boğaziçi) Köprüsü

Köprünün projelendirilmesinde klasik asma köprülere göre farklılık gösteren iki özellik bulunmaktadır. Bunlardan ilki; köprünün rijitlik kirişinin kafes kiriş şeklinde tertibi yerine, içi boş kutu en kesitli aerodinamik biçimli bir dizayn uygulanarak gerek asma yapının hafifliği, gerekse rüzgar etkisinin 1/3 oranında azalması nedeni ile kule temel ve ankraj projelendirilmesinde ve bakım çalışmalarında tasarruf sağlanmasıdır. İkinci farklı özelliği ise askılarının eğik olarak tertiplenmesi ve bu şekilde köprünün yapısal söndürme yeteneğinin arttırılmış olmasıdır.

Köprü, 30 Ekim 1973 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşunun 50. yıldönümü şerefine devlet töreniyle hizmete açılmıştır. İnşa edildiği ve hizmete alındığı tarihte dünyanın en uzun dördüncü asma köprüsü olarak kayıtlara geçmiştir (Resim 4.14).

Fatih Sultan Mehmet Köprüsü: Halk arasında "İkinci Köprü" olarak adlandırılan köprü, İstanbul'da Kavacık ile Hisarüstü arasında Asya ile Avrupa'yı Boğaziçi Köprüsü'nden sonra ikinci kez bağlayan asma köprüdür. Köprünün ankraj blokları arasındaki uzunluğu 1510 m, orta açıklığı 1090 m, genişliği 39 m ve denizden yüksekliği 64 m'dir. Günümüzde dünyanın en büyük çelik asma köprüleri arasında 14. sırada yer almaktadır. Köprü, 3 Temmuz 1988 tarihinde hizmete açılmıştır.

Edirne-Ankara arasındaki TEM (Trans European Motorway) otoyolunun en önemli büyük sanat yapısıdır. Asma köprünün kule temelleri Boğaz'ın iki yakasındaki yamaçlara yerleştirilmiş olup kuleler tabliye mesnet seviyesinden başlamaktadır. Köprü 160 km/saat esen rüzgâra dayanabilecek şekilde hesaplanmıştır.

Köprünün iki ucunda, taşıyıcı ana kablolardan gelen çekme yüklerini kaya zemine aktaran, planda 50x60 m boyutunda ve 35 m derinlikte masif betonarme birer ankraj blok yer almaktadır. Köprü kule temelleri, planda 14x18 m boyutunda ve ortalama 6 m yüksekliğindedir. Ancak zemin durumuna göre yer yer kademeli olarak proje kotundan 20 m daha derine inilmiştir. Köprünün ana bloklarına mesnet teşkil eden kulelerin temel betonu,üst kotundan itibaren 102,10 m yüksekliğinde olup yüksek mukavemetli berkitmeli çelik panellerin birbirine bulonlanarak birleştirilmesiyle 8 kademe hâlinde monte edilmiştir. Montajda 450 tonluk ve 650 tonluk kreynler kullanılmıştır (Resim 4.15).

Resim 4.15: İstanbul, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü

Yavuz Sultan Selim Köprüsü: Halk arasında "Üçüncü Köprü" olarak adlandırılan köprü, İstanbul Boğazı'nın Karadeniz'e bakan kuzey tarafında inşa edilmiştir. Köprünün adı, dokuzuncu Osmanlı padişahı ve ilk Osmanlı halifesi olan I. Selim'e atfen verilmiştir. Köprü güzergâhı, Avrupa Yakası'nda Sarıyer'in Garipçe Mahallesi ile Anadolu Yakası'nda Beykoz'un Poyrazköy semti arasında yer almaktadır. Yavuz Sultan Selim Köprüsü; 59 metre genişliği ile dünyanın en geniş, 322 metre kule yüksekliği ile eğik askılı köprü sınıfında dünyanın en yüksek, tüm sınıfları arasında ise ikinci en yüksek kulesine sahip asma köprüdür.

Yavuz Sultan Selim Köprüsü, 1408 metrelik ana açıklığı ile üzerinde hem karayolu hem raylı sistem tasarlanan dünyanın en uzun, 322 metreyi aşan kule yüksekliği ile dünyanın en yüksek kulesine sahip asma köprüsüdür. Hibrit (Gergin Eğik Askı+Asma) yapıda tasarlanan köprü üzerinde 8 şeritli karayolu ve 2 şeritli demiryolu planlaması yapılmıştır. Estetik ve teknik özellikleriyle dünyanın sayılı köprüleri arasındadır. Deniz üzerindeki uzunluğu 1408 metre, toplam uzunluğu ise 2 bin 164 metre olan Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nde 15 kilometre otoyol ve bağlantı yolu, iki şeritli tren yolu, sekiz şeritli karayolu ve yaya yürüyüş yolu bulunmaktadır. Köprü ayakları; deniz seviyesinden 330 metre, zemin başlangıcından bir ayak 322 ve diğer ayak 320 metre yüksekliğindir. Köprüde en ağırı 923 tonluk olan 53 çelik tabliye kullanılmıştır. Köprü, 26 Ağustos 2016 tarihinde hizmete açılmıştır (Resim 4.16).

Resim 4.16: İstanbul, Yavuz Sultan Selim Köprüsü

Osmangazi Köprüsü (İzmit Körfez Köprüsü): İzmit Körfezi'ndeki Dilovası Dil Burnu ile Altınova Hersek Burnu arasında inşa edilen asma köprüdür. Toplam uzunluğu 2907 m olan köprünün kuzey ve güney yaklaşım viyadükleri de dâhil edildiğinde karadan karaya uzunluğu 4540 metreye ulaşmaktadır.

Köprünün tabliye genişliği 35,93 m, yüksekliği ise 4,75 m'dir. Köprüde 3,65 m genişliğinde üçer gidiş ve geliş olmak üzere toplam 6 şeritli yol bulunmaktadır. Köprünün kule yüksekliği 252 metredir. 1550 m orta açıklığı ve 2682 m toplam uzunluğu ile dünyanın dördüncü en uzun açıklıklı asma köprüsüdür. Köprü 30 Haziran 2016 tarihinde hizmete açılmıştır (Resim 4.17).

Resim 4.17: Osmangazi Köprüsü

1915 Çanakkale Köprüsü: Çanakkale'nin Lapseki ile Gelibolu ilçeleri arasında inşa edilen asma köprüdür. Çanakkale Boğazı'nın ilk ve Marmara Bölgesi'nin beşinci asma köprüsüdür. Malkara-Çanakkale Otoyolu'nun bir parçası olan köprü, 2023 metre orta açıklık uzunluğu ile Japonya'daki Akashi Kaikyo Köprüsü'nü geçerek dünyanın en uzun orta açıklığına sahip asma köprüsü olmuştur. Köprünün orta açıklığı Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşunun 100. yılına atfen 2023 metre olarak yapılmıştır.

Köprü; 770 m yan açıklıkları, 365 m ve 680 m yaklaşım viyadükleri ile toplam 4608 m uzunluğundadır. Her iki yönde üçer trafik şeridi bulunmaktadır. Köprü tabliyesi 45,06 m genişlikte ve 3,5 m yükseklikte tasarlanmış olup tabliyenin her iki tarafında, bakım onarım amaçlı yürüme yolları-bakım şeridi 3 m olarak yapılmıştır. İki çelik kulesi olan köprünün kule yüksekliği 318 metredir. Kule yüksekliği ise Osmanlı ordusunun Çanakkale Savaşı'nda 18 Mart 1915'te aldığı galibiyete atfen, üçüncü ayın on sekizinci günü anlamına gelecek şekilde 3 ve 18 sayılarından oluşturulmuştur.

Köprü kulelerinin üzerine Seyit Onbaşı'nın Çanakkale Savaşı sırasında tek başına kaldırdığı top mermilerini temsilen 16 metre uzunluğunda ve 78 ton ağırlığında mermi figürleri yerleştirilmiştir. Böylece köprünün toplam yüksekliği 334 metreye ulaşmıştır. Köprü, dünyanın en yüksek kulelerine sahip asma köprüsü olmuştur. Kulelerde kullanılan kırmızı ve beyaz renkler, Türk bayrağına atfen seçilmiştir. Köprü, 18 Mart 2022 tarihinde hizmete açılmıştır (Resim 4.18).

Resim 4.18: 1915 Çanakkale Köprüsü

4.3.2. Karayolu Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Geçmiş dönemlerde yaya, hayvan, at arabası, top arabası vb. geçişini sağlamak amacıyla inşa edilen tarihi köprülerin büyük çoğunluğu kâgir köprülerdir. Kâgir köprüleri oluşturan ana taşıyıcı elemanlar sırasıyla temeller, tempan duvarlar, kemerler ve döşemelerdir. Bir köprüde, taşıyıcı elemanlar dışında baba taşı, çörten, korniş, korkuluk, hafifletme (boşaltma) gözü, hafifletme odacığı, selyaran, seyir terası, kitabe gibi mimari ögeler de bulunabilmektedir.

Selçuklu Dönemi'nde inşa edilen köprülerin boyutları büyük bloklu antik dönem köprülerine oranla küçülmüştür. Yapımda çoğunlukla taş kullanılmış olup bağlayıcı olarak kireç ya da Horasan harcı kullanılmıştır. Demir kullanımı az olsa da harcın yanında kritik noktalarda demir kelepçeler kullanılmıştır. Birçok bezemeye ya da motife sahip olan köprüler yanında yalın görünümlü olanları da mevcuttur. Bu dönem köprülerinde çoğunlukla sivri kemer uygulanmıştır. Sivri kemer formu yanında yuvarlak kemer formu uygulamaları da yapılmıştır. Sivri kemer formu uygulamasıyla daha zarif ve ince hatlar oluşturulmuştur. Selçuklu dönemi köprülerinde tempan duvar, korniş, korkuluk ayrımı Osmanlı dönemine kıyasla belirgin değildir.

Osmanlı Dönemi'nde 19. yüzyıldan Erken Cumhuriyet Dönemi'ne kadar köprü inşası pek fazla görülmemektedir. Karayolu ulaşımı, üzerine inşa edilmiş olan mevcut köprüler üzerinden devam etmiştir. Bu dönemde sayısı azda olsa sade strüktürlü yeni demiryolu köprüleri yapılmıştır. Ahşap köprülerin benzer sadelikte yapılması sürdürülürken kâgir köprülerde yay kemer kullanımına başlanmıştır.

Özellikle 1927 yılından itibaren Cumhuriyet Dönemi'nde kâgir ve ahşap köprülerin yanında betonarme ve çelik köprüler inşa edilmeye başlanmıştır. Betonarme ve çelik malzeme kullanımı ile köprü yapımında önemli bir mühendislik dönemi ve atılımı başlamıştır. Su akışının sürekli olduğu veya köprü inşaatının suyun içinde yapılması gerektiği zamanlarda, teknik açıdan zor ve maliyetli bir yöntem olsa da batardo yapımı zorunluluk arz etmiştir. Batardo, köprü ayağının yapımında içine suyun giremeyeceği geçici bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Farklı bir uygulama da Mimar Sinan'ın nehrin içine önce adacıklar yaparak başladığı köprü yapımlarına örnek verilebilir. Mimar Sinan, oluşturulan bu adacıkların (kesonlar) yalıtımını yaparak, su geçirmezliği sağladıktan sonra içlerini boşaltarak köprü ayak temellerini sağlam zemine oturtup sağlıklı bir şekilde inşa etmiştir.

Selçuklu ve Osmanlı döneminde çok açıklıklı köprülerin temel inşaatlarında mevcut zeminin sağlamlığına göre birçok çözüm üretilmiştir. Zayıf ve gevşek zeminlerde ahşap kazıklar üzerine, zemin sağlam ise 2-3 sıralı ahşap ızgaralar üzerine temel sistemi oluşturulmuştur. Ahşap ızgaralı temel çözümlemesine, ahşap (kızılçam) ızgara tabakasının olduğu ve ayakların bu tabakanın üzerine yerleştirildiği örnekler bulunmaktadır. Temel; içerisi taş ve kireç harcı dolgulu, birbirine kenetli taşlarla bağlanmış olan taş sandığın üzerine 2 veya 3 sıra ahşap ızgara yerleştirilerek inşa edilmiştir.

Temel sistemi uygulamalarının en iyi örneklerinden olan Büyükçekmece Kanûnî Sultan Süleyman Köprüsü'nün yapımına başlayan Mimar Sinan, önce zemini incelemiş ve gölün batak olan tarafını bırakarak denize yakın sığ ve sağlam tarafı seçmiştir. Ayakların yapılacağı yerler batardo ile çevrilmiş, içlerindeki su boşaltıldıktan sonra şahmerdanla kazıklar çakılmış ve kazıkların üzerine taş ayaklar örülmüştür. Ayakları oluşturan büyük taş bloklar birbirlerine demir kenetlerle bağlanmış ve aralarına kurşun akıtılarak sabitlenmiştir. Kaynaklarda kazık boyutları, **iki üç âdem boyu** olarak belirtilmiştir. Bu konuda ayrıntılı bilgi, İzmit yakınında Sinan Boğazı'nda bulunan bir köprünün 1552 yılında yapılan onarımına ait muhasebe defterinden edinilmiştir. Muhtemelen yıkılmış olan köprü ayaklarının yeniden yapımı için önce uçları sivriltilen 5, 6, 7 ve 8 zirâ uzunluktaki (yaklaşık olarak 3,75-6 m) kazıklar şahmerdanla zemine çakılmıştır. Çakılan kazıkların cinsi belirtilmemiştir. Toplam 39980 adet kazıktan 35891 adedi 5 zirâ uzunlukta yapılmıştır.

Tempan (kılıf) duvarlar, köprü gövdesini memba ve mansaptan sınırlayan taşıyıcı duvarlardır. Bölgesel özelliğe göre kesme taş, kaba yonu ya da moloz taştan yapılır. Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde ağır taş, tuğla ve blok malzemelerin yukarı kaldırılmasında çıkrık, makara vb. sistemler kullanılmıştır. Kemer yapımında işi basitleştirmek için bazen taş plakalar, bazen de tuğla kullanılmıştır. Ancak asıl kemerin yapımında merkezleme içe doğru kaydırılmış ve birkaç aşamadan sonra tonoz oluşturulmuştur.

Köprülerde nehir yatağının genişliğine göre kemer boyutları azalıp çoğalmaktadır. Anadolu'da en çok görülen ana kemerli dik çıkış ve inişli köprü çözümleridir.

Selçuklu ve Osmanlı dönemi köprülerinde sivri kemer yanında yuvarlak ve basık sivri kemerlerin de kullanıldığı görülmektedir. Dönemin köprülerinde ana göz, sivri formda inşa edilirken boşaltma gözlerinin dairesel formda olduğu örnekler mevcuttur. Kemerler oluşturulurken harç, demir, kurşun ve ahşap gibi bağlantı elemanları kullanılmıştır. Üzerinden insanların, hayvanların ve araçların geçtiği köprü tabliyelerinde malzeme olarak kaba yonu, kesme taş, moloz taş (dere taşı), ahşap vb. kullanıldığı görülmektedir.

SIRA SİZDE

Türkiye Cumhuriyeti'nin ilk yıllarında kurulan Demir Köprüler Atölyesi'nin kuruluş amacını ve faaliyetlerini aşağıdaki boşluğa yazınız.

BİLGİ KUTUSU

Zirâ ölçü birimi, parmak uçlarından dirseğe kadar olan kısma denk düşen uzunluk biriminin adıdır. Türklerin kullandığı eski ölçümü birimlerindendir. Fizyolojik olarak 57-90 cm arasında değişmektedir.

Türk lehçelerinde arşun, arçın, arjın ve alçin şeklinde yer alan kelime, Farsça'da âreş, reş anlamına gelmektedir. Dirsekle orta parmak ucu arasındaki kısmı ifade eder; Arapça'sı zirâ'dır (çoğulu ezrû', zur'ân). Arşın, Türkçe'den Rusça'ya ve Balkan dillerine geçmiştir.

Arşın veya zirâ, ad ve uzunlukları zaman ve mekâna göre çeşitlilik arz ettiği gibi ölçülen nesnelerin cinsine göre de farklılık göstermekte ve dolayısıyla uzunluklarının tespiti hususunda zorluklarla karşılaşılmaktadır.

Mimar Arşını: Bina arşını veya zirâi mi'mârî de denilen bu ölçü birimi, adından da anlaşıldığı üzere mimarlık işlerinde kullanılmıştır. Mimar arşınının ne zamandan beri kullanıldığı bilinmemektedir. Bu arşının ilk dönem Osmanlı mimarisindeki değeri, doğru bilgi ihtiva eden belgelerle veya hangi döneme ait olduğu bilinen bir arşın ile kıyaslanarak net bir şekilde ortaya konabilmiş değildir. Sedefkâr Mehmed Ağa'nın Kitâb-ı Mi'mâriyye adlı eserinde arşının bölümlerini açıklayıcı bilgiler verilmekteyse de değeri hakkında herhangi bir kayda rastlanmamaktadır.

Ekrem Hakkı Ayverdi'nin yayımladığı Süleymaniye Camisi inşaatı ile ilgili kayıtlarda XVI. yüzyıl mimar arşınının değerini 73,3333 cm olarak vermektedir ki bu ölçüye göre 1 parmak = 3,05555 cm ve 1 kadem = 36,6666 cm demektir.

Zamanla çeşitlerinin çoğalması ve dolayısıyla ihtilâfların artması üzerine III. Selim (1789-1807) tarafından standart ölçü olmak üzere abanoz ağacından bir mimar arşını yaptırılmış ve Mühendishâne-i Berrî-i Hümâyun'a konmuştur. Bu arşının bir yüzü, yaygın sisteme uygun olarak her biri on iki hattan ibaret olan 24 parmağa, diğer yüzü de her biri on noktadan oluşan onar hatlık yirmi eşit kısma bölünmüştür. Bu da mimar arşınının, Avrupa ülkelerinden bazılarında o tarihlerde kullanılan kademin iki katı olduğunu göstermektedir. Çünkü o döneme ait kademlerin çoğu, her biri on noktadan ibaret olan onar hatlık on parmak uzunluğundaydı. Ayrıca Osmanlılar'da, bir mimar arşınının yarısı olan 12 parmaklık uzunluğa kadem (ayak) adı verilmiş ve bu ölçü kazı işlerinde kullanılmıştır.

XVIII-XIX. yüzyıllara ait üç mimar arşını ile iki kadem örneği Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi'nde muhafaza edilmektedir.

1841 yılında mimar arşınının değeri platin bir ayar arşını ile 75,7738 santimetrelik bir standarda bağlanmıştır. As katları kadem, parmak, hat ve nokta (1 mimar arşını = 2 kadem; 1 kadem = 12 parmak; 1 parmak = 12 hat; 1 hat = 12 nokta) olan mimar arşınının uzunluğu daha sonraki tarihlerde yapılan düzenlemelerle 75,775 cm kabul edilmiş ve küsuratı yuvarlanarak 75,8 cm'ye tamamlanmıştır.

Günümüzde betonarme, çelik ve kompozit vb. karayolu köprülerinin inşasında en çok kullanılan yapım teknik ve yöntemleri aşağıda sıralanarak açıklanmıştır.

- Ardgermeli Köprüler
- İtme Sürme Köprüler
- Dilimsel Dengeli Konsol Köprüler
- Eğik Askılı Köprüler

Ardgermeli Köprüler: Ardgerme sisteminin yaygınlaşması sonucu pek çok köprü bu yöntemle inşa edilmeye başlanmıştır. Ardgerme, köprülerde çok büyük açıklıkların geçilmesini ve kiriş sürekliliğini sağlar. Bu yöntem ile estekik olarak farklı sanat yapıları yapılabilir. Köprü kirişinde oluşabilecek çatlaklar azalır. Ardgerme yönteminde halatlar kılıflar içerisinde grout ile korunduğu için korozyon ve dış etkenlere karşı direnci çok yüksek olur. Köprü elemanlarının kesitleri küçüleceğinden ekonomik olarak avantaj sağlar ve köprünün deprem performansını arttırır.

Yerinde dökme ardgermeli köprüler, en yaygın olarak kullanılan köprü yapım metotlarındandır. Köprü tabliyesinin, köprü uzunluğu ya da çevresel etkiler göz önüne alınarak bir defada ya da parçalar hâlinde standart kalıp ve iskeleler kullanılarak dökülmesiyle üretilmektedir. Tabliye, genellikle genleşme derzi bırakılmadan bir bütün hâlinde üretilebilmektedir. Bu sayede oluşturulan hiperstatik sistem ile beton ve ardgerme halatları verimli olarak kullanılmakta ve malzeme tasarrufu sağlanmaktadır.

İtme Sürme Yöntemi Köprüler: Uzunluğu 40-60 m arasında değişen açıklıklar geçilerek ve uzunluğu 800 m'ye kadar olan sürekli tabliyeli köprüler inşa edilebilmektedir. Ayrıca geçici ayak kullanımı ile açıklık uzunluğu daha da arttırılabilmektedir.

Köprü ayaklarının yapımının ardından kenar ayaklardan birinin ya da ikisinin arkasında prekast döküm sahası kurulur. Tabliye, tek kalıp kullanılarak segmentler hâlinde, dayanaklar üzerine kurulmuş inşaat sahasında, birbiri ardına dökülmektedir. Her segment, yapının bir önceki segmentine öngerilme kabloları ile bağlıdır. Beton prizini aldıktan sonra ardgerme kablolarına öngerilme işlemi uygulanabilmesi için gerekli dayanıma ulaştıktan sonra kablolara öngerilme işlemi uygulanır.

Köprü ayaklarında ve geçici ayaklarda, sürme sırasında oluşacak sürtünme kuvvetlerini azaltmak için kayıcı mesnetler kullanılır. Döküm sahasındaki segment, geçici ve köprü ayakları üzerine yerleştirilen kayıcı mesnetlerin üzerinden köprü ekseni boyunca, segment uzunluğu kadar itilir. Ardından gelen segment için tekrardan aynı işlemler yapılır. Hâlihazırda itilmiş segmentlerle bağlantılı olan tamamlanmış segment, döküm sahası bir sonraki segmentin dökülmesi için serbest kalana kadar ayaklar üzerinde itilir.

İtme işlemi boyunca köprünün ilk segmenti bir sonraki ayağa ulaşana kadar bir konsoldur. Bu durum, ilk segmentlerde diğer segmentlere göre negatif eğilme momentlerinin çok yüksek değerlere ulaşmasına neden olur. Negatif eğilme momentindeki yüksek değerden dolayı oluşacak çekme gerilmelerini sınırlamak için ilk segmentin önüne betonarme tabliyeden daha hafif gaga çelik yapı elemanı kullanılır. Çelik kılavuz gaga, konsol segment uzunluğunun ve dolayısıyla itme işlemiyle bir sonraki ayağa ulaşacak olan kısmın ağırlığının azaltılmasını sağlar. Kalıp, döküm sahasında tekrar kullanılabilir olduğundan maliyeti daha azdır. Ayrıca yapım aşamasında daha uzun açıklıkların geçilmesi için kullanılan geçici ayaklar, itme esnasında ayaklarda kullanılan geçici mesnetler ve sürme işleminde kullanılan kılavuz gaga daha sonra yeni projelerde de kullanılabilmektedir.

İtme sürme yöntemi köprüler, köprü düz olduğunda veya uzunluk boyunca sabit bir eğriliğe sahip olduğunda tercih edilir. Yarıçapların sabit olması şartıyla hem yatay hem de düşey kurplu sistemlerde kullanılabilir. Farklı eğriliklere sahip köprü segmentleri karşıt kenar ayaklardan itme işlemi yapılarak köprünün ortasında bağlanabilir. Böylece diğer daha büyük orta açıklık elde edilebilir.

Dilimsel Dengeli Konsol Yöntemi: Köprü üstyapısının boyuna doğrultusunda dilimlere bölünerek inşa edilmesi yöntemidir. Köprü modeli açıklık ortasında kapatma dilimi döküldükten sonra sürekli hâle gelir. Köprü mühendisliğinin özel uygulamalarından olan dengeli konsol yöntemi, çok büyük açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yapım tekniğidir. Çok fazla köprü ayak yapımının köprünün inşa edildiği çevreden ve bununla beraber jeolojik özelliklerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı mümkün olamadığı ve tabliye açıklıklarının 100 m'den daha fazla olması durumunda dengeli konsol yapım tekniği en uygun yöntemdir.

Dilimsel dengeli konsol yönteminde, köprü ayaklarından açıklık ortasına gidildikçe dilim en kesitleri değişken yükseltilere sahip olduğundan köprü üstyapısı, boyuna yönde parabolik bir tasarım oluşturur. Bu tasarım köprü estetiği açısından önemli bir avantaj sağlar.

Dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen köprü yapım aşamasında ve daha sonra sürekli sistem oluşturma aşamasında farklı etkilere maruz kalmaktadır. Köprü inşa edilirken konsol gibi çalışmasına rağmen tamamlandıktan sonra kiriş sistemine dönüşmektedir. Bu nedenle köprü tasarımı, bu iki farklı aşamada meydana gelen kesit tesirleri dikkate alınarak yapılması gerekmektedir.

Uzun açıklıkların geçilmesi gereken yerlerde genel olarak betonarme köprüler, asma köprüler ve kablolu köprüler kullanılmıştır. Bu köprü tipleri arasında özellikle betonarme karayolu köprüleri yapım aşamalarından ve zamana bağlı malzeme deformasyonlarından daha fazla etkilenmiştir. Betonarme karayolu köprüleri ile geniş ve uzun bir vadiyi maksimum açıklık ve minimum sayıda ayakla geçebilmek için en uygun ve en iyi yöntem yerinde dökme dengeli konsol yöntemidir.

Dengeli konsol yöntemi, öngerilmeli beton kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, köprü üst yapısının her bir açıklığı, boyuna doğrultuda dilim denilen parçalara bölünmekte ve bu dilimler parça parça inşa edilmektedir. Zeminden ek bir destek alınmadan sabit bir noktadan dışarıya doğru konsol biçiminde uzanan ve yük taşıyabilen bir yapı, ardışık adımlarla inşa edilir. Köprü orta ayağının her iki tarafında birbirini dengeleyecek biçimde yapılan bu yapım tekniği dengeli konsol yöntemi olarak adlandırılmıştır. Dilimler köprü ayağı başlarından itibaren iki ters yönde, aynı anda uygulanmaktadır.

Bir betonarme dengeli konsol köprüsünün hem köprü ayakları hem de tabliyesi dilim dilim yapılmaktadır. Bir köprü ayağının iki tarafındaki dilimlerin oluşturulması yaklaşık bir haftalık süre olup yapım aşamaları;

- Kalıp arabasının imalatı tamamlanmış dilimlerden sökülüp bir sonraki dilimin yapılması için ilerlemesi,
- Alt flanş ve gövde donatılarının yerleşmesi, iç kalıbın ilerlemesi, üst flanş donatısının, kılıfların ve demetlerin yerleştirilmesi,
- Dilim betonun dökülmesi,
- Betonun priz alması ve betonun tasarımda belirlenen mukavemetini kazandıktan sonra ardgerme tekniğinin uygulanması,
- Kalıp arabasının bir sonraki dilime geçmesi şeklinde özetlenebilir.

Eğik Askılı Köprüler: Parabolik asma köprülerin tüm özelliklerini sağlaması, uzun açıklıklar için uygun olması ve daha hızlı köprü inşası gibi avantajları vardır. Parabolik asma köprüler gibi en az iki ayak ihtiyacı yoktur. Tek ayak olarak da tasarlanarak inşa edilebilmektedir. Köprü segmentleri çelik veya betonarme prefabrik üretildikten sonra inşa sahasında yerine yerleştirilebildiği gibi yerinde döküm betonarme olarak da yapılabilir. Uzun mesafeleri en az sayıda ayak ile geçmek, estetik açıdan güzel tasarımlar ve köprü döşemesinin ana kablo olmadan doğrudan bir veya birden fazla kuleye (pilona) kablolarla bağlanması yöntemi ile inşa edilen köprüler **eğik kablo askılı köprüler** olarak adlandırılır. Eğik kablo askılı köprüler, ayak inşasının uygun olmadığı yerlerde (deniz trafiği yapılan yerlerde, su düzeyinin ayak yapımını zorlaştırdığı geniş nehir geçişlerinde, ayak yapımına uygun olmayan geniş vadi geçişlerinde, köprü ayaklarının geçişleri engellediği durumlarda vb.) uzun açıklıkların geçilebilmesi için tercih edilen bir köprü türüdür.

Eğik kablo askılı köprünün ayak ekseninden ayak eksenine olan mesafesi **ana açıklık** olarak adlandırılır. Eğik kablo askılı köprülerde gelişen teknoloji ile birlikte daha uzun açıklıklı, yük kapasitesi daha fala ve daha hafif köprüler inşa edilebilmektedir. 150-1000 m arasında ve daha fazla açılıklarda uygulama olanağı sağlayan bir köprü modeli olan eğik kablo askılı köprüler; inşasının ve bakımın ekonomik olması, hızlı yapılabilmesi ve estetik olması nedenlerinden dolayı tercih edilir.

Köprü tabliyesi; betonarme/ardgermeli betonarme veya çelik, kabloları çelik, temeli betonarme, kuleleri çelik/betonarme veya çelik betonarme birleşiminden oluşan kompozit malzemeden yapılabilir. Eğik kablo askılı köprü tasarımında açıklık, kablo sayısı ve kule (pilon) yüksekliği arasında bir etkileşim bulunmaktadır. Açıklığı fazla olan köprülerin genellikle kablo sayısı ve kule yüksekliği fazladır. 3 açıklıklı köprülerde ana açıklığın toplam açıklığa oranı %45-65,2 açıklıklı köprülerde ana açıklığın toplam açıklığa oranı %60-70 ve kule yüksekliğinin ana açıklığa oranı %25 civarındadır.

SIRA SİZDE

Karayolu köprülerinin inşasında en çok kullanılan yapım teknik ve yöntemlerin adlarını ve tercih edilme nedenlerini aşağıdaki boşluğa yazınız.

4.4 UYGULAMA

2(6) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

KARAYOLU KÖPRÜLERİ

Bu çalışmanın amacı, karayolu köprülerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Karayolu köprülerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Aydın Akçay Köprüsü

Adana Çatalan Köprüsü

Muğla-Dalaman Atatürk Köprüsü

İstenenler

Verilen karayolu köprülerinin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, karayolu köprülerinin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (kamu kurumları, üniversiteler, akademik çalışma yapan kurum ve kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Akçay Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Akçay Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Akçay Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
4. Dalaman Atatürk Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Dalaman Atatürk Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Dalaman Atatürk Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
7. Çatalan Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
8. Çatalan Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
9. Çatalan Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
10. Akçay Köprüsü, Çatalan Köprüsü ve Dalaman Atatürk Köprüsü sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ		Evet	Hayır
1	Akçay Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Akçay Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Akçay Köprüsü'nün yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
4	Dalaman Atatürk Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Dalaman Atatürk Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Dalaman Atatürk Köprüsü'nün yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Çatalan Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
8	Çatalan Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
9	Çatalan Köprüsü'nün yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
10	Akçay Köprüsü, Çatalan Köprüsü ve Dalaman Atatürk Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME					
Değerlendirme Alanları	**Bilgi**	**Beceri**	**Temizlik/Düzen**	**Süre Kullanımı**	**Toplam**
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Yaya köprüsü çeşitlerini araştırınız ve edindiğiniz bilgileri arakdaşlarınızla paylaşınız.

4.5. YAYA KÖPRÜLERİ

Yayaların bir noktadan başka bir noktaya güvenli bir şekilde geçişini sağlamak amacıyla inşa edilen köprüler **yaya köprüsü** olarak adlandırılır. Yaya köprüleri; geçmiş dönemlerde ahşap ve kâgir malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Günümüzde ahşap ve kâgir malzemelerin yanında genellikle betonarme, çelik ve esnek kablo askı telleri vb. kullanılarak yaya köprüleri inşa edilmektedir.

Karayolunun diğer bir karayolu veya demiryolunun üstünden geçmesini sağlayan sanat yapılarına üst geçit denir. Üst geçitlerin yayalar için inşa edilenleri, **yaya köprüsü** ya da **yaya üst geçit köprüsü** olarak adlandırılır. Üst geçitlerin taşıtlar için inşa edilenleri ise **karayolu üst geçit köprüsü** olarak adlandırılır.

Karayolu Yaya Köprüleri (Karayolu Üst Geçitleri): Bir yolun iki yanını, basamaklarla yükseltilmiş bir bağlantı ile birleştiren ve yayaların taşıt trafiğine sokulmadan karşıdan karşıya geçmelerini sağlayan köprülerdir. Diğer bir adıyla üst geçitlerin yapılmasındaki amaç trafik akışını kesmemektir.

Demiryolu Yaya Köprüleri (Demiryolu Üst Geçitleri): Tren yolları, tramvay ve banliyö hatları gibi şehir içi ve şehir dışı toplu taşıma sağlayan raylı sistem hatlarında, yayaların geçişini güvenli bir şekilde yapması için inşa edilen köprülerdir. Demiryolu hatlarının yaya trafiği ile kesiştiği noktalarda şartlar ve konum dikkate alınarak hemzemin kavşak veya yaya köprüsü inşa edilmektedir.

Akarsu Yaya Köprüleri: Akarsuların üzerinden yayaların geçişini sağlamak amacıyla inşa edilen yaya köprüleridir. Akarsular her zaman kent yerleşimleri için çekici bir odak merkezi olmuştur. Dünya üzerinde birçok şehir akarsuların etrafına kurulmuştur. Şehirlerin kendi içinde büyümeleri sonucunda akarsuların üzerinden geçme ihtiyacı doğmuştur. Yine kırsal bölgelerde akarsu, vadi, çukur, kanyon, dağ etekleri vb. yerlerde de yayaların geçiş ihtiyacının karşılanması amacıyla yaya köprüleri inşa edilmektedir.

4.5.1. Kafes Sistemli Kirişli Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Yaya köprüleri, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde daha çok asma ahşap köprüler ve büyük ayaklı taş köprüler şeklinde inşa edilmiştir. Günümüzde ise gelişen teknolojiyle birlikte daha uzun açıklıkları geçme imkânı veren betonarme ve çelik köprülerin inşası tercih edilmektedir.

Yapıldıkları dönemlere göre yaya köprülerinden bazı örnekler aşağıda açıklanmıştır.

Uşak Clandras Köprüsü: Uşak ilinin Karahallı ilçesinde, Frigyalılar döneminden kalma tarihi köprüdür. Köprü, Banaz Çayı üzerine yaklaşık 2500 yıl önce yapılmıştır. Köprünün iki ucu, dağ kayalarının yarı beli üzerine oturmuştur. Uzunluğu 24 metre, derinliği 17 metre ve eni 1,75 metredir. Taşların yüzleri kalemle işlenmiş ve kemerlerin iri taşları zıvanalı olarak birbirine iyice kenetlendirilmiştir. Kemer, kasnak formundadır.

Köprü ayağı, iki ana gövdeden oluşturulmuş olup sabit kaya üzerine bindirme tekniğiyle inşa edilmiştir. Köprünün kilit taşlarından birinin oynaması üzerine beton ile tamir edilerek orijinalliğini kaybetmiştir. Köprünün yanında Karahallı Elektrik Santrali bulunmaktadır. Santralden boşaltılan su beton bir kanal vasıtasıyla köprünün yanı başından, 17 metre yükseklikten dökülmektedir (Resim 4.19).

Resim 4.19: Uşak, Clandras Köprüsü

Diyarbakır Dicle Köprüsü: Diyarbakır'ın Sur ilçesinde Dicle Nehri üzerinde yer alan tarihî bir köprüdür. On açıklığa sahip olduğu için halk tarafından **On Gözlü Köprü** olarak bilinmektedir. Köprü, eski Silvan yolu güzergâhında bulunduğundan bazı kaynaklarda **Silvan Köprüsü** olarak da geçmektedir. Köprü, şehir merkezine 3 kilometre uzaklıkta olup Diyarbakır'dan Mardin'e devam eden (eski Mardin yolu), sonra doğuya doğru ayrılan tali yolun bağlantı yerinde, kentin merkezini Bağıvar beldesi ile çevre köylere bağlayan noktada bulunmaktadır. Köprünün 11. yüzyılda inşa edildiği tahmin edilmektedir (Resim 4.20).

Resim 4.20: Diyarbakır, Dicle Köprüsü (On Gözlü Köprü-Silvan Köprüsü)

Osmangazi Abdal Köprüsü: Bursa'nın Osmangazi ilçesinde Nilüfer Çayı üzerinde Acemler ve Hürriyet mahallelerini birbirine bağlayan tarihi bir köprüdür. Acemler Köprüsü olarak da bilinmektedir. Köprü Abdal Çelebi adında bir tüccar tarafından yaptırılmıştır.

Köprünün yapımına 1666 yılında başlanmış ve 1669 yılında tamamlanmıştır. Köprü 64 m uzunluğunda ve 4,75 m genişliğindedir. Kesme taştan ve sivri kemerlerden oluşan köprünün orta kısmı iki başından 75 cm daha yukarıdadır. Küfeki taşından yapılmış olan köprünün kuzey tarafında bir mihrap nişi, ayakları üzerinde de selyaranlar bulunmaktadır.

1906 Hüdavendigar Vilayeti (Bursa) Salnamesi'ne göre 12 gözlü olarak inşa edilmiş olan köprünün iki ucu toprak altında kalmıştır. Köprü ayakları, suyun akış yönüne göre dışa çıkık üçgen prizma kalkanlara, ters yönde de destek duvarlara sahiptir. Araç ve yaya trafiğine açık olan köprü, 1978 yılında restore edilerek tamamen yaya köprüsü olarak kullanıma açılmıştır (Resim 4.21).

Resim 4.21: Osmangazi, Abdal Köprüsü

Çankırı Bayramören Köprüsü: Melan Çayı üzerinde inşa edilmiştir. Özellikle yayaların ve hayvanların geçişleri için vadinin iki yakasını birbirine bağlar. Yapılış tarihi kesin olarak bilinmeyen köprü, XIX. yüzyıla ait bir sanat yapısıdır. Tarihi köprü, düzgün kesme taş malzemeden örülerek üçayak üzerine keresteler yardımıyla tesis edilmiştir. Bu ayaklar suyun geliş yönünde üçgen, gidiş yönünde ise dikdörtgen şekilli olarak yapılmıştır. Köprü, ahşap çivilerle tutturulmuş iri kerestelerin kademeli olarak üst üste konulmasıyla yapılmış olup üzeri ise oluklu kiremit örtülü iki yana meyilli bir ahşap çatıyla kapatılmıştır.

Resim 4.22: Çankırı, Bayramören Köprüsü

2002 yılında aslına uygun olarak yenilenen köprünün ayakları kesme taş, diğer kısımları kalasların bindirilmesi suretiyle tamamen ahşaptan yapılmıştır. Köprünün üzeri orijinalinde olduğu gibi kiremit çatılı bir örtü ile korumaya alınmıştır (Resim 4.22).

Arhavi Çifte Köprü: Artvin'in Arhavi ilçesinde bulunan birbirine bağlanan iki bitişik kemerden oluşan köprüdür. Köprüler, Kamilet ve Durğuna nehirlerinin üstünde yer almaktadır. Köprülerin ne zaman inşa edildiklerini gösteren herhangi bir belge bulunmamaktadır. Köprü-nün Osmanlı döneminde 18. yüzyılda inşa edildiği tahmin edilmektedir. İki kemer köprü birbirine dik konumlandırılarak inşa edilmiştir. İki köprünün de uzunluğu 35,5 m ve genişlikleri 2,80 metredir. Mimari yapıları ve sınırlı genişlikleri nedeniyle Çifte Köprü sadece yayalar tarafından kullanılmaktadır (Resim 4.23).

Resim 4.23: Arhavi, Çifte Köprü

Alibeyköy Fil Köprüsü: Yapımına Ağustos 1930'da başlanan ve 1932 yılında tamamlanan köprü, Eminönü-Alibeyköy Cep Otogarı tramvay hattının yapımı sırasında 2018 yılında yıkılmıştır. İstanbul'un Eyüpsultan ilçesinin Alibeyköy semtinde bulunmaktaydı. Tek açıklıklı betonarme kemer şeklinde tasarlanan köprü, görünüş olarak file benzemesi nedeniyle Fil Köprüsü adını almıştır. Ayrıca bulunduğu bölgeye adını veren Silahtar Mehmet Ağa nedeniyle de Silahtarağa Köprüsü olarak anılmaktadır. Köprü Alibeyköy Deresi üzerine yapılmıştır.

Yapısal sistemi oluşturan kemer şeklinde 2 adet üst başlık, üzerinden yaya trafik akışı sağlanan alt başlık bulunmaktadır. Alt ve üst başlıkları birbirine bağlayan 2 sıra hâlinde toplam 24 adet düşey askı çubuklarıyla teşkil edilmiştir. Kemerlerin yanal yüklemelere karşı birlikte çalışmasını sağlayan ve yanal burkulmaları önleyen 4 adet enine yatay kiriş (rüzgâr kirişi) yer almaktadır. Köprünün her iki ucunda aydınlatma amacıyla kullanılan 2,7 m uzunlukta 0,7 m^2 kesitli kuleler mevcuttur. Köprüde kemer açıklığı 38 metre, döşeme genişliği ise 7 metredir. Kemer yüksekliği, üst başlığın tepe noktasından alt başlık tabanına kadar dıştan dışa 8 m, içten içe net 6 metredir. Üst başlık ve alt başlık, birbirlerine açıklık ortasına göre simetrik yerleştirilmiş, değişken yüksekliklerde ve 50x20 boyutlarında 12 adet kemer askı çubuğuyla bağlanmıştır.

Döşeme, en dışta iki gergi dışında, boyuna yönde 4 adet kiriş üzerine oturtulmuştur. Yükleri gergilere aktarmak amacıyla ek olarak 14 adet enine kiriş bulunmaktadır. Köprü ayaklarının her biri 34 adet dört köşe ahşap kazıkla oluşturulmuştur. Kare şeklinde olan kazıkların kenar boyutları 0,3-0,4 metre arasında değişmektedir. Kazıklara gelen yükü mümkün olduğunca azaltmak için ayaklar içi boş olarak yapılmıştır.

Resim 4.24: Alibeyköy, Fil Köprüsü (Silahtarağa Köprüsü)

Köprü üstyapısı, yükleri direkt olarak 90x90 cm boyutunda beton kolonlar ve döşeme sistemi ile kazıklara aktarılmaktadır. Toprak itkisini karşılamak üzere doğrudan doğruya zemine oturan ve kazıklardan bağımsız bir betonarme sandık oluşturulmuştur. Yaya köprüsünün ayak mesnetleri çelikten yapılmıştır (Resim 4.24).

Kastamonu Nasrullah Köprüsü: Kastamonu'da bulunan 16. yüzyıl köprüsüdür. Köprü Kastamonu merkezde kenti ikiye ayıran Karaçomak Çayı üzerinde Nasrullah Cami'sinin doğusundadır.

Resim 4.25: Kastamonu, Nasrullah Köprüsü

1501 yılında Kastamonu'da kadılık yapan Nasrullah Kadı tarafından yaptırılmıştır. Yontma taştan yapılmış olan beş kemerli köprünün orijinal hali 40 metre uzunluğunda ve 4 metre genişliğindeydi. Ana kemer 12 metre genişliğinde olup diğer kemerler ise 8,5 metre genişliğindedir. Köprü üzerinde iki adet sadaka taşı yer alır. Köprü, üç büyük restorasyon geçirmiştir. Son restorasyonda bazı kemerlerden vazgeçilmiş ve bunların yerine merdiven yapılmıştır (Resim 4.25).

Ankara Akköprü: 1222 yılında dönemin Ankara Valisi Kızıl Bey tarafından yaptırılan köprü, eskiden kullanılan Bağdat ticaret yolunun Ankara kavşağında inşa edilmiştir. Osmanlı döneminde kervanların yanı sıra askere ve hacca gidenlerin uğurlandığı ve yola çıktıkları nokta olmuştur.

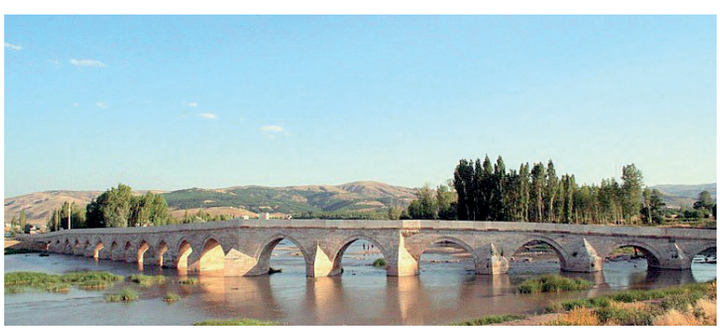
8 Ağustos 1959 tarihinde kentsel sit alanı olarak tescillendikten sonra çeşitli dönemlerde restorasyon geçirmiştir. 1960'lı yıllarda T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan onarımlar sırasında beton dolgu ile yenilenmiş ve taşıt trafiğine kapatılmıştır. Uzun yıllar boyunca önemli bir taşımacılık güzergâhının parçası olan Akköprü günümüzde sadece yayaların kullanımına açıktır.

Akköprü'nün inşasında çoğunlukla andezit taşı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda yer yer devşirme taşlar da kullanıldığı ve bazı dönemlerde çimento içerikli harçlarla yapıya müdahale edildiği belirlenmiştir. Yedi adet kemer gözden oluşan köprünün güney ucunda bulunan iki kemer belediye tarafından yapılan çalışmalar sonucunda toprak dolgusu altında kalmıştır. Gövde taşları büyük oranda yenilenmiş ve zemini betonla kaplanmıştır (Resim 4.26).

Resim 4.26: Ankara, Akköprü

Sivas Eğri Köprü: Sivas'a giriş yönündeki araziden biraz yüksekte olan köprü, çok hafif bir yükseltiyle metrelerce devam eder. En yüksek noktasına ulaştığında yaklaşık 130 derecelik bir açıyla sola dönecek şekilde inşa edilmiştir. Önceki yükseltiye göre daha dik bir eğimle araziye sıfırlanmaktadır.

Köprünün kenarlarındaki kemerler, ortasındaki kemerlerden daha küçüktür. Ortadaki kemerler hem genişlik hem de yükseklik olarak aratarak büyümektedir. Köprü kemerleri kesme taştan yapılmıştır. Önceleri araç trafiğine de açık olan köprü, günümüzde yaya köprüsü olarak kullanılmaktadır (Resim 4.27).



Resim 4.27: Sivas, Eğri Köprü

İzmir Göztepe Şehit Kerem Oğuz Erbay Köprüsü: Mustafa Kemal Sahil Bulvarı'nı kesen, 125 metre uzunluğunda, gergin eğik askılı sistemle inşa edilen yaya köprüsüdür. 1997'de inşası tamamlanan Güzelyalı Köprüsü'ne, 2010 yılında Şehit Kerem Oğuz Erbay'ın adı verilmiştir. Köprünün bakım onarımı 2022 yılında yapılmıştır. Askılı köprünün çelik halatlarının bakımı ve köprü kulesinin (pilon) ayakların temelinde güçlendirme yapılmıştır. Köprü kulesi gömlekleme yöntemiyle güçlendirilmiştir (Resim 4.28).

Resim 4.28: İzmir, Göztepe Şehit Kerem Oğuz Erbay Köprüsü

4.5.2. Yaya Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Geçmiş dönemlerde yaya köprüleri, genellikle ahşap ve kâgir malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Selçuklu ve Osmanlı dönemi köprüleri incelendiğinde kâgir köprülerin inşasında genellikle kemer sistemi kullanılmıştır. Günümüzde şehir içi ve şehirlerarası otoyolların üzerinden yaya trafiğini sağlamak için betonarme, çelik vb. malzemelerle alt geçit ve üst geçitler inşa edilmektedir.

Park bahçe, orman ve kırsal bölgelerde yaya geçişleri için yapılan köprülerin ayaklarında çelik veya betonarme malzeme, köprü tabliyelerinde ise genellikle ahşap malzeme tercih edilmektedir.

Açıklıkları fazla olan yerlerde, akarsuların üzerinde ve dağ etekleri vb. yerlerde yayaların geçişini sağlamak amacıyla asma ve askılı yaya köprüleri yapılmaktadır. Asma ve askılı yaya köprülerinde kablo telleri, kiriş yapımında kullanılan çelikten daha dayanıklı olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Asma ve askılı yaya köprüleri; destek direkleri, esnek kablo askıları ve ahşap platform veya graten çelik/alüminyum plakaları ile yere demirlemiş modüler şeklinde tek platform olarak da yapılabilmektedir.

Asma ve askılı yaya köprüleri; iki taşıyıcı kenar ayak, iki ana taşıyıcı kablo ve ana taşıyıcı kabloların bağlandığı ankraj kütlelerinden oluşturulmaktadır (Resim 4.29).

Asma ve askılı kablolu yaya köprüleri derelerin, uzun açıklıkların geçilmesi için de en uygun sistemlerden biridir. Köprü platform genişlikleri 1,5-2 m arasında yapılmaktadır. Genellikle akarsuların üzerine inşa edilen sistemlerdir (Resim 4.30).

Resim 4.29: Çelik ayaklı asma kablolu ahşap platformlu yaya köprüsü

Dağ eteklerinde, yamaçlarda ve kanyonlarda kısıtlı erişim güvenli yaya köprüleri, çelik konstrüksiyon platformun kablo tel askılara bağlanmasıyla inşa edilmektedir (Resim 4.31).

Resim 4.30: Ahşap ayaklı asma kablolu ahşap platformlu yaya köprüsü

Resim 4.31: Çelik platformlu asma kablolu yaya köprüsü

SIRA SİZDE

Yaya köprülerinin yapıldıkları yerlere göre türlerini yazınız ve açıklayınız.

4.6 UYGULAMA

2(6) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

YAYA KÖPRÜLERİ

Bu çalışmanın amacı, yaya köprülerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Yaya köprülerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Kemere Köprüsü

Manavgat Yaya Köprüsü

İstenenler

Verilen yaya köprülerinin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, yaya köprülerinin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (kamu kurumları, üniversiteler ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemere Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Kemere Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Kemere Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
4. Manavgat Yaya Köprüsü'nün yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Manavgat Yaya Köprüsü'nün yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Manavgat Yaya Köprüsü'nün yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
7. Kemere Köprüsü ve Manavgat Yaya Köprüsü sunumu için derlenen veriler, sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemere Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Kemere Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Kemere Köprüsü'nün yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
4	Manavgat Yaya Köprüsü'nün yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Manavgat Yaya Köprüsü'nün yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Manavgat Yaya Köprüsü'nün yapım dönemi ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Kemere Köprüsü ve Manavgat Yaya Köprüsü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Boru hattı köprülerinin inşa yöntemlerini araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.7. BORU HATTI KÖPRÜLERİ

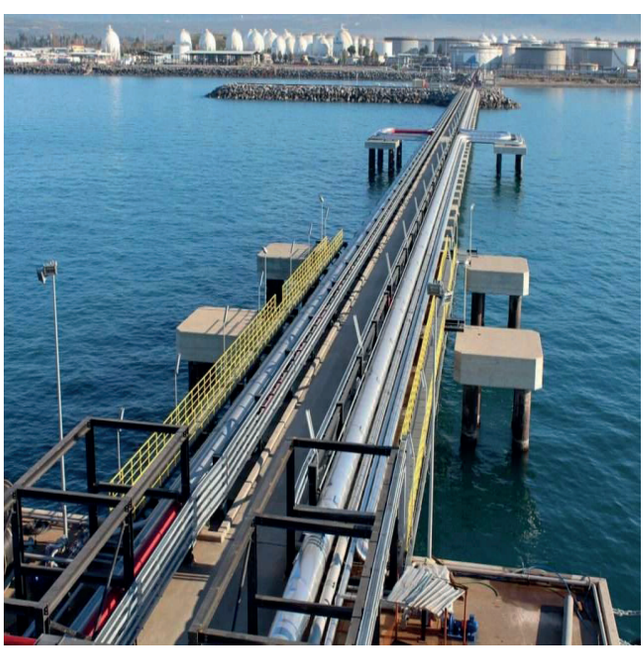
Köprüler; insanların, hayvanların, taşıtların geçmesi için inşa edilen karayolu, demiryolu köprüleri dışında ticari yükler, askeri araçlar ve içme suyu, kanalizasyon, petrol, doğal gaz vb. ürünlerin iletim boru hatlarının geçişi için de inşa edilmektedir.

Su, petrol, doğalgaz vb. sıvı ve gaz ürünlerini ileten boru hatlarının deniz, nehir, vadi gibi engellerin üzerinden aşılarak geçirilmesi amacıyla inşa edilen köprüler **boru hattı köprüleri** olarak adlandırılır. Rafineri ve limanlara getirilen sıvı, sıvılaştırılmış gaz ürünlerin depolama alanlarına iletilmesi için de boru hattı köprüleri inşa edilmektedir (Resim 4.32).

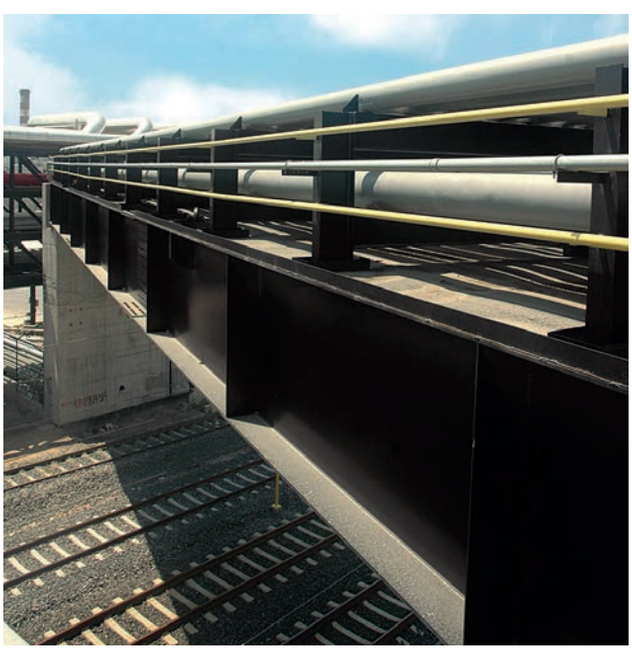
Boru hattı köprüleri çelik, betonarme veya kompozit olarak inşa edilebilmektedir. Kompozit boru hattı köprüleri, çelik kirişli ve betonarme temel veya çelik kafes kirişli ve betonarme temel vb. olarak inşa edilir. Yine mevcut köprüye askı sistemi, çelik kemer, çelik askılı (asma) vb. boru hattı köprüleri de inşa edilmektedir.

TÜPRAŞ (Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.) tarafından inşa ettirilen karadolum demiryolu üst geçiş boru hattı köprüsü, 6 adet fore kazıklı temel üzerine ve köprü tabliyesi betonarme perde ayakları üzerine oturtulmuş 35 metrelik köprüdür. Köprüde, 110 ton çelik boru imalatı ve montajı yapılmıştır (Resim 4.33).

Boru hattı köprülerinde, karayolu ve demiryolu köprülerinden farklı olarak köprü tabliyesi üzerine oturtulan ve tabliyeye sabitlenen ayaklar, ayaklar arasına boruların oturtulduğu yatay taşıyıcı kirişler ve bu kirişlerle bağlantıları sağlayan bağlantı elemanları kullanılır.



Resim 4.32: Deniz üzerinden geçirilen boru hattı köprüsü



Resim 4.33: TÜPRAŞ karadolum demiryolu üst geçiş boru hattı köprüsü

4.7.1. Boru Hattı Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

İlk boru hattı 1825 yılında doğal gaz iletimi için yapılmıştır. Boru hatları; günümüzde en fazla kullanılan enerji kaynakları olan petrol ve doğal gazın hem hızlı hem de güvenilir bir şekilde, borular yardımıyla üretim kaynaklarından tüketim merkezlerine nakledilmesinde kullanılan bir taşımacılık türüdür. Dünyadaki ilk boru hattı 1865 yılında ABD'de petrol taşımak için kurulmuştur. Avrupa'daki ilk boru hattı ise 1953 yılında Fransa'nın Le Havre-Paris arasına döşenmiştir. Türkiye'deki ilk boru hattı da 1966'da Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı tarafından Batman-Dörtyol arasına döşenmiş ve kullanıma açılmıştır.

Boru hatlarının inşası ile birlikte boru hatlarının mevcut köprülere askı yöntemiyle aşılması ve boru hatlarının akarsu vb. engellerin üzerinden geçirilmesi, yeni köprü yapılması zorunluluğunu ortaya koymuştur. 1880'li yıllardan sonra gerek içme suyu, kanalizasyon vb. suların gerekse doğal gaz ve ham petrol iletimi için boru hattı köprüleri inşa edilmeye başlanmıştır. Buna örnek olarak Amu Derya Boru Hattı Köprüsü, Özbekistan ve Türkmenistan arasında Ceyhun Nehri üzerinde 390 metre uzunluğunda inşa edilen asma boru hattı köprüsüdür. Bu boru hattı köprüsü, 1964 yılında inşa edilmiş olup Özbekistan'ın Harezm şehri ile Türkmenistan'ın Lebap şehrini birbirine bağlamaktadır.

4.7.2. Boru Hattı Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Betonarme ve çelik boru hattı köprülerinin inşa teknikleri karayolu ve demiryolu köprülerinde olduğu gibidir. İletim borusu ile betonarme kemer formunun birlikte tasarlandığı farklı boru hattı köprüleri de inşa edilmiştir (Resim 4.34).

Resim 4.34: Betonarme kemer formunda boru hattı köprüsü

Mevcut Köprüye Askı Yöntemi: Su boru hatlarının engeller üstünden geçişlerinde genellikle mevcut köprüye askı yöntemi kullanılmaktadır. Boruların büyük dere ve ırmaklardan geçmesi zorunlu olduğunda köprülerden faydalanılarak boru mevcut köprüye asılır.

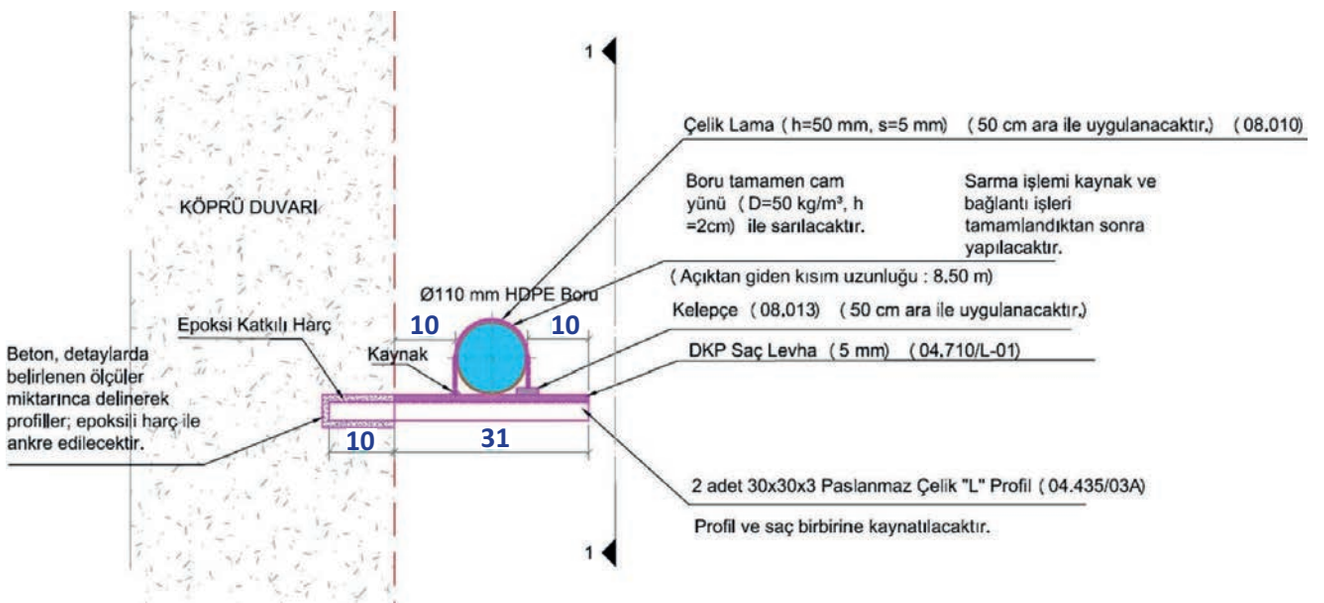
Geçişin yapılacağı yerde boruyu asacak herhangi bir köprü bulunmuyorsa boruyu geçirmek için yeni bir köprü de inşa edilebilir. Engelin geçilme maliyetinin yatay delgi yöntemine göre düşük olması için mevcut köprüye askı yöntemi tercih edilir. Çelik çubuklar köprü yan yüzeyine belli aralıklarla ankraj edilir (Resim 4.35).

Resim 4.35: Borunun mevcut köprüye kelepçelerle asılarak bağlanması

Borular, genellikle yalıtım amaçlı olarak çelik kılıf borudan geçirilir. Olumsuz hava şartları da düşünülerek boru için ısı yalıtımı yapılır. Hazırlanan borular ankraj edilmiş çelik çubuklar üzerinden geçirilerek kelepçe vasıtasıyla sabitlenir.

Ülkemizde mevcut köprüye askı yöntemi ile akarsu geçişi örnekleri aşağıda verilmiştir.

İmranlı (Sivas) İçme Suyu Mevcut Köprüye Askı Yöntemi İle Akarsu Geçişi: İmranlı (Sivas) İçme Suyu Kesin Projesi ile Kızılırmak'ın bir tarafında kalan içme suyu deposundan çıkan suyun ırmağın diğer tarafına geçirilmesi, evlere su iletilmesi amaçlanmıştır. Projede bu durum borunun ilçede mevcut olan köprüye asılarak geçilmesi suretiyle çözülmüştür (Şekil 4.1). Boru çapı küçük, dolayısıyla yük miktarı az olduğundan askı şeklinin projelendirilmesinde bir statik hesap kullanmak yerine konstrüktif bağlantı şekilleri tercih edilmiştir.

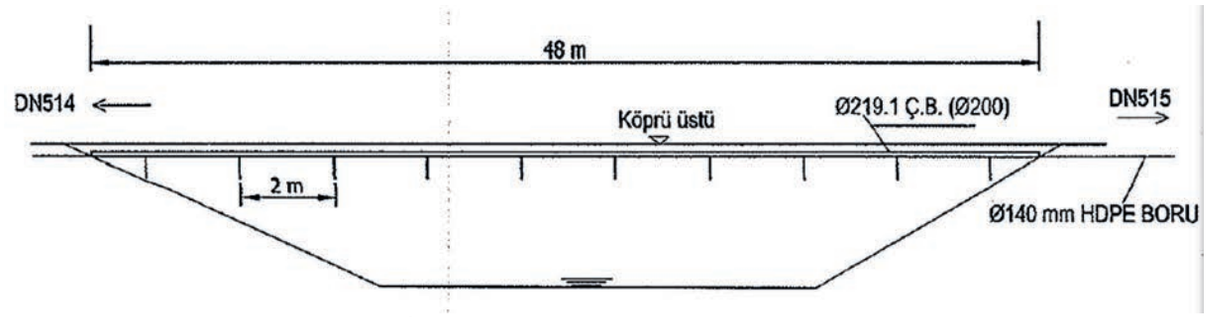


Şekil 4.1: Çelik boruların köprü duvarına ankrajı ve su iletim borusunun montaj detayı

Askı sistemi;

- Mevcut betonarme köprü betonunun delinmesini,
- 2 adet 40 cm uzunluğundaki paslanmaz çelik "L" profilin (2 adet 30x30x3) köprü boyunca 50 cm ara ile mevcut köprü betonundaki deliklere epoksili harç ile ankre edilmesini,
- Ankre edilmiş 2L profil üzerine açıklık boyunca 5 mm kalınlığında DKP sac levhanın yerleştirilmesini ve 2L profile kaynatılmasını,
- 5 mm kalınlığında 50 mm eninde çelik lamanın sac levhaya kaynatılmasını,
- Lama ve kelepçe ile iletim borusunun 50 cm ara ile sac levhaya bağlantısının yapılmasını,
- Bağlantılar tamamlandıktan sonra borunun tamamen 50 kg/m^3 yoğunluklu 2 cm kalınlığına sahip cam yünüyle sarılarak tecrit edilmesini içermektedir.

Şarkışla (Sivas) İçme Suyu Mevcut Köprüye Askı Yöntemi İle Akarsu Geçişi: Şarkışla (Sivas), İçme Suyu Kesin Projesi DY1 deposuna bağlı bir şebekeye su iletimi Ø140 HDPE boru ile sağlanmaktadır. İletim hattının şebekeye ulaşması için hattın bir nehirden geçmesi zorunluluk olmuştur. Proje ile bu geçiş hâlihazırda 48 m açıklığındaki mevcut bir köprüye askı yöntemini kullanarak çözümlemiştir (Şekil 4.2).



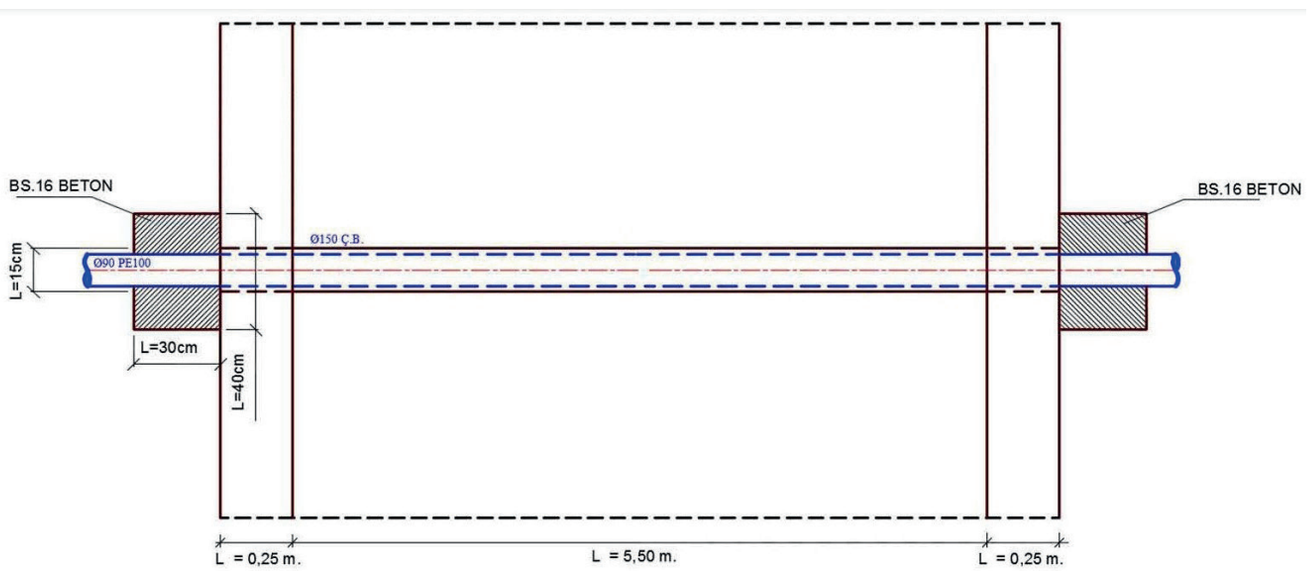
Şekil 4.2: İçme suyu borusu askı sistemi geçişine ait boy profili

Askı sistemi;

- L40x40x5 çelik profilden borunun oturacağı kenar 60 cm, hipotenüsü 120 cm ölçülerinde ve 30, 60 ve 90 derece iç açılarına sahip bir dik üçgen şeklinin oluşturulmasını,
- Üçgeni oluşturan çelik çubukların proje detaylarında olduğu şekilde ve 3 mm kalınlığında kaynağının yapılarak borunun oturacağı desteklerin hazırlanmasını,
- Desteklerin köprü açıklığı boyunca 2 m ara ile 6 adet 6 mm kalınlığında çelik dübel ile köprüye ankrajının yapılmasını,
- Ø140 HDPE borunun Ø200 çelik borudan geçirilmesini, çelik boru üzerinin 2,5 cm kalınlığında alüminyum folyo kaplı camyünü ile izolasyonunun yapılmasını,
- Hazırlanan borunun ankrajı yapılmış desteklere projesinde belirtilen konumda oturtulmasını,
- 100 cm uzunluğundaki 35x10 mm lamanın proje detaylarında belirtilen şekilde bükülmesini,
- Bükülmüş lamanın destek üzerine oturtulmuş boru üzerine yerleştirilmesini ve lamaların destek profiline kaynaklı birleşiminin yapılarak borunun sabitlenmesini içermektedir.

Hisarcık (Kütahya) İçme Suyu Mevcut Köprüye Askı Yöntemi İle Akarsu Geçişi

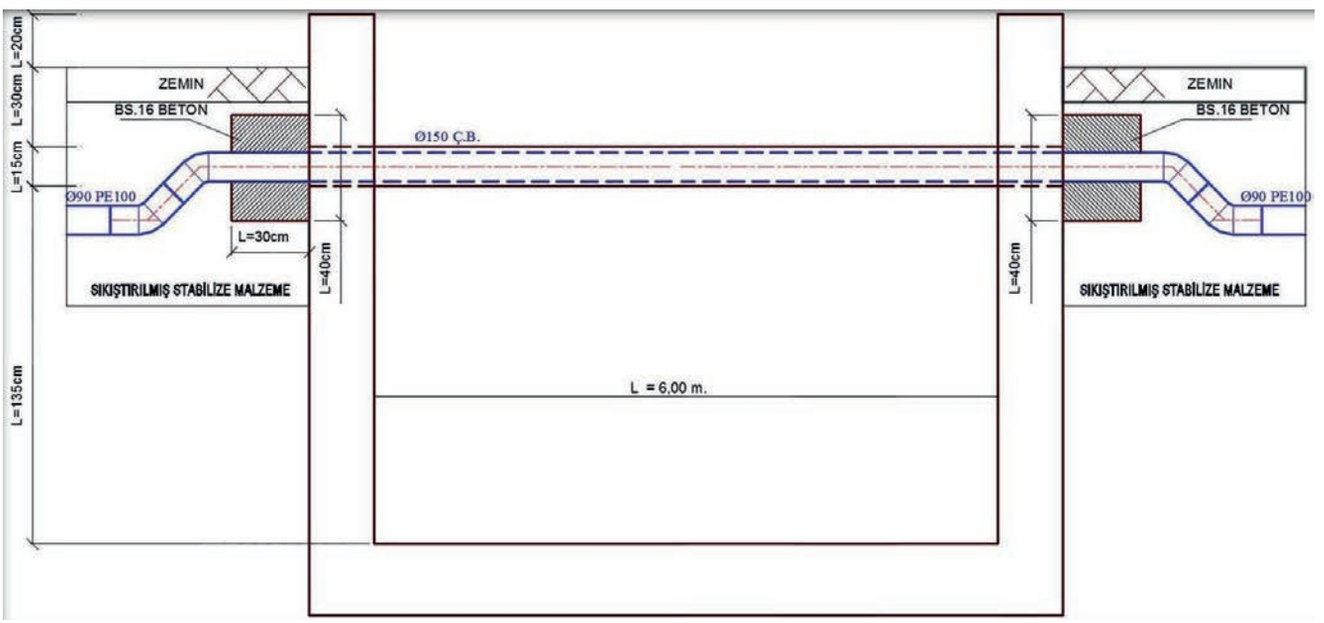
Hisarcık (Kütahya) İçme Suyu Kesin Projesindeki Ø90 mm PE şebeke borusu ilçedeki betonarme kanal üzerinden geçirilmek durumunda kalınmıştır. Geçiş, B535-B536 no.lu düğüm noktaları arasındaki L= 6 m şebeke borusunun çelik boru vasıtasıyla ıslahı yapılmış dereye asılarak sağlanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: İçme suyu boru hattının kanal üzerinden geçiş planı

Askı sistemi;

- Ø90 mm PE borunun cam yünü ile tecrit edilmesini,
- Katranlı kanaviçe ile sarılmasını, galvanizli sac ile kaplanmasını,
- Ø150 mm koruyucu ve destekleyici çelik boruya sürülmesini,
- Betonarme kanalın uygun çapta delinmesini,
- Hazırlanan Ø150 mm çelik borunun bu delikten geçirilmesini, PE borunun betonarme kanal duvarının dışından BS16 beton ile sabitlenmesini içermektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: İçme suyu boru hattının kanal üzerinden geçiş boy kesiti

Projede PE boru, çelik boru içerisinden geçirilmiştir. Çelik kılıf borunun kendini taşıma özelliği olduğundan çelik boruyu destekleyen herhangi bir destek yapısı düşünülmemiştir. Borunun kendi yükünü ve içinden geçen su dolu PE boruyu emniyetle taşıdığı statik hesaplar sonucu tespit edilmiştir.

İçme suyu, kanalizasyon, petrol, doğal gaz vb. iletim boru hatlarının engellerden aşırılması için inşa edilen köprü çeşitleri aşağıda açıklanmıştır.

Yerinde Döküm Temel Üzerinde Ön Dökümlü Betonarme Kirişli Köprü: Bu tip köprülerin avantajı minimum iskele gerekliliği ve kısa zamanda üstyapının oluşturulmasıdır. Üstyapı yukarıda olup boru iki kiriş arasına asılabilir ya da tek bir kirişe monte edilebilir. Çeşitli askı ya da üzerine koyma şekilleri düzenlenebilir. Bu tip yapının dezavantajı ise aktif sismik alanda çalışılıyorsa tasarımdan ve sismik temel bağlantı zorluğundan dolayı temel maliyetinin yüksek olmasıdır. Sonuç olarak bu alternatif yöntem diğer alternatif yöntemlerin bazılarından daha yüksek maliyetli olabilmektedir.

Yerinde Döküm Temel Üzerine Yerinde Döküm Betonarme Kirişli Köprü: Tasarımı ve sismik bağlantı noktalarının yapımı en sismik aktif alanda bile nispeten kolaydır. Borunun köprüye bağlantısı ön dökümlü kiriştekinin aynısıdır. Bu yapım tipinin dezavantajı, uzun yapım süresi gerekliliği ve geçiş için engel üzerinde geniş iskele kurulmasıdır. Ayrıca ön dökümlü köprüden daha maliyetli olabilmektedir.

Kendini Taşıyan Çelik Boru İle Geçiş: Bu genellikle en ekonomik havai geçiş tipidir. Ayrı bir köprü yapısı yoktur. Boru tasarımı inşaat temelleri üzerine yapılır. Engel aşağısına kapsamlı bir rahatsızlık verilmeden boru geçişi sağlanabilir. Çelik boruların ayaklara sabitlenmesinde kullanılan çelik kelepçe bağlantılı boru hattı köprüleridir (Resim 4.36).

Resim 4.36: Betonarme temel üzerine oturtulan çelik ayaklı boru hattı köprüsü

Bu köprüler daha fazla bakım gerektirir. Duktil ya da beton boru gibi çelik olmayan borular bu tip yapılar için oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat her boru kesiti için bir temel gerekliliği vardır. Bu durum çok sayıda temel gerekliliğine, kabul edilmeyen uzun açıklıkların geçilmesi ya da uzun temel gerekliliği gibi tekniklerin kullanılmasına yol açar.

Çelik boru kullanımı, uzunluğun geçilmesinde kendini taşıyabildiği için daha ekonomik olur. Kendini taşıyabilen borular uygun bağlantı şekilleri sağlandığında, yeterli açıklıklarda iki beton mesnete tutturularak da inşa edilebilir.

Prefabrik Çelik Köprü: Bu köprüler tamamıyla fabrikasyon çelik parçaları ve borunun oturacağı destek zeminleri içerir. Bu durum prefabrik çelik köprülerin maliyetini artırır ve daha fazla bakım yapılmasına neden olur. Fakat en az yapım süresine sahiptir.

Resim 4.37: Çelik asma boru hattı köprüsü

Prefabrik çelik köprüler farikada hazırlanırsa küçük açıklıklarda uygulama için ankrajın yapılacağı sadece 2 adet beton ayak gereklidir. Montaj kolaylığı ve inşa süresi açısından oldukça avantajlıdır. Büyük açıklıklarda ise daha karmaşık sistemler içeren ve uzmanlık isteyen tasarım gerektirir.

Çelik boruların çok uzun açıklıklı yerlerden geçirilmesi, daha çok gaz ve petrol hatlarının büyük nehirlerden geçilmesi durumunda asma köprü yapımı eskiden çok yaygın kullanılan bir yöntemdi. 1985 yılından sonra yatay delgi tekniklerinin gelişmesi ile bu tip havai geçişler, zorunluluk durumlarında kullanılan bir yöntem olmuştur.

Resim 4.38: Sichuan-Şangay Doğalgaz İletim Hattı Projesinde Boru Hattı Geçiş Köprüsü

Eski asma boru hattı köprüleri kullanım ömürlerinin sonuna geldiğinde, zorunlu bir durum yoksa boru hatları yatay delgi geçişleri ile sağlanmaktadır (Resim 4.37).

Sichuan-Şangay Doğal Gaz İletim Hattı Projesi, Doğu-Batı Doğalgaz Hattının 2005 yılında tamamlanmasından bu yana Çin'de inşa edilen en önemli boru hattıdır. Sichuan-Şangay boru hattı, doğalgaz boru hattından biraz daha kısadır. Projede boru hattı, engebeli dağlardan asma köprü ile geçirilmiştir (Resim 4.38).

Çapraz Kemer Boru Köprüsü: İki adet borunun çapraz olarak birleştirilmesiyle bu tip boru köprüleri oluşturulmaktadır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Hansen Barajı Belediye Golf Sahası'na geri dönüştürülmüş su sağlanması için Los Angeles'ta Göle Manzaralı Teras Bölgesi'ndeki Tujunga Kanalı'na bir boru hattı köprüsü inşa edilmiştir

Köprü, Los Angeles Su ve Enerji Bölümünün (LADWP) Hansen Barajı Golf Sahası Su Geri Dönüşüm Projesi'nin bir parçasıdır.

Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisleri (USACE) tarafından yapılan Tujunga Kanalı, yağmur suyunu taşımaktadır. Los Angeles Taşkın Kontrol Bölgesi (LACFCD) kanal yolu çalışmalarını düzenlemiştir. Bu iki kurum boru ve köprü için aşağıdaki tasarım hedeflerini belirlemiştir.

- Mümkün olduğunca dar boru ve köprü irtifakı
- Köprü ayaklarından kanal duvarlarına minimum sürşarj yükü
- Mümkün olan en kısa inşaat süresi
- Kanal içine hiçbir ekipman girmeme önceliği
- 365 cm dikey açıklık gerekliliği

USACE arazisi üzerindeki Hansen Barajı Golf Sahası, Los Angeles Rekreasyon ve Park Bölümüne kiralanarak golf sahası yönetimi tarafından köprü ve boru hattı için düşük bir profil istemiştir. Tasarım LADWP Su Dağıtım Bölümünün düşük bakım ve uzun hizmet ömrü isteği ile şekillenmiştir. LADWP'nin İnşaat ve Yapısal Tasarım Grubu köprü tasarımı ile PE borularıyla sismik kuvvetler dâhil yanal kuvvetlere karşı koyabilen çapraz kemerlerin yeni konsepti geliştirilmiştir. Kemerlerin arasına destek eklemek yerine çapraz kemer yapılarak yanal kuvvetlere karşı etkili bir çözüm sağlanmıştır.

Kemerler için köprü yapısında korozyonu önleyen paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Aynı zamanda boru diğer yapı şekilleri için yarıçap verilerek kolayca bükülebilmiştir.

Tujunga Kanalı köprü geçişi, 18 m genişliğinde ve açıklığı yaklaşık 25 m olarak yapılmıştır. Köprü, 39 metre uzunluğundadır ve içi geri dönüşümlü su ile dolu olduğunda yaklaşık 12 ton ağırlığında, epoksi kaplı, 20 inç çaplı, kaynaklı çelik boruyu taşımaktadır. Su borusunun her iki ucuna 45^0 eğimli gömülü sfero boru ile bağlantısı için beton itki blokları konulmuştur. Paslanmaz çelik gerilme düzeyleri karbon çeliği için izin verilen değerlerin yaklaşık %60 ile sınırlı kalmıştır.

Çapraz kemerler, tam penetrasyon alın kaynakları ve tutturulmuş uç bağlantıları ile 10 inç çaplı borudan tasarlanmıştır. Bağlantılar 2 geçiş noktasından sağlanmıştır. Geri dönüştürülmüş su borusu kemerlere, sandalye olarak adlandırılan dört bacakla desteklenen yarım silindir boruya, kelepçe kayışla bağlanmıştır. Her bacak 6 inç flanş ve 14 ¼ inç'ten 3 ½ inç'e sivrilen bir ağ olan H şeklindedir.

Sandalyeler kesme, haddeleme ve ¼ inç plaka kaynağından üretilmiştir. Sandalye bacakları, kemere basan kısmından su borusu için oturaklara doğru sivrilmektedir ve kesitin zayıf ekseni eğri bir yol takip etmektedir. Su borusu ve sandalye arasında galvanik korozyonu önlemek ve aynı zamanda titreşim ve gerilmelerden korumak için oturaklar neopren ile kaplıdır. İki sandalye ve iki uçtaki beton itki blokları, su borusunu yaklaşık 11 m, 16 m ve 11 m açıklıklara bölmektedir. Toplam köprü ağırlığı yaklaşık 5,5 ton ağırlığındadır.

Geoteknik Mühendislik Grubu, üstünde 45^0 eğimli dikdörtgen kazık olan betonarme delikli payanda temel tasarlamıştır. Her delikli payanda 36 inç çapında, 6,5 m derinliğindedir ve uygulanan yüklere kazık sürtünmesi ile direnç göstermektedir. Köprü ve temellerin dıştan dışa genişliği 3 m'dir (Resim 4.39)

Payandalardan, Tujunga Kanalı duvarlarına iletilen kuvvetlerin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermek için sonlu elemanlar metodu ile zemin gerilmesi analizi yapılmıştır. Çapraz kemerler ve borunun oturacağı sandalyelerin birbirine bağlantısı kanal dışında sağlanmış ve bir vinç yardımıyla kaldırılarak önceden hazırlanmış çapraz beton temellere oturtulmuştur (Resim 4.40).

Resim 4.39: Çapraz kemer boru köprüsü

Resim 4.40: Çapraz kemer boru köprüsü montajı

4.8 UYGULAMA

1(4) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BORU HATTI KÖPRÜLERİ

Bu çalışmanın amacı, boru hattı köprülerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Boru hattı köprülerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi

Çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi

İstenenler

Verilen boru hattı köprü türlerinin yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprü türlerine ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, boru hattı köprülerinin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (kamu kurumları, üniversiteler ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
3. Çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
4. Çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
5. Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi ve çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi, sunumu için derlenen veriler, sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.
6. Sistemde oluşan basma ve çekme gerilmeleri saptanır ve çizim hâline getirilir (Şekil 3.43).

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım tekniklerini içeren verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
3	Çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
4	Çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi yapım tekniklerini içeren verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
5	Halatlı asma köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi ve çelik konstrüksiyon köprü ile boru hattının akarsu üzerinden geçişi sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Yük taşıma amaçlı inşa edilen köprüleri araştırınız ve edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.9. YÜK TAŞIMA AMAÇLI KÖPRÜLER

Genel olarak yaya, karayolu, demiryolu vb. köprülerin üzerlerine gelen yükleri, güvenli bir şekilde, uzun yıllar boyunca taşıması amaçlanır. Karayolu ve demiryolu köprüleri kendi zati yüklerini, üzerlerinden geçecek taşıtların oluşturacağı ağırlık ve titreşim yüklerini, rüzgâr ve deprem yüklerini güvenle taşıyacak şekilde projelendirilir ve inşa edilir. Yük taşıma amaçlı köprüler; ticari yük taşıma köprüleri, askeri araçların ve büyük iş makinelerinin engeller üzerinden güvenli ve hızlı bir şekilde geçişlerini sağlamak amacıyla inşa edilen geçici köprüler, yüzer köprüler ve geçici seyyar köprülerdir.

Askeri köprüler, genellikle yüzen orta ayaklar üzerine oturacak şekilde mesnetlendirilir. Her açıklık parçası hareketli olacak şekilde yapılır. Bu köprüler kullanım amacı nedeniyle geçici olarak inşa edilmektedir. Askeri araçların geçişi için yapılan seyyar yüzücü hücum köprüleri; tank ve diğer zırhlı savaş araçlarının akarsular, yumuşak zeminler ve çukur kesimlerden oluşan aralıklı engeller üzerinden hızlı bir şekilde geçişlerinin sağlanması amacıyla tasarlanan geçici askeri köprülerdir.

4.9.1. Yük Taşıma Amaçlı Köprülerin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

İlk askeri köprü, MÖ 537 yılında Persler tarafından akarsu vb. engellerin aşılması amacıyla ahşap malzemeden yapmış ve kullanmıştır. Yol tabliyesinin ahşap bloklar üzerine oturtulmasıyla da askeri köprüler inşa edilmiştir.

Osmanlı yüzer köprüleri ise mimarlık ve teknoloji tarihinin bu geniş bilinmezlik alanı içinde önemli yer tutan, ama bu önemleriyle ters orantılı olarak hemen hemen hiç araştırılmamış bir konudur. Normal kâgir ya da ahşap köprülerle aşılamayacak kadar geniş akarsularla karşılaşıldığında çeşitli kültürler, yüzer köprüler inşa etme zorunluluğu duymuşlardır. Özellikle askeri ve stratejik gereksinmeler yüzer köprü yapımının tarih boyunca ana nedenlerinden biri olmuştur. Engeli geçecek ordu kalabalık, yapım ve geçiş süresi kısıtlı olduğunda bu yola başvurulmuştur.

Yüzer köprü yapımına ilişkin ilk ayrıntılı bilgiler askeri gereksinmelerin bu alandaki belirleyici önemini kanıtlamaktadır. Örneğin Herodotos, Pers Kralı Dareios'un MÖ 513-512 yıllarındaki İskit Seferi sırasında İstanbul Boğazı üzerinde gemilerden oluşan bir köprü yaptırdığını belirtmiştir. Mimar Sisamlı Mandrokles'in yaptığı bu köprünün üzerinden ünlü tarihçiye göre 700 bin kişi geçmiştir. Daha sonra İyonyalılar aynı hükümdar için Istros (Tuna) üzerinde bir başka yüzer köprü inşa etmiştir.

Roma döneminden Osmanlı dönemine geçen zamanda, askeri amaçlı yüzer köprü yapımıyla karşılaşılmamıştır. Ancak, sivil amaçlı yüzer köprüler yapıldığına ilişkin veriler vardır. Kaynaklarda, adı geçen ilk Osmanlı yüzer köprüsü Fatih Sultan Mehmed Han'ın İstanbul kuşatması sırasında Haliç'e kurdurduğu köprüdür. Köprünün yapımına kuşatmanın başlarında başlandığı, gerçekleştirilmesinin ise gemilerin karadan Haliç'e indirildikten sonra mümkün olduğu belirtilmektedir.

Tursun Bey'in Tarih-i Ebü'l-Feth'ine göre Fatih Sultan Mehmed Han Moldavya'daki Kili ve Akkerman kalelerini fethe giderken Tuna üzerinde bir yüzer köprü inşa ettirmiştir. Osmanlı yüzer köprülerine ilişkin ikinci önemli veri Irak'la ilgilidir. Matrakçı Nasuh, Kanuni Sultan Süleyman'ın 1434-35 Irak Seferi sırasında Dicle ve Fırat üzerinde birkaç köprü yaptırdığını belirtir. 17. yüzyıl yüzer köprüsü, yine onun ileride aktarılıp yorumlanan anlatımına göre Tunaboyu için geliştirilen teknikte kurulmuş tipik bir Osmanlı yüzer köprüsüdür. Evliya Çelebi'nin tüm masrafının miri gelirlerinden karşılandığını belirttiği Bağdat yüzer köprüsü sonraki yüzyıllarda da sürekli yenilenip yeniden yapılarak varlığını korumuştur. Irak'ta Türk hâkimiyeti sona erdiğinde ırmak üzerinde aynı tür bir köprünün olduğu belirtilmektedir.

Osmanlı Dönemi'nde yüzer köprüler, öncelikle Balkan ve Tunaboyu'nda geçiş sorunu olarak ele alınmıştır. Geçmişte **kârgir köprü tutmaz** olarak nitelenen Tuna ve kolları gibi geniş ırmaklar üzerindeki yüzer köprüler, savaş sırasında saldırı ve ricat için yaşamsal önemde olmuştur. Rumeli fetihleri sırasında ve sonrasında askeri ve sivil amaçlarla çok sayıda yüzer köprü yapıldığı bilinmektedir. Fakat bu tür köprülerin yapımına ilişkin Osmanlı belgeleri 16. yüzyıl ortalarından başlayarak ortaya çıkmakta ve bunlar giderek çeşitlenmektedir. 1566 yılında gerçekleştirilen Kanuni Sultan Süleyman'ın Zigetvar Seferi'nde ordunun geçmesi için Tuna ve kolları üzerinde yapılacak çok sayıda yüzer köprüye ilişkin uzun bir belgeler dizisi mevcuttur.

Osmanlı yüzer köprüsünün ana bileşenini **tombaz** ya da **tonbaz** adı verilen güvertesiz özel gemi oluşturmaktadır. Evliya Çelebi köprü yapımında tombazın yanısıra kullanılan bir **transa gemisinden** söz ederse de bu terime başka kaynaklarda rastlanmaz. Kimi acil durumlarda ise Tuna üzerinde çalışan değirmen gemilerinin toplatılarak köprü yapımı için kullanıldığı bilinmektedir. Ancak bu istisnai bir durumdur. Yüzer köprünün ana öğesi her çağda **tombaz** denen özel bir tekne olmuştur. Bu tür teknelerin kayık boyutunda olmadığı kesindir. Bir Osmanlı belgesinde üç arabanın yanyana geçecek genişlikte köprüler yapılmasına ilişkin buyruk verildiği belirtilmiştir. Bir yüzyıl sonra Evliya Çelebi de bu genişliği doğrulamıştır. Bağdat'taki yüzer köprü Evliya Çelebi'ye göre üzerinde üç araba yürüyecek derecede enlidir. Bu ise en az 8-9 metrelik bir köprü tahliyesi genişliğinin söz konusu olduğunu, tombaz boylarınınsa 12-13 metreden daha kısa olmadığını göstermektedir.

Daha küçük kayıklardan oluşan bir köprünün ne kadar yavaş akışlı olursa olsun, bir ırmak üzerinde sabitlenemeyeceği açıktır. Kaldı ki askeri gereksinmelerle çok daha geniş köprüler de yapılabildiği anlaşılmaktadır. Yine Evliya Çelebi ordunun, Varat Savaşı'na giderken üzerinden geçtiği yüzer köprünün 800 zirâ (yaklaşık 560 m) uzunlukta ve 50 adım (30 m) genişlikte olduğunu yazmıştır. Bu bilgilerin kuvvetle doğru olduğu söylenebilir. Çünkü kalabalık bir ordunun tüm donanımıyla ince bir köprü üzerinden geçişi büyük ve tehlikeli bir tıkanıklığa yol açabilecektir.

19. yüzyılın sonları Osmanlı yüzer köprü yapım teknolojisi için de bir bitim noktası oluşturmaktadır. Ancak Osmanlı köprücülük teknolojisi bu bitiş noktasına ulaşmadan hemen önce, elindeki birikim ve olanaklarla yüzyıllardır yapabileceği halde, fetih sırasındaki bir girişimden sonra hiç denemediği bir yapımı başaracak, bir Haliç Köprüsü gerçekleştirecektir. Bu köprü standartlaşmış Osmanlı köprücülük alışkanlıklarının büyük oranda dışında kalmaktadır. Çünkü 1836 yılında Unkapanı ile Azapkapı arasında kurulan köprü tombazlar yerine sallarla taşınmaktaydı. Bu tercihin nedeni bilinmemektedir. Ancak sallı sistemde uzun süre ısrar edilmediği anlaşılmaktadır.

1840'lı yıllarda Galata ile İstanbul arasına yapılacak olan köprünün ahşap duba sisteminin taşıyıcıları, üstleri örtülmüş tombaz gemilerinden çok farklı yapılmamıştır. Bu son yapım tekniği aynı güzergâhlarda 1853 ve 1863 yıllarında birer kez daha ve 1863 yılında Ayvansaray-Piripaşa arasında tekrarlandıktan sonra yerli teknolojinin Batı'daki gelişmelere ayak uyduramaması nedeniyle 1870'li yıllarda terkedilmiştir. Sonraki dönemlerde bu alanda (en azından teknolojik açıdan) kayda değer ürünler verildiğine ilişkin herhangi bir veri mevcut değildir. Örneğin 1901 tarihli bir askeri köprücülük kitabında artık yüzer köprü konusunda verilen tüm bilgiler doğrudan batı kitaplarından aktarılmıştır. Böylelikle en az beş yüz yıllık bir yüzer köprü yapı geleneğinin son bulduğu söylenebilir.

Resim 4.41: ABD Ordusu M60 gövdesinde kullanılan AVLB eski sistem kiriş tank köprüsü

20. yüzyıldan itibaren askeri çelik kiriş köprüler, prefabrike çelik elemanların yan yana getirilip monte edilerek hidrolik, elektrik-elektronik vb. sistemler tasarlanarak imal edilmeye başlanmıştır. 1962 yılında ilk prototipi geliştirilen eski sistem M60 tank gövdesinde kullanılan AVLB tank köprüsü Resim 4.41'de verilmiştir.

Almanya'da 1965 yılında, Leopard 1 tankları BUNDESWEHR (Almanya Federal Cumhuriyeti Silahlı Kuvvetleri) ile hizmete girmiş, bunların işletilmesini ve kullanılmasını sağlamak için yeni mühendislik ekipmanlarının geliştirilmesine başlanmıştır.

Özellikle birleşik Leopard şasisi üzerine yeni bir köprü katmanı inşa edilmesi için 1968 yılında Leopard 1 şasisinin kullanılarak tasarımı gizli döşeme sağlayacak olan makineye 60 ton taşıma kapasiteli köprü takılmıştır. Aynı zamanda operasyon sırasında mürettebatın zırhlı gövdenin içinde kalması için proje geliştirilmiştir.

Eylül 1968 yılında, tank köprüsü geliştirme projesi katılımcıları deneysel ekipmanların yapılması kapsamında test için iki iş makinesi ve her türden üç köprüye monte edilmesi çalışmalarını yapmışlardır. Ağustos 1970 yılında BUNDESWEHR, test sonuçlarını analiz etmiş ve başarılı bulmuştur. Bu testlerden sonra, projede ince ayarların yapılması ve üretime hazırlanması çalışmaları yaklaşık bir buçuk yıl sürmüştür. 1972 yılında köprü kurulumu ve montaj çalışmaları başlatılmıştır.. Böylece ilk üretilen tank köprüsü, 1973 yılında Alman ordusu envanterine girmiştir.

Alman Biber Tank Köprüsü, tasarımında minimum değişiklikle Leopard 1 tankı temel alınarak inşa edilmiştir. Köprünün tüm modifikasyonları ve montajından sonra ağırlığı 45 tonu aşmıştır. Ancak sürüş özellikleri aynı seviyede kalmıştır.

Köprü tabakası; Kunduz, Leoparlar ve diğer zırhlı araçlarda aynı sistemde çalışmaktadır. Köprünün çalıştırılması için mühendislik ürünü yeni cihazlar geliştirilmiştir. Gövdenin alt ön kısmında, operasyon sırasında destek olarak kullanılan bir buldozer bıçağı konulmuştur. Üst tarafta, köprüyü kontrol etmek için tahrikli bir kaldırma bomu ve arka tarafına döşenmesi için hareketli bir destek yerleştirilmiştir. Tüm bu birimlerin çalışması, ana tankta bulunmayan bir hidrolik sistemle sağlanmıştır (Resim 4.42).

Resim 4.42: Alman, Biber tank köprüsü

4.9.2. Yük Taşıma Amaçlı Köprülerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Türkiye Cumhuriyeti Milli Savunma Bakanlığı tarafından 2005 yılında başlatılan proje ile Samur Seyyar Yüzücü Hücum Köprüsü geliştirilmiştir. Proje ile 2011 yılında hem karada hem de suda hareket kabiliyetine sahip TSK (Türk Silahlı Kuvvetleri) Samur Seyyar Yüzücü Hücum Köprüsü, karada saatte 100 kilometre, suda yaklaşık 20 kilometre hıza ulaşabilmektedir. Karada bir tırı andıran suya girdiğinde tekerleklerini içine çekerek adeta bir gemiye dönüşen Samur; 12 metre uzunluğa, 4 metre genişliğe ve 3,5 metre yüksekliğe sahiptir. Samurlar, akarsu geçişlerinde yapbozun parçaları gibi yan yana getirilerek onlarca metre uzunluğunda bir köprüye dönüşmektedir. İki samur, birleştiğinde 20 metrelik köprü oluşturarak 70 tonluk tankı karşı kıyıya geçirebilmektedir (Resim 4.43).

Resim 4.43: TSK Samur SYHK askeri köprü sistemi

2 adet pompa jeti ile suda sürüş ve 360^0 manevra kabiliyeti olan SAMUR SYHK Sistemi 2,5 m/s'ye kadar akıntılı sularda operasyon yapabilmektedir. Tek başına askeri yük sınıfı (AYS) 21 paletli araç, iki adet sistemin yan yana gelerek birleşmesi ile oluşturulan ikili nakliye takımında AYS 70 paletli araç ve üç adet sistemin yan yana gelerek rampalarından birleşmesi ile oluşturulan üçlü nakliye takımında AYS 100 tekerlekli araç taşıma kabiliyetine sahiptir.

SAMUR SYHK Sistemi'nin 12 adedi bir araya getirilerek 150 m uzunluğunda bir köprü oluşturmakta ve araçların kıyılar arası geçişine olanak sağlamaktadır (Resim 4.44).

Resim 4.44: TSK Samur SYHK askeri köprü sistemi

Almanya Federal Cumhuriyeti Ordusu'na ait Biber Tank Köprüsü, 22 m uzunluğunda ve 60 ton taşıma kapasiteli köprü yapısına sahiptir. Yapımı sırasında makas düzeni yerine sürme düzeni kullahâlenılmıştır. Biber makinesi için palet köprüsünün kütlesi yaklaşık 10 ton ve her biri 11 m uzunluğunda iki bölümden oluşturulmuştur.

Köprünün toplam genişliği 4 m, mastar elemanlarının her biri 1,5 m'dir. Her bölüm iki adet uzunlamasına kutu şeklinde kama biçimli elemandan oluşturulmuştur. Her kirişin geniş ucunda, çalışma pozisyonunda bağlantı için kilitler sağlanmıştır. Kirişler arasında, köprü tabakası bomu ve mekanizmalahâleıyla etkileşime giren cihazlar mevcuttur.

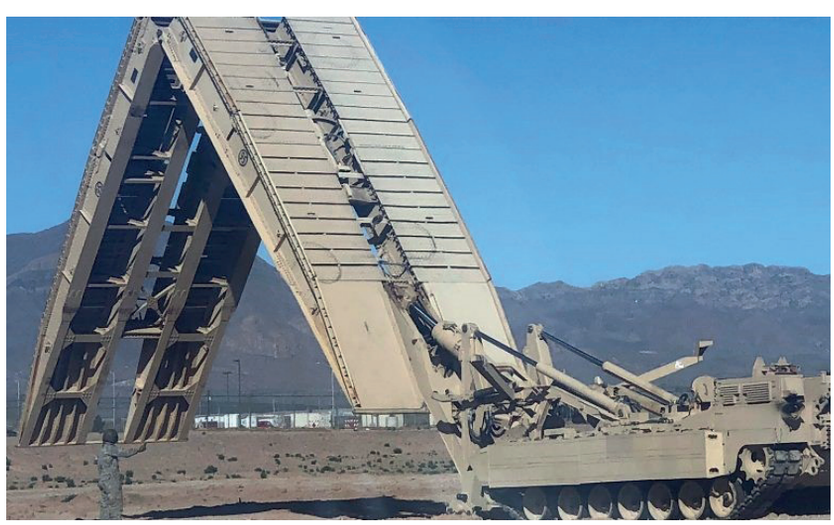
Kirişler arasındaki lentolar, köprü bölümünün iki parçaya ayrılmasını mümkün kılmıştır. Bu formda, özel bir yarı römorkta veya demiryolu ile taşınabilir. Zırhlı bir araca yeniden montaj ve montajın ardından köprüyü çalışmaya hazır hâle getirme kabiliyeti vardır.

Resim 4.45: Almanya, Biber tank köprüsü

Köprü tabakasının çalışma prensibi, sökülen köprü yapısının her iki yarısı da Kunduz tankının bom ve arka desteğine üst üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, hendeğin veya başka bir bariyerin karşı kenarında yer alması gereken alt kısmında bir tane daha vardır. Engele yaklaşırken köprü bıçağı indirilir ve köprünün bölümleriyle birlikte bomu kaldırılarak sistem kurulur (Resim 4.45).

ABD ordusunda, M1074 olarak da adlandırılan müşterek hücum köprü sistemleri, M1A1 Abrams ana muharebe tankına (MBT) dayanan paletli bir zırhlı askeri mühendislik köprüsüdür. M1074, askeri operasyonlar icra eden birimler için konuşlandırılabilir köprü yeteneği kazandırmak için tasarlanmıştır.

Sistem, M1A1 Abrams tank gövdesine dayanan hidrolik köprü rampası M1A2'ye entegre edilen geliştirilmiş süspansiyon sistemine sahiptir. Bu tank köprüsü yapılana kadar herhangi bir askeri aracı kaldırabilecek köprünün bölümlerinin hızlı bir şekilde yerleştirilmesi için tasarlanmış AVLB-Zırhlı Araç Fırlatma Köprüsü kullanılmıştır. Yeni sistem, mevcut AVLB şasi hücum köprüsünün değiştirilmiş modifikasyonlarını içermektedir. Sistem Deniz-Hava-Kara güçlerindeki M1 Abrams kullanan birimleri desteklemek amacıyla tasarlanmıştır. ABD ordusu, Müşterek Hücum Köprüsü programının ana yükleniciliğini 2010 yılında ABD Deniz Kuvvetleri'nden devralarak yürütmektedir (Resim 4.46).



Resim 4.46: ABD, M1A1 Abrams ana muharebe tankına paletli bir zırhlı askeri mühendislik köprüsü

4.10 UYGULAMA

2 (6) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

YÜK TAŞIMA AMAÇLI KÖPRÜLER

Bu çalışmanın amacı, yük taşıma amaçlı köprülerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Yük taşıma amaçlı köprülerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Seyyar askeri hücum köprüleri

Tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprüler

İstenenler

Verilen yük taşıma amaçlı askeri köprü yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprü türlerine ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, yük taşıma amaçlı köprülerin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (kamu kurumları, üniversiteler ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Seyyar askeri hücum köprüleri yapım teknikleri, farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Seyyar askeri hücum köprüleri yapım teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
3. Tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprü yapım teknikleri, farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
4. Tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprü yapım teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
5. Seyyar askeri hücum köprüleri, tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprü sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Seyyar askeri hücum köprüleri yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Seyyar askeri hücum köprüleri yapım tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
3	Tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprü yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
4	Tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprü yapım tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
5	Seyyar askeri hücum köprüleri, tank ve zırhlı araçlara modifiye edilmiş askeri köprü sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Osmanlı Dönemi su kemeri köprülerini araştırınız ve edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.11. SU KEMERİ KÖPRÜLERİ

İki yüksek açıklık arasındaki vadi, akarsu vb. engellerden suyu aşırmak amacıyla eş yükseltideki iki nokta arasını bağlayan, pâyeler ve kemerler üzerinde yükseltilmiş köprülere **su kemeri köprüsü** denir.

Su kemeri köprüleri, üzerindeki kanallardan akıtılan suyun serbest biçimde akışını sağlamak için çok hassas bir yükseklik ve eğim hesaplaması gerektiren sanat yapılarıdır. Arazinin durumuna göre bazen kilden bazen künklerle toprağın altından bazen de kayalık arazilerden kayaların üzerine oyulan kanallar ile su taşınmıştır. Taşınan su; arazi taşı, kesme taş, tuğla ve bağlayıcı malzeme Horasan harcı kullanılarak inşa edilen su kemeri köprüleriyle istenilen yere ulaştırılmıştır.

4.11.1. Su Kemeri Köprülerinin Yapıldıkları Dönemlere Göre İncelenmesi

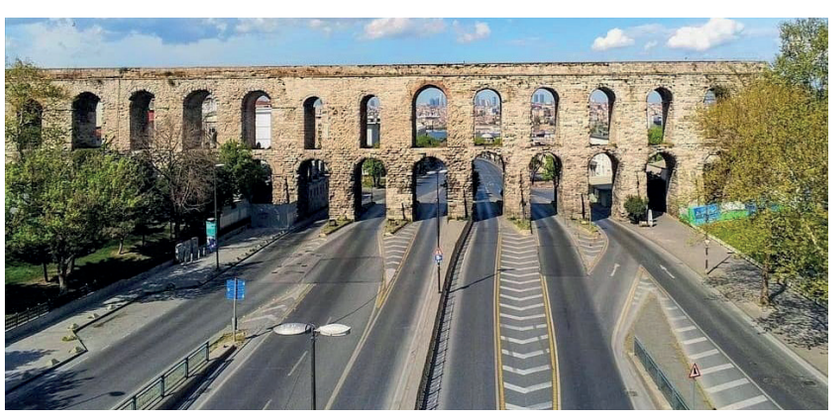
Su kemeri köprülerinin ilk örneği Asurlular'ın MÖ 494-490 yılları arasında Irak'ın kuzeyinde Ninevâ Jervan'da inşa ettikleri su kemeridir. Helenistik ve Roma dönemlerinde su kemeri sanat yapılarının en gösterişli örnekleri inşa edilmiştir.

MÖ 145'te Praetor Marcius'un Roma'ya su getirmek için yaptırdığı ve uzunluğu 90 km'yi aşan su yolunun 10 km'lik kısmında su kemerleri kullanılmıştır. MÖ 33 yılında Agrippa'nın inşa ettirdiği su yolunun 9,5 kilometrelik kısmını su kemerleri oluşturmuştur. MÖ 36 yılında yapılan Caligula su yolunun 14 km'lik kısmında yine su kemerlerinden faydalanılmıştır. İspanya'da İmparator Trajanus devrine ait Segovia Su Kemeri çift katlı 109 kemerden oluşur. Romalılar'ın Kuzey Afrika'da Cezayir'in Kostantine şehrine su getirmek için inşa ettikleri Antonianus Su Kemeri ve Caeserea'ya su taşıyan 16 km'lik su yoluna ait 24 m yüksekliğindeki su kemeri önemli örneklerdendir.

İstanbul'da Geç Roma-Erken Hıristiyanlık dönemlerinde yaptırılan en önemli su kemeri olan Bozdoğan Kemeri'nin İmparator Hadrianus Devri'ne ait bir su yolunun önemli bir parçası olduğu ve Büyük Konstantinos zamanında onarılarak Trakya'dan getirilen bir su şebekesine bağlandığı kabul edilir. Bozdoğan Kemeri, Osmanlı Dönemi'nde çeşitli onarımlardan sonra Halkalı su yollarının bir parçası olarak kullanılmıştır.

Bozdoğan Su Kemeri, İstanbul'un üçüncü (Fatih) ve dördüncü (Beyazıt) tepeleri arasında yer almakta olup Valens tarafından yaptırıldığı kabul edilmiştir. Bu nedenle Valens Su Kemeri adıyla da anılır. Su kemeri, Hadrianus ve 1. Theodosios dönemlerinde inşa edilen şehir dışı su tesislerine bağlantılıdır ve Trakya'daki sulardan beslenmektedir.

Kesme taştan inşa edilen Bozdoğan Su Kemeri'nin bazı kısımlarında tuğla kullanılmıştır. En üst noktası 61 metre yüksekliğe sahip kemerin, Fatih tarafındaki 50 metrelik bölümü eksik olarak günümüze ulaşmıştır. Eksik kısımları da hesaplandığında 971 metre uzunluğu sahip olan kemerin 1-17. gözleri tek sıra, 18-73. gözleri ise çift sıra inşa edilmiştir.



Resim 4.47: Bozdoğan Su Kemeri

Bozdoğan Su Kemeri'nin en üst kısmı, ilk yapıldığında açık bir kanal şeklinde inşa edilmiştir. Osmanlı Dönemi'nde açık kanal yerine künkler döşenmiş ve sonrasında demir borular döşenerek kapatılmıştır. Geç Roma ve Bizans dönemlerinde İstanbul'un su ihtiyacını karşılayan kemer, Osmanlı Dönemi'nde çeşitli eklemeler ve onarımlar ile su şebekesinin önemli bir parçası olarak kullanılmıştır (Resim 4.47).

Aynı döneme ait bir başka su kemeri Mahmutbey-Atışalanı arasında Uzuncaova Deresi üzerindeki Mâzul Kemer'dir. IV. yüzyılda inşa edilen bu kemer kuvvetle ihtimal Valens zamanında inşa edilmiştir. V. Konstantinos Devri'nde onarılan bu su kemeri Fatih Sultan Mehmed Han zamanında yapılan onarımlardan sonra Türk devrinde de kullanılmıştır. Kalkertaşı bloklarından, iki sıra kemerli olarak inşa edilen Mâzul Kemer 110 m boyundadır.

Anadolu'da Roma Dönemi'ne ait çok sayıda su kemeri örneği bulunur. Aspendos'a Köprüçay üzerinden, kuzeydeki dağlardan su getiren kemerler II. yüzyılda inşa edilmiştir. 30 metreden fazla yüksekliği olan çift katlı kemerlerden oluşan bu su yolu, parçalar hâlinde günümüze ulaşmıştır. Side'ye Manavgat Çayı'ndan su getiren 30 km uzunluğundaki yolun değişik kısımları blok taşlarla inşa edilmiştir. MS II. yüzyıla ait kemerler kullanılmıştır.

Antakya'ya Harbiye'den su getiren Trajan Su Kemeri'nin kalıntıları kalmıştır. Kayseri'ye Gürpınar suyunu getiren on üç gözlü kemer 172 m boyunda inşa edilmiştir. İzmit'e su taşıyan Üçtepeler Su Kemeri, Ağa Deresi üzerinde ve 100 m uzunluğundadır. Bergama'ya Madradağı'ndan su getiren sistemin önemli bir parçası olan tek göz sırasından oluşan su kemerinin kalıntıları günümüze kadar gelmiştir.

Efes'te Ayasuluk'a doğu yönünden su getiren kemerler kısmen sağlam durumdadır. Milas'ın doğu kısmındaki su kemeri iki katlıdır. İznik'te Justinianus Devri'ne ait su kemeri kalıntıları Lefke Kapısı yakınında görülmektedir. Trabzon'da İmaret Deresi'nin üzerinde 30 m boyundaki su kemerinin Justinianus Devri'nde inşa edildiği belirtilmektedir. Sümela Manastırı'na su getiren çok gözlü kemer bir yamaca yaslanarak inşa edilmiştir.

Osmanlı İmparatorluğu'nun farklı bölgelerinde çok sayıda su kemerleri inşa edilmiştir. İstanbul'da sayıları kırk civarında olan önemli örnekler bulunmaktadır. Şehrin en önemli su şebekesi olan Kırkçeşme su tesisi üzerinde otuz beş adet kemer mevcut olup bunlardan altısı iki veya üç katlı anıtsal örneklerdir.

Resim 4.48: Mağlova Su Kemeri

I. Theodosios Devri'nde inşası yapılan Kırkçeşme su hattı, VII. yüzyıl başlarından itibaren batıdan gelen saldırılar sırasında tahrip edilmiştir. Bu tesis, 1563 yılında meydana gelen kasırga ve selin ardından yıkılmıştır. Yıkılan tesis Mimar Sinan tarafından yeniden yapılmıştır. Tesisin en muhteşem yapıları Mağlova Su Kemeri, 257 m boyunda ve 35 m yüksekliğinde iki katlı kemerdir (Resim 4.48).

Uzun Kemer, Eyüp Sultan Kemerburgaz ormanlığının kuzeyinde Göktürk Mahallesi girişinde inşa edilmiştir. Kâğıthane Deresi üstündeki kemerin 1563 yılında meydana gelen kasırga ve selin ardından 16 gözü tamamen yıkılmış, diğer kısımları da hasar görmüştür. Uzun Kemer, Mimar Sinan tarafından Roma devrinden kalan temelleri üzerine tekrar inşa edilmiştir. Türkiye'nin günümüzde ayakta kalan en uzun su kemeridir. İki katlı inşa edilen kemer, 710 metre uzunluğa ve 26 metre yüksekliğe sahiptir. Alt katında 47 ve üst katında 50 olmak üzere toplam 97 kemer bulunmaktadır. Kemerlerinin üst gözleri alt gözlere göre daha kısa olarak tasarlanmıştır (Resim 4.49).

Resim 4.49: Uzun Kemer kısmi görünümü

Roma Dönemi'ne ait olan ancak Türk devrinde yenilenen kemerlerden biri olarak kabul edilen Kovukkemer (Kırıkkemer) üç kat hâlinde inşa edilmiştir. Cebeciköy Deresi üzerindeki Güzelcekemer (Gözlücekemer) altta sekiz, üst katında on bir göze sahip, dokuz pâyenin taşıdığı 165 m boyunda bir su kemeridir. Tesisin doğu kolu üzerindeki Paşa Kemeri (Balıkzâde Kemeri) Mimar Sinan tarafından yapılmıştır. Cebeciköy Deresi'nin ara kollarından birinin üzerine kurulan Karakemer, Develioğlu Kemeri, Vâlide Kemeri ve Alacahamam Kemeri tek katlı diğer önemli kemerlerdendir.

I. Mahmud Dönemi'nde inşası gerçekleştirilen Taksim su sistemi üzerindeki kemerlerden en önemlisi yirmi bir gözlü olan 400 m uzunluğundaki I. Mahmud Kemeri'dir. Sadece üstünde kurulmuş olduğu derenin üzerindeki kısmı iki kemer sırası hâlinde yapılmıştır. Bu iki kemer sırasına göre daha küçük boyutlardaki Bahçeköy Kemeri ise 1144 yılında 150 m uzunluğunda inşa edilmiştir.

Halkalı sularına ait Şirinkemer adıyla da bilinen Ali Paşa Kemeri, Atışalanı-Metris Çiftliği yakınında Ayvalı Deresi'nin kolu üzerinde kurulmuş çift sıra kemerli bir yapıdır. Aynı bölgede Mimar Sinan'ın eseri olan Avasköy Kemeri (Yılanlıkemer, Tekkemer) on bir gözlü, tek katlı olup kalker bloklarından inşa edilmiştir. Halkalı sularının Süleymaniye yolu üstündeki tek gözlü Kumrulu Kemer (Akyar Kemeri), üç gözlü Karakemer ve Beyazıt su yolu kesişiminde Turunçlu suyunu şehre taşıyan Paşa Kemeri klasik su kemerleridir.

Kanûnî Sultan Süleyman Dönemi'nde Haseki Hürrem Sultan adına Edirne'nin kuzeydoğusundaki Taşmüsellim, Hıdırağa köylerinden ve Kurtalçağı Deresi gibi kaynaklardan şehre su getirilmiştir. Bu su tesislerin Selimiye Camisi ve Külliyesi'nin inşası sırasında Mimar Sinan tarafından inşa edildiği kabul edilir. Kesme taştan yapılmış ve tek sıra hâlinde sivri kemerlerden oluşan bu su kemerleri; Hançerli Kemer, Ortakçı Kemeri, Arap Kemeri, Çiftekemer, Kurt Kemeri, Yedigöz Kemeri, Hıdırağa Kemeri, Üçgöz Kemeri, Oğlanlı Kemeri, Hasanağa Kemeri'dir. Zamanla harap olan su kemerlerinin onarımı, 1890 yılında Edirne Valisi İzzet Paşa tarafından yaptırılmıştır.

Kadifekale'deki eski İzmir'e su getiren Bizans dönemine ait su kemeri Şirinyer'de (Kızılçullu) Kemer Çay'nın üzerine inşa edilmiştir. Üç kat kemerli bu tesis Osmanlı döneminde defalarca onarılarak XVII. yüzyılın ortalarına kadar kullanılmıştır. Aynı yüzyılın ikinci yarısı içlerinde Sadrazam Köprülüzâde Fâzıl Ahmed Paşa tarafından Vezirsuyu diye anılan suyu şehre getiren su yolu ile Vezirkemeri inşa edilince eski su yolları iptal edilmiştir. 160 m uzunluğundaki Vezirkemeri beden kısmı kaba taştan, sivri kemerleri tuğladan yapılmış ve kemer aralarında tuğladan hafifletme kemerleri kullanılmıştır.

Anadolu'daki örnekler içinde Safranbolu'ya su getiren ve İncekaya Köprüsü yakınında bulunan su kemeri Sadrazam Safranbolulu İzzet Mehmed Paşa tarafından 1794-1798 yılları arasında yaptırılmıştır. 116 m uzunluğunda ve 60 m yüksekliğindeki kemerin inşasında moloz taş kullanılmıştır. Biri büyük ve beşi küçük kemerden oluşturulmuştur. Pınarbaşı su kaynağından Kırkgöz suyunu Kahramanmaraş'a taşıyan Akdere Su Kemeri 4,10 m genişliği ve 1,10 m kemer açıklığı olan tek bir sivri kemerle vadiyi aşmaktadır. Moloz taş üzerine kesme taş kaplamalı kemer günümüzde harap olmuştur.

Balkanlar'da Türk döneminde yaptırılan anıtsal su kemerleri içinde Yunanistan-Kavala'da Kanûnî Sultan Süleyman zamanında inşa edilen çift katlı su kemerinde kalın pâyeler arasına atılan alt kat kemerleri üst kata göre daha geniş tutulmuş, üst kat kemerleri arasına altlı üstlü hafifletme gözleri yapılmıştır.

Üsküp'ün kuzeybatı kısmındaki Mustafa Paşa Su Kemeri Banya Dağı'ndan elli beş kemerle su getiren 3800 metrelik bir yapıdır. Bu kemer XIX. yüzyılın başında Hamza Paşa tarafından tamir ettirilmiştir. Kesme taş ve moloz taştan yapılmış olup kemerlerinde tuğla kullanılmıştır.

Ayamavra Adası, Osmanlı hâkimiyetindeyken XVI. yüzyıl ortalarındaki imar faaliyetleri sırasında inşa edilen su yoluyla 3 km uzaklıktaki bir kaynaktan su taşınmıştır. Bu tesisin su kemeri 360 gözlüdür.

Kıbrıs'ta Limasol-Larnaka arasındaki su kemeri Ebûbekir Paşa tarafından 1746-1750 yılları arasında tek katlı ve üç parça olarak yaptırılmıştır.

Avrupa'da XVIII. yüzyılda Kral V. John tarafından Lizbon'da yaptırılan 18 km uzunluğundaki Aguas Livres Su Kemeri ile 1848 tarihli Marsilya su yoluna ait Roquefavour Su Kemeri sanat yapılarına en muhteşem örneklerindendir.

4.11.2. Su Kemeri Köprülerinin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Roma Dönemi'nde yapılan su kemerlerinde, kemer kalınlığı yukarıdan aşağıya sabit tutulmuştur. Günümüzde hidrolik prensiplerde belirtildiği üzere bu durumun teknik olarak sakıncalı olduğu belirtilmektedir. Osmanlı Dönemi su kemerlerine Mimar Sinan damgasını vurmuştur. Mimar Sinan'ın tasarımlarında kemer kalınlığının yukarıya doğru düşürüldüğü ve kesit boyunca aynı olmadığı görülmekte, bu da tekniğin dikey ağırlık açısından tasarımını elverişli hâle getirmektedir.

Mimar Sinan'ın çeşitli formlarda ve açıklıklarda inşa ettirdiği kemerler; kapı, pencere boşluklarının örtülmesinde, köprü ve su kemerlerinde, kubbe taşıyıcı olarak revak ve iç mekânlarda kullanmıştır. Stürktürel dayanımları bakımından büyük açıklıklı kemerler, taş malzemeden yapılmıştır. Ayrıca duvar örgüsündekine benzer biçimde taştuğla almaşık kemerler de uygulattırmıştır (1 sıra taş/2 sıra tuğla ve 1 sıra taş/3 sıra tuğla düzenleri). Kemer taşlarında yaygın olarak küfeki taşı kullanılmıştır.

Mimar Sinan, Mağlova Su Kemeri ayaklarında yükü azaltmak için hafifletme kemeri kullanmıştır. Üç katlı kemerin alt katında, her bir ayakta birer tane 18,4 metre genişliğinde hafifletme kemeri bulunmaktadır. Hafifletme kemerleri taşkın durumunda suyun geçişini kolaylaştırır. Orta katta yine kemer ayaklarına 13,4 metre hafifletme kemeri yapılmıştır. Bu kemerlerin yapılma amacı rüzgâr yüküne karşı emniyet sağlamaktır. Aynı zamanda temele giden ağırlık azaltılmıştır.

Kemerin üst katında şehre su taşıyan su galerisi bulunmaktadır. Bu galeriler suyun rahat akabilmesi için belirli eğimlerle yapılmıştır. Gelen suyun debisinin çok olacağı zamanlarda, galeriye fazla yük etkisi nedeniyle istenmeyen hasarların meydana gelmemesi için galerinin başlangıç ve sonunda taşıntı olukları inşa edilmiştir.

Mimar Sinan'ın eserlerinde taş duvar yüzeylerinin işlenişi çoğunlukla ince yonu tekniğindedir. Kesme taş kaplama yüzeylerde ve ayaklarda kenar şeritli ince yonu örgü gözlenmektedir. Bosajlı duvar örgüsü yalnız su kemerlerinde uygulanmıştır. Mağlova Su Kemeri'nde 7-7,5 cm genişliğinde kenar şeritleri ve 3,5-6,5 cm taşkınlık yapan taş bloklar bulunmaktadır.

Deniz seviyesinden 63 metre yukarıda bulunan Bozdoğan (Valens) Su Kemeri'nin uzunluğu 971 metre, yüksekliğinin maksimuma ulaştığı noktanın yerden yüksekliği 29 metre ve eğimi 1/1000'dir. Düzenli bir duvarcılığa sahip olmayan yapıda kesme taşlar ve tuğlalar kullanılmıştır. İlk katında, düzgün dörtgen taş blokların kullanıldığı yapının üst katları, dörtgen ve yedigen taşların çimento ve demir mengeneler vasıtasıyla birbirlerine kenetlenmesi ile oluşturulmuştur. 4 Kemerlerin genişliği 7,75 metre ile 8,24 metre arasında değişmektedir. Sütunların kalınlığı 3,70 metre ve kavisler 4 metre genişliğindedir.

Bozdoğan Kemeri'nin Dalman tarafından çizilen sistem rölövesinde, 1509 yılındaki depremde yıkılan bölümüyle birlikte uzunluğu 971 metre olduğu bilinmektedir. Restorasyon sırasında, kemerin Atatürk Bulvarı'nın geçtiği bölgedeki zemininin zamanla 4 metre kadar dolmuş olduğu tespit edilmiştir. Kemerin ilk yapıldığı 642 yılında yüksekliğinin 27 metre olduğu anlaşılmıştır. Başlangıç bölümünde kemerin üst seviyesinin kotu 63,5 metre, kemerin toplam göz sayısı 86 olduğu, belli bir yere kadar bir katlı devam ettiği ve duvar kalınlığının 5,65 metre olarak sabit kaldığı tespit edilmiştir. Vezneciler bölümünde ise duvar kalınlığı değişkendir. Yıkılmış olan bölümün uzunluğu yaklaşık 335 metredir.

SIRA SİZDE

Osmanlı Dönemi'nde Anadolu'da inşa edilen su kemerlerinin adlarını, kemer açıklık ve uzunluklarını aşağıdaki boşluğa yazınız.

4.12 UYGULAMA

2(6) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

SU KEMERİ KÖPRÜLERİ

Bu çalışmanın amacı, su kemeri köprülerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Su kemeri köprülerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Kırıkkemer (Eğrikemer, Kovukkemeri)

Paşa Kemeri (Balıkzâde kemeri)

İstenenler

Verilen su kemeri köprülerinin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, su kemeri köprülerinin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (kamu kurumları, üniversiteler ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kırıkkemer'in yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Kırıkkemer'in yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Kırıkkemer'in yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
4. Paşa Kemeri'nin yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Paşa Kemeri'nin yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Paşa Kemeri yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
7. Kırıkkemer ve Paşa Kemeri sunumu için derlenen veriler, sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ		Evet	Hayır
1	Kırıkkemer'in yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Kırıkkemer'in yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Kırıkkemer'in yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
4	Paşa Kemeri'nin yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Paşa Kemeri'nin yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Paşa Kemeri'nin yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Kırıkkemer ve Paşa Kemeri sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Viyadüklerin inşa sürecini araştırınız ve edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.13. VİYADÜKLER

Yüksek ve zorlu arazi koşullarında vadi, akarsu vb. diğer engellerin üzerinden geçmek için inşa edilen sanat yapılarına viyadük denir. Viyadükler; engelleri düz bir çizgide geçmek yerine, zemini şekillendiren doğal engellerin üzerinden yükselerek geçmek amacıyla yapılır. Viyadükler, zorlu coğrafi bölgelerde ulaşımı kolaylaştırmak, zaman ve tasarrufu sağlamak ve trafik akışını azaltmak için tercih edilen yüksek köprü benzeri sanat yapılarıdır.

Avrupa'da inşa edilen viyadükler, ülkemizin zorlu coğrafyasında ulaşımı kolaylaştırarak zaman tasarrufu sağlanması amacıyla sıkça yapılmaktadır. Köprü ve viyadük arasındaki en temel fark; köprü fiziksel (akarsu, karayolu, demiryolu vb.) engelleri aşmak için inşa edilirken viyadük bir vadi, akarsu ya da geçidin üzerinden yüksek geçişi sağlamak için inşa edilmektedir.

İlk viyadük, 1844-1847 yılları arasında Almanya'da inşa edilmiştir. Roma su kemerlerine benzeyen viyadüğün yapımında taş malzeme kullanılmıştır. 1847 yılında tamamlanan viyadüğün uzunluğu 400 m, genişliği 10 m, yüksekliği ise 20 m olarak yapılmıştır. 400 metrelik açıklığı geçmek için 28 adet kemer kullanılmıştır.

4.13.1. Viyadükler ve Kullanım Amaçları

Viyadükler, kullanım amaçları doğrultusunda farklı tür tasarımlarla inşa edilebilen sanat yapılarıdır.

Kiriş viyadükleri, ana yapı elemanlarının kirişlerle oluşturulduğu yaygın bir viyadük türüdür. Kemer viyadükleri, kemerlerin dayanıklılığı nedeniyle yüksek mesafelerin geçilmesinde etkileyici sanat yapıları olarak inşa edilmektedir. Sarkaç viyadükleri, orta açıklıklı inşa edilen viyadüklerdir. Denge kiriş viyadükleri, uzun açıklıkların geçilmesinde tercih edilen ve büyük kirişlerin denge prensibiyle inşa edilen viyadük türüdür.

Ülkemizde kullanım amaçları doğrultusunda inşa edilen önemli viyadük örnekleri ele alınarak aşağıda açıklanmıştır.

2022 yılında inşası tamamlanarak hizmet vermeye başlayan Türkiye'deki en yüksek ayaklı viyadük, Konya ile Antalya arasındaki 166 metre yüksekliğindeki Eğiste Viyadüğü'dür.

Türkiye'nin en uzun ve en yüksek dengeli konsol viyadüğü olan Eğiste Hadimi Viyadüğü toplam uzunluğu 1372 m ve toplam genişliği ise 25 m olarak inşa edilmiştir. Viyadükte 2 kenar ayak ve yükseklikleri 31 m ile 155 m arasında değişen 8 adet orta ayak bulunmaktadır (Resim 4.50).

Resim 4.50: Eğiste Hadimi Viyadüğü

2022 yılında inşası tamamlanarak hizmet vermeye başlayan Türkiye'deki en yüksek ikinci ayaklı viyadük ise 150 metre yüksekliğinde, 628 metre uzunluğundaki Artvin ili Yusufeli ilçesinde Çoruh Nehri üzerinde inşa edilen Tekkale Viyadüğü'dür (Resim 4.51).

Resim 4.51: Tekkale Viyadüğü

3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Projesi, ülkemizde en fazla viyadük yer alan projedir. Projede 64 adet viyadük yer almaktadır. Proje kapsamında Avrupa Yakası'ndaki V16 Viyadüğü ve Asya Yakası'ndaki V26 Viyadüğü inşa edilen en uzun viyadüklerdir.

V06 Viyadüğü, 480 m uzunluğunda, 50 m açıklıkta ve 91 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. V06 Viyadüğü, proje kapsamındaki en yüksek ayak yüksekliğine sahip olan viyadüktür. Proje kapsamındaki viyadükler, ardgermeli ve itme sürme yöntemi ile inşa edilmiştir (Resim 4.52).

Resim 4.52: 3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Projesi V06 Viyadüğü

1996 yılında inşası tamamlanan TAG Otoyolu'nda inşa edilen 14 viyadükten en büyüğü olan Atatürk (Nurdağı) Viyadüğü, 801,5 metre uzunluğu, 149,5 metre yüksekliğiyle, yapıldığı dönemde Avrupa'nın ikinci, Türkiye`nin en büyük viyadüğü olma özelliğini taşımaktadır. 36 m genişliğindeki başlık kirişleri, tüm viyadük ayakları boyunca ardgermeli olarak inşa edilmiştir. Gidiş ve dönüş tabliyeleri tek bir başlık kirişi üzerine oturmaktadır (resim 4.53).

İnşası 2019 yılında tamamlanarak hizmet vermeye başlayan Derevenk Viyadüğü, ülkemizin doğusuyla batısı arasındaki transit trafiğe hizmet vermektedir. Kayseri-Malatya Devlet Yolu ile Kayseri Güney Çevre Yolu'nun bağlandığı kesimde yer alan Derevenk Viyadüğü, dengeli konsol sistemi ile inşa edilmiştir. 330 m uzunluğu, 160 m orta açıklığı, 85 m kenar açıklıkları bulunan viyadük 2x2 şeritli, toplam platform genişliği ise 11,75 m olarak yapılmıştır (Resim 4.54).

Dünyada önemli viyadükler arasında Millau Viyadüğü, Fransa'da inşa edilen önemli ve etkileyici bir yapıya sahip bir viyadüktür. Akashi Kaikyo Köprüsü, Japonya'da inşa edilen dünyanın en uzun ana açıklığına sahip ve depreme dayanıklı bir viyadüktür. Siduhe Yayalı Viyadüğü, Çin'de inşa edilen yüksekliği ve manzarasıyla etkileyici bir viyadüktür.

Resim 4.53: Gaziantep, Atatürk (Nurdağı) Viyadüğü

Resim 4.54: Kayseri, Derevenk Viyadüğü

4.13.2. Viyadüklerin Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

Viyadükler, yapısal özelliklerine göre farklı tiplere ayrılır. Bu viyadük tipleri aşağıda verilmiştir.

Kirişli Viyadükler: En yaygın viyadük tipidir. Kirişler, kolonlar ve ayaklar tarafından desteklenir.

Kemerli Viyadükler: Estetik açıdan etkileyici olan bu tip viyadüklerde, yük kemerler tarafından taşınır.

Askılı Viyadükler: Kablolar ile desteklenen bu tip viyadükler, uzun açıklıklarda kullanılır.

Gövdeli Viyadükler: Tek bir taşıyıcı gövdeye sahip olan bu tip viyadükler, eğimli arazilerde tercih edilir.

Betonarme viyadük elemanları; öngermeli kirişler, kolonlar, temeller ve elastomer mesnetlerdir. Köprü ve viyadük elemanları arasında ön planda tutulan öngermeli köprü kirişleri, karayolu ve otoyol projelerinde oldukça sık kullanılan yüksek mukavemetli beton ile üretilen uzun açıklıkları olan yapılardır. Öngermeli köprü kirişleri; yapıların kurulumunda, ayakların üzerinde, aralıklarla ya da bitişik nizamla yerleştirilmektedir.

Viyadüklerde yaygın olarak kullanılan kiriş kesitleri, omega ve I kesitli prefabrik kirişleridir. Yapım aşaması öncesinde köprü ve viyadüklerde, öngermeli prefabrik kiriş tiplerinin en verimli ve iyi bir şekilde kullanılabileceği açıklıklar belirlenmektedir. Köprü ve viyadük elemanlarından kirişlerin öngerme donatımına dayanarak oluşan gereksinimlerde daha fazla eğilme tesirlerinde ağırlıklı olarak etkiler ele alınarak değerlendirilme yapılmaktadır.

Ardgermeli, İtme Sürme, Dilimsel Dengeli Konsol, Eğik Askılı köprü yapım teknik ve yöntemleri, viyadükler için de aynı şekilde uygulanmaktadır.

SIRA SİZDE

Kullanım amaçları doğrultusunda farklı tür tasarımlarla inşa edilebilen viyadükleri aşağıdaki boşluğa yazarak açıklayınız.

SIRA SİZDE

Türkiye'nin en uzun ve en yüksek dengeli konsol viyadüğünün adını yazarak teknik özelliklerini aşağıdaki boşluğa yazınız.

4.14 UYGULAMA

2(6) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

VİYADÜKLER

Bu çalışmanın amacı, viyadüklerin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Viyadüklerin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamakları ile verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** olarak yerine getiriniz.

Verilenler

Ertuğrul Viyadüğü

Belen Viyadükleri

İstenenler

Verilen viyadüklerin yapım dönemlerini, yapım tekniklerini inceleyiniz ve bu köprülere ait resim, fotoğraf vb. içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda, viyadüklerin dönemleri ve yapım teknikleri ile ilgili araştırmaları yaparken resmi kurumların (kamu kurumları, üniversiteler ve akademik çalışma yapan kurum kuruluşlar) kaynaklarından faydalanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız, uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Sizlere verilen kontrol listesinde bu ölçütleri daha net görebilirsiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Ertuğrul Viyadüğü yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
2. Ertuğrul Viyadüğü yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
3. Ertuğrul Viyadüğü yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
4. Belen Viyadükleri yapım dönemi farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
5. Belen Viyadükleri yapım teknikleri farklı kaynaklardan araştırılarak incelenir.
6. Belen Viyadükleri yapım dönemi ve teknikleri, kaynaklardan elde edilen ve derlenen veriler sunuma hazır hâle getirilir.
7. Ertuğrul Viyadüğü ve Belen Viyadükleri sunumu için derlenen veriler sunum programı yardımıyla sunuma hazır hâle getirilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Ertuğrul Viyadüğü yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
2	Ertuğrul Viyadüğü yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
3	Ertuğrul Viyadüğü yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
4	Belen Viyadükleri yapım dönemini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
5	Belen Viyadükleri yapım tekniklerini farklı kaynaklardan incelediniz mi?		
6	Belen Viyadükleri yapım dönemini ve tekniklerini içeren kaynaklardan elde ettiğiniz verileri derleyerek sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		
7	Ertuğrul Viyadüğü ve Belen Viyadükleri sunumu için hazırlanan verileri sunum programında sunuma hazır hâle getirdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. Gaziantep Karkamış Demiryolu Köprüsü elemanları aşağıdaki hangi birleştirme gereciyle yapılmıştır?

A) Ankraj **B)** Bulon **C)** Civata **D)** Kaynak **E)** Perçin

2. Köprü, çelik kafes taş örme tekniği ile yapılmıştır. 1912 yılında hizmete açılmıştır. Köprünün yapılış amacı İstanbul-Bağdat-Hicaz Demiryolu hattını tamamlamaktır. Yöre halkı tarafından Koca Köprü olarak adlandırılır.

Buna göre bilgileri verilen köprü aşağıdakilerden hangisidir?

A) Adana Varda Köprüsü

B) Adıyaman Alman Köprüsü

C) Fırat Demiryolu Köprüsü

D) Kars-Iğdır Demiryolu köprüsü

E) Karkamış Demiryolu Köprüsü

3. Ana yapısal formlarına göre 1900 m açıklığa kadar inşa edilen köprüler aşağıdakilerden hangisidir?

A) Asma **B)** Halatlı **C)** Konsol **D)** Makas **E)** Plak

4. Aşağıda verilen köprülerinden hangisi hem yaya hem taşıt trafiğinin sağlanması amacıyla 1935 yılında inşası tamamlanıp hizmet vermeye başlayan, çelik malzemeden yapılan köprüdür?

A) Atatürk Köprüsü

B) Birecik Köprüsü

C) Borçka Köprüsü

D) Haliç Köprüsü

E) Kirazlık Köprüsü

5. Ana yapısal formlarına göre 1900 m açıklığa kadar inşa edilen köprüler aşağıdakilerden hangisidir?

A) 1220 **B)** 1105 **C)** 995 **D)** 850 **E)** 835

6. 1408 metrelik ana açıklığı ile üzerinde hem karayolu hem raylı sistem tasarlanan dünyanın en uzun, 322 metreyi aşan yüksekliği ile dünyanın en yüksek kulesine sahip asma köprü aşağıdakilerden hangisidir?

A) Atatürk Köprüsü

B) Fatih Sultan Mehmet Köprüsü

C) Osmangazi Köprüsü

D) 1915 Çanakkale Köprüsü

E) Yavuz Sultan Selim Köprüsü

7. Uzunluğu 40-60 m arasında değişen açıklıklar geçilerek ve uzunluğu 800 m'ye kadar olan sürekli tabliyeli köprüler inşa edilebilmektedir.

Buna göre verilen bilgiler aşağıdaki hangi yöntemle inşa edilen köprülere aittir?

A) Ardgermeli

B) Dilimsel dengeli konsol

C) Eğik askılı

D) Eğik kablo askılı

E) İtme sürme

8. Köprünün yapımına 1666 yılında başlanmış ve 1669 yılında inşası tamamlanmıştır. Köprü 64 m uzunluğunda ve 4,75 m genişliğindedir. Kesme taştan ve sivri kemerlerden oluşan köprünün orta kısmı iki başından 75 cm daha yukarıdadır. Küfeki taşından yapılmış olan köprünün kuzey tarafında bir mihrap nişi, ayakları üzerinde de selyaranlar bulunmaktadır.

Buna göre verilen bilgiler aşağıdaki hangi köprüye aittir?

A) Ankara Akköprü

B) Çankırı Bayramören Köprüsü

C) Diyarbakır Dicle Köprüsü

D) Osmangazi Abdal Köprüsü

E) Uşak Clandras Köprüsü

9. **2005 yılında başlatılan proje ile 2011 yılında, hem karada hem suda hareket kabiliyetine sahip Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde yer alan askeri köprü aşağıdakilerden hangisidir?**

A) AVLB

B) Biber

C) Kunduz

D) M1A1

E) Samur SYHK

10. Türkiye'nin günümüzde ayakta kalan en uzun su kemeridir. İki katlı inşa edilen kemer, 710 metre uzunluğa ve 26 metre yüksekliğe sahiptir.

Buna göre verilen bilgi aşağıdaki hangi su kemerine aittir?

A) Bozdoğan Su Kemeri

B) Mağlova Su Kemeri

C) Mâzul Kemer

D) Trajan Su Kemeri

E) Uzun Kemer

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

5. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

5.1. TÜNEL YAPIM TEKNİKLERİ
5.2. UYGULAMA: TÜNEL YAPIM TEKNİKLERİ
5.3. TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ VE YÖNTEMLERİ
5.4. UYGULAMA: TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ VE YÖNTEMLERİ
5.5. TÜNEL GALERİLERİ VE TÜNELLERDE GÜVENLİK YOLLARI
5.6. UYGULAMA: TÜNEL GALERİLERİ VE TÜNELLERDE GÜVENLİK YOLLARI
5.7. TÜNELLERDE HAVALANDIRMA
5.8. UYGULAMA: TÜNELLERDE HAVALANDIRMA

TÜNELLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Tünel yapım tekniklerini, projelendirme ve geoteknik modelleme esaslarını, stabilite analizlerini, tünel yapım çalışmalarını ve tünel çeşitlerini
- Tünel yapım tekniklerinin incelenmesi kapsamında tünel projelendirme ve inşası için yürütülen çalışmalara ait rapor hazırlama uygulamasını
- Tünel açma makinelerini, tünel kazı, kazı destek (tahkimat) ve inşa yöntemlerini
- Tünel açma makineleri ve yöntemleri kapsamında tünel kazı, destek, projelendirme ve inşası için yürütülen çalışmalara ait rapor hazırlama uygulamasını
- Tünellerde galeri ve güvenlik yollarını, tünel inşa çalışmaları ve işletilmesi sırasında güvenlik tedbirlerini
- Tünel galerileri ve tünellerde güvenlik yollarının incelenmesi kapsamında yapım çalışmaları ve işletilmesi esnasında güvenlik yollarının incelenmesine ait rapor hazırlama uygulamasını
- Tünellerde doğal, enine ve boyuna havalandırma sistemlerini
- Tünellerde havalandırma kapsamında yapım çalışmaları ve işletilmesi esnasında havalandırma sistemlerinin incelenmesine ait rapor hazırlama uygulamasını

Temel Kavramlar

NATM, TBM, galeri, tünel, tünel inşası, tünel projelendirmesi, tünel açma teknikleri, tünel açma makineleri, tünel açma yöntemleri, tünel çeşitleri, kaya destek sınıfları, tünellerde kazı, tünellerde kazı destek sistemleri, tünellerde tahkimat, tünel galeri ve tünellerde güvenlik, tünellerde güvenlik sistemleri, tünellerde havalandırma sistemleri, tünellerde jet fanlar, tünellerde aksiyal havalandırma, tünellerde enine havalandırma, tünellerde boyuna havalandırma, Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Karayolu, demiryolu, su kanalı, kanalizasyon sistemleri vb. araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

5.1. TÜNEL YAPIM TEKNİKLERİ

Doğal zorluklar ve tehlikelerin olduğu iki yerleşim biriminin kesintisiz bir şekilde bağlantısını sağlamak amacıyla yapılan yer altı mühendislik yapılarına **tünel** denir.

Tüneller; karayolu, demiryolu, yaya yolu, su kanalı, metro vb. taşıma sistemlerinin bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin teknik bakımdan mümkün olmadığı ya da ekonomik bakımdan uygun bulunmadığı yer ve durumlarda yer altından geçirilmesi için inşa edilen sanat yapılarıdır (Resim 5.1, Resim 5.2).

Resim 5.1: Karayolu tüneli

Resim 5.2: Demiryolu tüneli

Dağlık arazi, nehir, deniz vb. doğal engeller; izin verilen güvenli ve elverişli ulaştırma sistemleriyle, iklim şartlarına uygun olacak şekilde tüneller ile aşılır. Tüneller, güvenilirlik ve verimlilik ölçütlerini kesintisiz ve uygun koşullarda ulaştırma hizmetlerini sağlayacak şekilde planlanmalıdır.

Eğimi sınırlandırılmış güzergâhlarda öngörülen eğimle dağlık arazide aşılamayan sırt ve tepelerin geçilmesi, güzergâhın kısaltılması; toprak kaymaları, kaya yuvarlanmaları ya da çığlardan korunma; büyük yarıçaplı dönemeçlerin (virajların) olduğu güzergâhlarda dar bir vadinin ya da sırtın dönülmesi gereken durumlarda büyük dolgu ve yarma yapılmasının istenmemesi; köprü ya da viyadüklerin uygun görülmemesi hâlinde, demiryollarına dağlık arazide helisel bir tünelle yükseklik kazandırılması, üzerindeki ulaşımın aksatılmaması; akarsuların ya da boğaz derin sularının altından geçilmek istenmesi; inşası ve bakım masrafı olan kendini tutamayan zeminlerde büyük yarmalar yapılması istenmemesi; atık ve temiz suların isalesi; elektrik ve telefon kabloları ile gaz boruları gibi çeşitli tesisatlar için galeri ihtiyacı; kamulaştırılması ekonomik yönden yüksek olan arazilerde bulunan yolların genişletilmesi ya da yeni yolların açılmasının mümkün olmaması; toplu taşımacılığın metro ile yapılması ihtiyacı hâllerinde tünel inşa edilir.

Ülkemizde inşa edilen karayollarına ait bazı tünel örnekleri Resim 5.3, Resim 5.4, Resim 5.5 ve Resim 5.6'da verilmiştir.

Resim 5.3: Cudi Dağı Tüneli

Resim 5.4: Sabuncubeli Tüneli

Resim 5.5: Bolu Tüneli

Resim 5.6: Karahisar Tüneli

Demiryolu güzergâhının geçtiği doğal arazide, arazi seviyesinin yol seviyesinden çok fazla yüksekte kaldığı ve yarma oluşturma maliyetlerinin yüksek boyutlara ulaştığı bölümlerde, arazinin delinmesi suretiyle oluşturulan iki ucu açık geçitlere **demiryolu tüneli** denir. Uzun demiryolu tünellerinde kilometrenin artışı yönüne göre her 50 metrede bir sağda ve sonra solda olmak üzere korunma yuvaları yapılır. Görevli personel, tren geçerken korunma yuvalarına sığınır (Resim 5.7, Resim 5.8).

Resim 5.7: Marmaray Metro Tüneli

Resim 5.8: İsviçre Gotthard Base Demiryolu Tüneli

BİLGİ KUTUSU

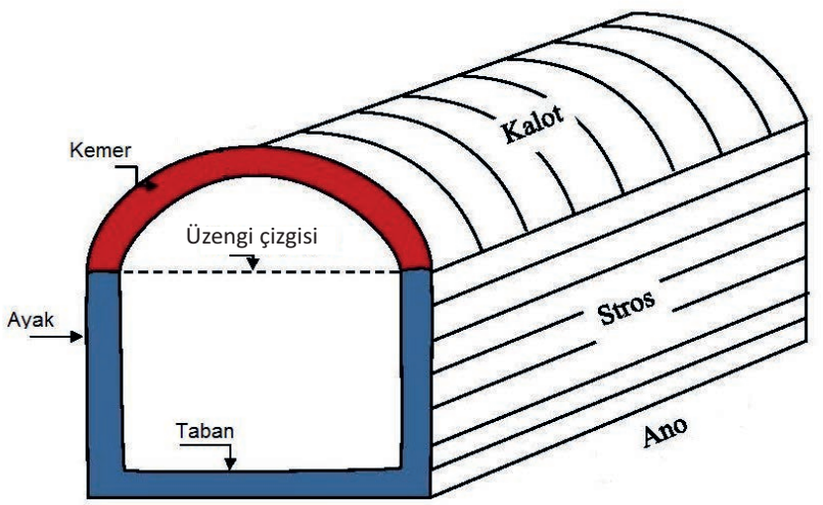
Ülkemizde yapımı tamamlanarak işletmeye alınan tünellere ait güncel bilgilere https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Projeler/TunelProjeleri.aspx web bağlantısından ulaşılabilir.

5.1.1. Tünel İnşasında Zemin Özelliklerinin Plan ve Raporlar Üzerinden İncelenmesi

Tünel inşa edilecek zemin özelliklerinin plan ve düzenlenen raporlar kapsamında tünel, galeri ve elemanları aşağıda tanımlanmıştır.

Genel olarak iki tarafı açık kazılar **tünel**, tek tarafı açık kazılar ise **galeri** olarak adlandırılır. Tünel inşası için dik açılan yer altı kazılarına **kuyu**, **baca** veya **şaft** denir. Aşağıya eğimli olarak açılan galeriye **baş aşağı**, yukarıya doğru açılan galeriye ise **baş yukarı** adı verilir. Yer altında beklenme veya sığınma amaçlı yapılan boşluklara **oda** veya **cep** adı verilir. Tünelin üzerinde bulunan zemine **örtü** denir. Tünelin üzerinde bulunan zemin kalınlığına ise **örtü kalınlığı** adı verilir. Tünel zemin kazılarında çıkan malzemeye **pasa** denir.

Bir tünel kesitinin alt kısmına **taban (radye)**, üst kısmına **tavan (kemer)**, yan kısımlarına ise **ayak (duvar)** denir. Tünel kemerinin ayaklarla birleştiği noktaya **üzengi**, üzengi noktalarını birleştiren çizgiye **üzengi çizgisi** adı verilir. Üzengi çizgisinin üstünde kalan kısma **kalot**, altında kalan kısma **stros** adı verilir. Herhangi bir yöntemle bir defada açılan tünel uzunluğuna **ano** denir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Tünel perspektifi ve elemanları

Tünel ve galeriler, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde inşa edilen yapılardır. Tünel ve galerilerin inşa çalışmalarına başlanmadan önce tünel açılacak güzergâhın kayaç cinsi, yapısal özellikleri, yer altı su durumu, sıkışmış gaz durumu, jeoteknik özellikleri ile ilgili incelemeler, araştırmalar ve deneyler yapılır. Sondaj, jeolojik, jeofizik araştırmalar yerinde ve laboratuvar deneyleri ile ayrıntılı biçimde araştırılır; bu çalışmaların tümü tünel jeolojisinin esasını oluşturur. Yerkabuğu içindeki kayalar, çeşitli gerilmelerin etkisi altında bulunur. Derinde açılan tünel ve maden ocaklarında meydana gelen kaya patlamaları, birikmiş hâlde bulunan gerilmelerin sonucudur. Yerkabuğu elastik bir cisim olarak düşünülürse herhangi bir derinlikteki yatay gerilmeler, yaklaşık olarak düşey gerilmelerin üçte biri kadar olmalıdır.

Son yıllarda yapılan araştırma deneyleri farklı veriler ortaya çıkarmıştır. Yapılan bu deneysel araştırmalar; yerkabuğunun herhangi bir noktasındaki gerilmelerin örtü basıncına, tektonik hareketlere, magmatik intrüzyon olaylarına ve metamorfizma olaylarına bağlı olduğunu göstermiştir. Bu gerilmeler; tünel açılınca basınçtan kurtulma nedeniyle kaya patlamalarına ve fırlamalarına, zemin kabarmalarına yol açar. Birden patlama olursa zemin kabarır, tavan yer yer düşer, yan duvarlarda yıkılma olur.

Tünel mühendisliğinde proje çalışmaları aşağıda verilen üç aşamada gerçekleştirilir.

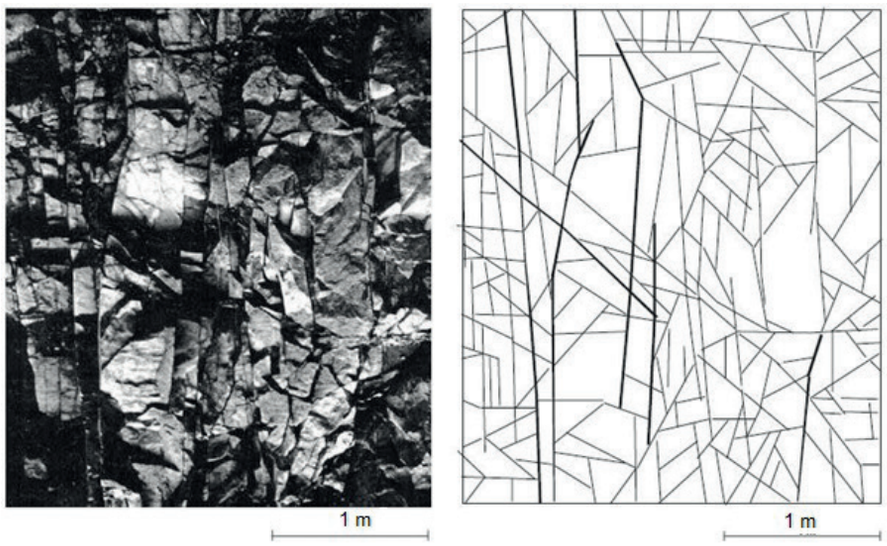
1. Birinci aşama çalışmaları; sahada gerçekleştirilecek çalışmalardır, doğru ve uygulanabilir bir projenin hazırlanabilmesi için gerekli verilerin sağlanmasına yöneliktir.
2. İkinci aşama çalışmaları; laboratuvarda deneysel araştırmalardır ve buradan sağlanacak olan verilerin yorumlanması, sahada yapılmış olan gözlemlerle ilişkilendirilmesi, tasarımın ekonomik olması için önemlidir.
3. Üçüncü aşama çalışmaları; ofis çalışmalarıdır ve bu aşamada elde edilen tüm veriler bir araya getirilir, yorumlanır, hesaplamalarla doğrulaması yapılır, proje çizimleri, raporları hazırlanarak sunulabilir hâle getirilir.

Projelendirilen tünellerin inşa yöntemi belirlenirken aşağıdaki hususlar dikkate alınır.

- Yapılaşma modelinin kurulması
- Yer altı yapısı için ihtiyaca cevap verebilecek geometrinin belirlenmesi
- Yapılaşma modelinin kurulması
- Yer altı yapısı için ihtiyaca cevap verebilecek geometrinin belirlenmesi
- Geometri belirlenirken mimari estetiğe önem verilmesi
- Yer altı yapısı için güzergâhın değerlendirilmesi
- Yapı-zemin ilişkisinin sistem büyüklüğü içerisinde değerlendirilmesi
- Mühendislik jeolojisi modelinin kurulması
- Ortamın davranışını belirleyen jeolojik birimlerin sınırlarının ve türlerinin belirlenmesi
- Kayacın-zeminin davranışını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek yapısal bozuklukların araştırılması
- Yapım çalışmalarını güçleştirebilecek kaya bloklarının araştırılması
- Tekil ve büyük zayıflık zonlarının araştırılması
- Çatlakların türü, miktarı, konumu, yönelimi ve kaya dokusunun araştırılması
- Ayrışma ve gevşemelerin araştırılması
- Kayanın gevşeme derecesinin ve azaltılabilme imkânının araştırılması
- Yer altı suyunun, durumunun, niteliğinin ve değişiminin araştırılması
- Bölgenin depremselliğinin incelenmesi
- Jeomekanik modelin kurulması
- Kayanın mekanik özelliklerinin saptanması
- Kayanın dayanım parametrelerinin belirlenmesi
- Kayanın deformasyon modülünün belirlenmesi
- Sürtünme dirençlerinin belirlenmesi
- Geoteknik modelin kurulması
- Olabilecek oturmaların belirlenmesi
- Jeoteknik ölçüm gerekliliğinin belirlenmesi
- Kayanın geçici ve kalıcı kendini tutabilme süresinin belirlenmesi
- Kama veya blok kaymalarının araştırılması
- Doku hareketliliğine göre stabilitenin araştırılması
- Kayanın kazılabilirliğinin incelenmesi
- Kayanın enjeksiyon kabul etme özelliğinin incelenmesi
- Kazı yüzeyinde ön sağlamlaştırma ve destekleme gereksiniminin belirlenmesi
- Drenaj gerekliliğinin belirlenmesi

Tünel projelerinin mühendislik açısından güvenli, uygulanabilir ve ekonomik olarak inşa edilebilmeleri için mühendislik jeolojisi ve geomekanik modelin doğru olarak kurulmuş olması çok önemlidir. Bu aşamada sahada gerçekleştirilecek çalışmalar neticesinde kayaç birimlerin süreksizlikleri, ayrışma durumları, pürüzlülük durumları, hidrojeolojik özellikleri detaylı olarak araştırılır.

Herhangi bir gözlem bölgesinde inceleme yöntemine bağlı olarak varlığı saptanan ve komşu noktalar arasındaki fiziksel ve/veya mekanik bağları koparan yapısal bozukluklar (fay, kırık, çatlak vb.) **süreksizlik** olarak adlandırılır. Süreksizliklerle kısmen veya tamamen ayrılmış olan kaya elemanlarının kayaç içerisindeki boyutları, biçimleri, dizilimleri ve süreksizliklerin tüm fiziko-mekanik özellikleri kaya dokusu olarak değerlendirilir (Şekil 5.2).

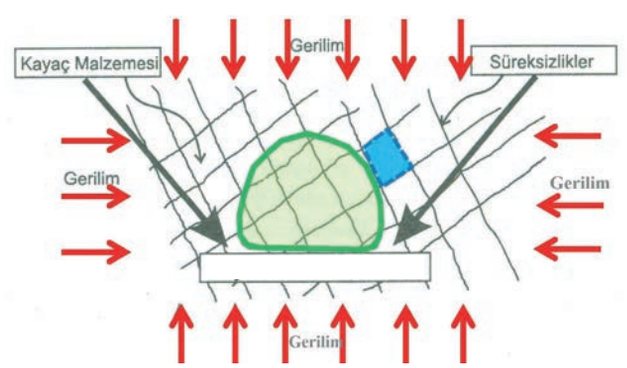


Şekil 5.2: Süreksizlik mesafeleri

Kaya mekaniği açısından süreksizliklerin tanımlanmasında aşağıda verilen parametrelerin sayısal olarak saptanması gereklidir.

- Süreksizlik türü (tabaka, kesme çatlağı, çekme çatlağı, fissür, fay vb.)
- Konumu (x, y, z)
- Süreksizlik takımı (ÇT1, ÇT2, ÇT3 vb.)
- Süreksizlik aralığı [d (dmin, dmaks)]
- Süreksizlik sıklığı [kStini (kmin, kmaks)]
- Süreksizliğin ayrılma derecesi (Müller)
- Süreksizliğin oluşturduğu kaya elemanı boyutu (d1xd2xd3)
- Süreksizliğin pürüzlülüğü
- Süreksizlik dolgu malzemesi (türü, c, ϕ)
- Süreksizlik dolgu kalınlığı (s)
- Süreksizlik açıklığı (S)

Projesi kapsamında inşa edilecek tüneller için formlar oluşturulur ve bu formlar üzerine kayaçların mühendislik özellikleri işlenir. Süreksizliklerden başka kayanın ayrışma durumu, dayanımı, kaya yapısında meydana gelen aşırı sökülme ve kavlaklanma durumu, süreksizlikler arasındaki dolgu malzemesinin cinsi, fay zonları, su durumu değerleri de belirlenir ve kayıt altına alınır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Kaya kütlesi özellikleri

Mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında detaylı kaya kalite sınıflamaları yapılması zorunluluktur. Kaya mekaniğinde literatüre geçmiş çok sayıda kaya kalite sınıflaması yer almaktadır. Genellikle kayanın sahip olduğu süreksizlik özelliklerini, kaya dayanımını, su durumunu, ayrışma durumunu ve yer altı açıklığı çevresinde yer alan gerilme durumunu kullanarak kaya kalitesini belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılır.

Q-Barton, RMR-Bieniawski ve RQD-Deere kaya sınıflamaları tünel inşaatları sırasında tercih edilen yöntemlerdir. Kaya kalite sınıflamaları yapılırken her kayaya puan verilir. Verilen puan, kayanın bir mühendislik işlemi için güvenilirliği hakkında fikir edinilmesini sağlar. RQD kaya kalite göstergeleri Tablo 5.1'de ve değiştirilmiş Terzaghi kaya yükü sınıflandırması Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1: RQD Kaya Kaliteleri

RQD	Sınıfı	Kaya Kalite Göstergesi
0-25	A	Çok zayıf
25-50	B	Zayıf
50-75	C	Orta
75-90	D	İyi
90-100	E	Çok iyi

Tablo 5.2: Deer ve Arkadaşları Tarafından Değiştirilmiş Terzaghi Kaya Yükü Sınıflandırması

No	Kaya Durumu	RQD	Kaya Yükü Yüksekliği H_t (m)
1	Sert ve sağlam	95-100	Sıfır
2	Sert tabakalı veya şistoz	90-99	0 - 0.5 B
3	Masif, orta eklemli	85-95	0 - 0.25 B
4	Orta derecede bloklu ve damarlı	75-85	0.25 B - 0.35 (B + H_t)
5	Çok bloklu ve damarlı	30-75	0.2 - 0.6 (B + H_t)
6	Tamamen kırılmış	3-30	0.6 - 1.1 (B + H_t)
6a	Çakıl ve kum	0-3	1.1 - 1.4 (B + H_t)
7	Sıkışan, ezilmiş kaya orta derinlik	-	1.1 - 2.1 (B + H_t)
8	Sıkışan kaya, büyük derinlik	-	2.1 - 4.5 (B + H_t)
9	Şişen kaya	-	80 m'ye kadar (B + H_t) değerinden bağımsız

Delme-patlatma yöntemi ile inşa edilen tünellerin neredeyse tamamında kullanılan Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin (New Austrian Tunneling Method: NATM) kaya destekleme sınıfı da kaya kalitelerine bağlı olarak belirlenir.

Projelendirilecek olan tüneller için kapsamlı kaya kalite sınıflamaları yapılır ve her bir tünel için NATM kaya destek sınıfları belirlenir. Bu sınıflar için belirlenecek destekleme, sağlamlaştırma ve iyileştirme yöntemleri nümerik analizler ile tahkik edilir ve her bir kaya destek sınıfı için proje hazırlanır (Tablo 5.3).

Tablo 5.3: Kaya Sınıflama Sistemi (KGM Teknik Şartnamesi 2013)

Kaya Sınıfı	ÖNORM B2203 Ekim 1994 ve Sonrası		ÖNORM B2203 Ekim 1994 Öncesi	
A	A1	Stabil	A1	Stabil
	A2	Sonradan Az Sökülen	A2	Hafif Aşırı Şişen
B	B1	Gevrek	B1	Gevrek
	B2	Çok Gevrek	B2	Çok Gevrek
	B3	Daneli		
C	C1	Dağ Atma	C1	Baskılı
	C2	Baskılı	C2	Çok Baskılı
	C3	Çok Baskılı	L1	Gevşek Zemin Düşük Kohezyon
	C4	Akıcı	L2	Gevşek Zemin Yüksek Kohezyon
	C5	Şişen		

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi ÖNORM B2203'te tanımlanan kaya sınıfları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

A Kaya Sınıfı: Stabil, hafif ve aşırı sökülen kaya kütleleri olarak tanımlanır. Bu cins kaya kütleleri genellikle stabil olup elastik davranış gösterir. Yerel destek uygulanmaması hâlinde, yerçekimi nedeniyle, yer yer sığ göçükler meydana gelebilir. Göçükler genellikle izole olmuş, önemsiz eklem yapıları nedeniyle oluşur. Elastik deformasyonlar hızla azalır.

A kaya sınıfı A1 (Stabil) ve A2 (Sonradan Az Sökülen) olmak üzere iki destek sınıfına ayrılır.

A1 Destek Sınıfı: Stabil kaya kütlesi olarak adlandırılır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Deformasyonlar küçük olup çok hızlı azalır. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra sökülme eğilimi yoktur. Suyun kaya stabilitesine olumsuz bir etkisi yoktur.

Tünel kazısı teorik olarak tam ayna olarak yapılabilir. Kazı profilinin büyük olması hâlinde kazı, genellikle üst yarı ve alt yarı kazısı şeklinde sürdürülür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

A2 Destek Sınıfı: Sonradan az sökülen kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında, süreksizliklerden ve kaya kütlesi zati ağırlığından dolayı sığ sökülmelerin olma eğilimi vardır. Suyun kaya stabilitesine etkisi göz ardı edilebilecek durumdadır. Tünel kazısı teorik olarak tam ayna yapılabilir. Kazı profilinin büyük olması hâlinde kazı, genellikle üst yarı ve alt yarı kazısı şeklinde sürdürülür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu, yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir.

Üst yarı kazısında 2,5-3,5 m, alt yarıda 4,0 m ile sınırlanmaktadır. Bu tip destek sınıfında, sadece bölgesel olarak tünel tavanında/yan duvarlarda, yersel blokların stabil hâle getirilmesi amacıyla kaya bulonları kullanılabilir. Bu durumda kullanılacak kaya bulonları, aynadan itibaren en çok bir ilerleme adımı geriden uygulanacaktır. Kaya bulonlama yönü süreksizliklerin yönelimlerine göre seçilecektir. Bulonlama ve diğer destekler projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

B Kaya Sınıfı: Gevrek kaya kütleleri olarak tanımlanır. B olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı, yapısal kenetlenme ve/veya çekme mukavemeti azlığından ötürü hızlı gevşeme ve ayrışmaya yatkındır.

Hemen hemen tüm çevrede, boşluk civarındaki ikincil gerilmeler kaya kütlesinin mukavemetini biraz aşmakta, bununla beraber bu zafiyet mekanizması içerilere ulaşmamaktadır. Destek yapımının gecikmesi hâlinde artan çökmeler meydana gelir.

B kaya sınıfı kendi içinde B1 (Gevrek), B2 (Çok Gevrek) ve B3 (Taneli) olmak üzere üç destek sınıfına ayrılır.

B1 Destek Sınıfı: Gevrek kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Patlatmadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlesinin düşük dayanımı tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında sökülmelere neden olur. Suyun kaya stabilitesine etkisi genelde önemsiz olarak nitelenebilir. Tünel kazısı, üst yarı ve alt yarı olmak üzere iki kademede yapılır. İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 2,0-3,0 m arasında, alt yarıda ise 4,0 m olacaktır. İlerleme adımı uzunluğu zeminin desteksiz durma süresine, desteksiz açıklığa, destekleme elemanı yerleştirme süresine bağlı olarak ayarlanmalıdır. Kazı için delme patlatma gereklidir. Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme gereklidir. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir. Destekleme, aynadan en fazla bir ilerleme adımı geriden monte edilecektir. Tehlikeli alanlar derhal desteklenecektir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

B2 Destek Sınıfı: Çok gevrek kaya kütlesi olarak adlandırılır. Tünel desteklemesinin zamanında yapılması hâlinde deformasyonlar hızla azalır. Zamanında destekleme yapılmaması veya destekleme elemanlarının yetersiz olması hâlinde derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı olarak kopmalar meydana gelir. Bozuşmuş veya ayrışmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlesinin mukavemeti üzerinde etkisi bulunmaktadır. Kazı tünel kesitine bağlı olarak bölünür. İlerleme adımı uzunluğu, desteksiz durma süresi ve desteksiz açıklığına bağlı olarak belirlenir. İlerleme adımı üst yarı kazısında 1,5-2,0 m, alt yarıda ise 3,0-3,5 m'den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır. Tünel tavanı ve yan duvarlarda sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılacaktır. Süren için delme ve benzeri işlemlerin aynadaki veya tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

B3 Destek Sınıfı: Taneli kaya kütlesi olarak adlandırılır. Bölünmüş kazıda bile kaya kütlesinde dökülmeler meydana gelir. Kohezyonun az olması ve az çimentolaşma kazının stabilitesinde yetersizliğe neden olur. Bozuşmuş veya ayrışmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bölünmüş kazı ile ilerleyebilmek için kaya kütlesini iyileştirici, desteksiz durma süresini artırıcı önlemler alınmalıdır.

İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1,25-1,50 m, alt yarıda ise 3,0 m'den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır. Titreşime hassas kaya kütlelerinde mekanik kazı metotları kullanılacaktır. Taban kazısı ve bir taban beton kemeri yapılması gerekli olabilir. Tünel tavanı ve yan duvarlarda, aynada ve aynanın ilerletilmesinden önce monte edilecek sistematik destekleme gerekmektedir. Süren kullanımı yerel olarak gerekebilir. Sistematik çelik iksa kullanılacaktır. Jeolojik şartlara göre üst yarı aynasından 75-100 m'den daha geride olmamak üzere yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

C Kaya Sınıfı: Baskılı kaya kütleleri olarak tanımlanır. C olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı genellikle, kaya basıncının yeniden dağılımı süreci ve/veya deplasman sınırlamaları sonunda oluşan gerilmelerin kaya dayanımından daha büyük olduğunu göstermektedir. Kaya kütlesinin aşırı gerilmelere maruz kalması ile kabuk atma, burkulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zafiyet mekanizmaları oluşur.

Kaya kütlesinin plastisite ve viskozitesi, zamana bağlı belirgin deformasyon davranışı göstermesine ve sonuçta büyük deformasyonlara yol açar. Kaya zati ağırlık yüklerinin aktif hâle geçmesi ve önemli miktarda gevşeme basıncı, sadece büyük deformasyonlara izin verildiğinde meydana gelir. Kaya kütlesine zarar verecek derecedeki gevşeme ve ayrışma, kaya dayanımında büyük miktarda azalmaya yol açar. Açılan boşluktaki büyük deformasyonlar ve uzun dönemde zamana bağlı deplasman davranışı, zeminin elastik olmayan, plastik ve viskoz davranışına bağlıdır. Çatlamaya veya dökülmeye eğilimli kaya kütleleri ve şişme özelliği gösteren bileşenleri olan kaya kütleleri bu gruba girer. Bu grup, aynı zamanda ayrışmış veya bozuşmuş kayalar, gevşek zemin ve organik zeminler gibi kaya kütlelerini kapsamaktadır. Kaya kütlesinin düşük özellikleri nedeniyle kohezyon miktarına ve/veya gevşeme basıncını takiben aşırı gerilmelere bağlı olarak elastik veya plastik aşırı gerilme oluşur.

C kaya sınıfı kendi içinde C1 (Dağ Atma), C2 (Baskılı), C3 (Çok Baskılı), C4 (Akıcı) ve C5 (Şişen) olmak üzere beş destek sınıfına ayrılır.

C1 Destek Sınıfı: Yüksek örtü kalınlığı altında masif kayada yüksek ön gerilmeler kırılgan kaya kütlesinde elastik enerji depolanmasına neden olur. Bu enerjinin aniden yer değiştirmesiyle kayada kesme ve kaya yapısının ezilmesi ile birlikte kırılmalar olur. Desteksiz bırakılan kısımlarda fırlayan kayalar parçalanmaya müsaittir. Kaya kütlesindeki kırılmalar derinlere ulaşır. Bozuşmuş veya ayrışmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bölünmüş kazı ile ilerlenmelidir. Taban kazısı gereklidir. İlerleme adımı uzunluğu üst yarıda 1,5-2,0 m; alt yarıda 3 m'den fazla olmayacaktır. Kazı, düzgün patlatma veya mekanik kazı metotları ile yapılabilir. Destekleme elemanları olarak kısa ama sık yerleştirilmiş kaya bulonları ve çelik hasır gereklidir. Ek tedbir olarak kaya kütlesindeki basıncı azaltıcı delikler açılabilir. Bu yöntemle dağ atmaları da önlenebilir. Jeolojik şartlara göre üst yarı aynasından, 50-75 m'den daha geride olmamak üzere yerinde dökme bir taban kemeri betonu yapmak gerekebilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

C2 Destek Sınıfı: Baskılı kaya kütlesi olarak adlandırılır. C2, çevreleyen kaya kütlesi içerisinde derine uzanan plastik zonlar ve basınç veren davranışı ile karakterize edilir. Bu kaya kütlesinde orta derecede fakat belirgin olarak uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar gözlenir. Kazı çevresindeki deformasyonların mertebe ve hızları orta derecededir. Plastik davranışlı, yüksek kohezyonlu kaya kütlelerinde gerilme gözlenir. Su sızıntıları ve konsantre su akışının kaya kütlesi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Tünel kazısının üst yarı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Portal bölgelerindeki özel durumlar hariç, üst yarı kazısı kendi içerisinde bölümlere ayrılacaktır. Üst yarı kazısı aynasında bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu üst yarıda 0,75-1,25 m, alt yarıda 2,0 m'den fazla olmayacaktır. Kazı düzgün patlatma ve mekanik kazı metotlarıyla yapılabilir. Tıraşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Genellikle tünel aynası stabildir. Tüm kesit çevresinde sistematik destekleme gereklidir. Her ilerleme adımında destekleme sistemi tamamlandıktan sonra bir sonraki ilerleme adımına geçilecektir. Tünel tavanında süren uygulaması gerekecektir. Süren uygulaması için delgi sırası ve sonrasında imalatın ayna ve tavandaki kaya kütlesinin olumsuz etkilenmesi önlenmelidir. Destekleme elemanlarının görevi derin plastik kırılmaları sınırlamaktır. Jeolojik şartlara uygun olarak üst yarı aynasından 50,0 m'den daha geride olmamak üzere taban kemeri gereklidir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

C3 Destek Sınıfı: Çok baskılı kaya kütlesi olarak adlandırılır. C3 derin zayıflık zonlarının oluşması, başlangıçta yüksek ve hızlı deformasyonlar ile karakterize edilir. Deformasyonlar uzun sürer ve yavaş son bulur. Derine inen kırılma ve plastik bölgeler gözlenir. Su sızıntıları ve konsantre su akışının kaya kütlesinin davranışı üzerinde önemli etkisi olmaktadır. Tünel kazısının üst yarı kazısı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Genellikle üst yarı kazısı aynasında bir destekleme gövdesi gerekecektir. Aynada sistematik destekleme gerekebilecektir. İlerleme adımı uzunluğu, üst yarı kazısında 1,2 m'den, alt yarıda ise 2,0 m'den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma veya mekanik kazı metotlarıyla yapılacaktır. Tıraşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Yoğun bir destekleme paterni tüm kazı aynalarında gerekecektir.

Deformasyon mertebeleri, deformasyon boşlukları ve/veya büyük deformasyonlara cevap verebilecek destek elemanlarının kullanımı gibi özel bir tertibat gerektirecektir. Destekleme elemanları, kaya kütlesinin üç eksenli gerilme durumunu idame ettirecektir. İlerleme adımı uzunluğunun kısaltılması, süren boyunun uzatılması ve üst yarı kazısı aynasında büyük bir merkez destekleme gövdesinin bırakılmasının yeterli olmaması hâlinde ayna kazısının ayrıca alt kısımlara bölünmesi gerekebilir.

Muhtemel çözümler, üst yarı kazısının yarı taraf kazılar veya yan galeriler hâlinde yapılması olabilir. Komple kazı bölümünün aşırı düşey hareketleri olması hâlinde kaplama temelinin genişletilmesi, püskürtme beton kabuğunun temel bölgesinin bulonlanması ve enjeksiyonlanması veya geçici taban kemerleri gerekli olabilir. Tüm tünel desteklemesi sistematik olarak üst yarı ve alt yarı kazı aynasının daha fazla ilerletilmesinden önce tatbik edilir. Tüm tavan kesimi üzerinde süren boru kullanımı gerekecektir. Süren için delme veya benzeri işlemlerin aynadaki veya tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Üst yarı kazısında alt bölümlere ayrılmış en kesit ve geçici ring yapıları gerekli olabilir. Üst yarı kazısı aynasından 25,0-50,0 metre geride taban kemerinin ring kapaması gerekebilecektir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

C4 Destek Sınıfı: Akıcı kaya kütlesi olarak adlandırılır. Çok az kohezyon ve sürtünme, kaya kütlesinin az plastik davranışı; kısa süre desteksiz bırakılan bölünmüş kazıda bile tünel içine malzeme akışına sebep olur. Düşük kohezyon kazıda birçok alt bölünmeyi gerektirmektedir. Önceden süren montajı yapılmadan veya süren ve kazı ile birlikte püskürtme betonu kaplaması yapılmadan zeminin kendini tutma süresi yoktur. Su sızıntıları ve konsantre su akışlarının açığa çıkan zeminin davranış ve özelliklerinde önemli etkisi olabilecektir. Bu nedenle kayanın ortamının dayanımını iyileştirici önlemlerin alınması düşünülebilir. Aynada stabilite problemlerini önlemek için yan galeriler şeklinde bir alt bölünme gerekecektir. Ek olarak üst yarı kazısı aynaları destekleme gövdeleri gereklidir. Önden yapılan desteklemeler veya özel destekleme önlemleri ile tünel aynasının destek etkisi sayesinde sınırlı kazı yapılmasına olanak verilmesi mümkündür. İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1,5 m, alt yarıda ise 2,0 m'den fazla olmayacaktır. Kazı tünel ekskavatörü ile yapılacaktır.

Kazı ile birlikte püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Tünel desteklemesi, üst yarıda ve alt yarıda her bir ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren tatbiki, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Kazı aynasında püskürtme beton, hasır çelik, kaya bulonu, drenaj elemanlarından oluşan destekleme sisteminin kazı sırasında veya hemen sonrasında kullanılması gerekebilecektir. Alt bölümlere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gerekli olacaktır. Süren uygulanması zorunludur. Üst yarı kazısının alt bölümlere ayrılmış kesimlerinde geçici ring kapama gerekebilir. Taban kemerinde ring kapaması, üst yarı kazı aynası gerisinde 25,0 ile 50,0 metre arasındaki kısa mesafelerde gerekli olabilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

C5 Destek Sınıfı: Çok kohezyonlu, kısa süreli stabil kaya kütlesi olarak adlandırılır. Şişme potansiyelli kil minerali, tuz, anhidrit içeren kaya kütlelerinde su alımıyla meydana gelen hacim artışı sebebiyle gevşemeler olur. Kemer ve aynada serbest açıklıkların sınırlanmasıyla kaya kütlesi sınırlı bir sürede stabil kalabilir. Sızıntı ve konsantre su akışının, kazılan zeminin davranışı ve özelliklerinde büyük etkisi vardır. Şişme başlatılmış olabilir. Üst yarı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Pek çok hâlde üst yarı kazısı aynası için bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunlukları üst yarı kazısında 1,5 m'yi, alt yarı kazısında 3,0 m'yi geçmeyecektir.

Kazı tünel ekskavatörü ile yapılabilir. Büyük kayaların veya mevzii olarak sert kaya kısımlarının kazısında patlatma gerekebilir. Tünel desteklemesi, üst yarıda ve alt yarıda her ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren uygulaması, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Alt bölümlere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gerekli olacaktır. Geoteknik ihtiyaçlara uygun olarak üst yarı aynasından 25 m'den daha geride olmamak üzere taban kemeri gereklidir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

Tünel güzergâhı üzerinde yapılan sondajlarda ve sondaj numuneleri üzerinde, yerinde ve laboratuvarda yapılan testler sonucunda elde edilen verilerin ışığında ÖNORM B2203'e göre tünel, yukarıda tanımı yapılan çeşitli kaya sınıflarına ayrılır. Her bir kaya sınıfı için kazı sistemi birincil destekleme elemanlarının (püskürtme beton, çelik hasır, çelik iksa, süren, bulon vb.) ve ikincil destekleme elemanlarının (kaplama betonu) tasarımı gerçekleştirilecektir. Tünel boyunca tünel yapımı sırasında karşılaşılacak kaya/zemini tünelin kazı ve desteklemesine yönelik olarak sınıflandırılması ve kazı/destek tip projelerinin hazırlanmasında aşağıdaki sıra izlenecektir.

Jeolojik-jeoteknik raporda; farklı kaya sınıflarına göre tanımlanmış kaya/zeminin dayanım ve fiziki parametrelerini, kullanılacak destek tiplerini (püskürtme beton, çelik iksa, bulon vb.) malzeme parametrelerini, kazı geometrisi ve kazıdan etkilenecek kazı çevresi, örtü yükü gibi temel bilgileri esas alan her bir kaya sınıfı için ayrı hesaplama modeli oluşturulacaktır. Tünel desteklerinin ve kazı aşamalarının projelendirilmesi nümerik (Finite Elements, Finite Difference, Boundary Elements) (sonlu elemanlar, sonlu farklar, sınır elemanlar) ve analitik hesaplamalarla (Hoek and Brown Yenilme Ölçütü) kesinlik kazanacaktır. Bu hesaplamalarda tünel yapımı sırasında kaya sınıfına bağlı olarak gerektiğinde desteksiz, destekli kazı aşamaları, tünelin geometrisi ve farklı malzeme kompozisyonları (bulon, püskürtme betonu vb.) modellenebilmelidir.

Tünel desteklerinin ve kazı aşamalarının projelendirilmesinde kullanılan nümerik ve analitik hesaplamalarda aşağıdaki koşullar göz önünde bulundurulur.

- İlkel gerilmelerin durumu (tünel kazısı yapılacak ortamın, kazı öncesinde kendi ağırlığından oluşan gerilmelerin verilmesi)
- Kazı sonu hâli (kazı sonrası desteklenmeden önceki durum veya aşamalı kazı durumunda bir önceki aşamada kazının yapılmış ve desteklenmiş durumu göz önüne alınarak her kazı aşaması için)
- Birincil destekleme sonu hâli (tünel kesiti boyunca tüm desteklerin yapıldığı son durum için)
- Kazı destekleme aşamaları ile birlikte iki tünel tüpü için yürütülecek kazı ve desteklemenin etkileşimi göz önünde bulundurulacaktır. Tünel tüplerinde sürdürülecek kazının aynı düzlemde ve boyuna yönde birbiriyle olan etkileşimi hesaplamalarda incelenmelidir.
- İnşaat son hâli (kaplama betonunun yapıldığı ve varsa yer altı suyunun etkisinin göz önüne alındığı son durum)
- Kaplama betonu, 30 cm'den küçük olmayacak şekilde geçirimsiz betondan olmalı ve aksi gerekmedikçe (yer altı suyu, tünel üzeri sığ örtü kalınlığı, olası heyelan bölgesi, yumuşak zemin, şehir içinde yapılaşmanın olduğu bölgeler gibi etkenlerden dolayı daha farklı yaklaşımlar gerekebilir) kesit alanının en az %0,15'i kadar donatı içermelidir. Donatı kesite göre simetrik yerleştirilir. Örneğin kaplamanın 40 cm, pas payının 5 cm olduğu bir kesitte kesitin her iki yüzüne 35x100x0,15/100 = 5,25 cm^2 donatı yerleştirilmesi gereklidir.
- Minimum donatı, donatıda çatlak oluşumunun yarattığı gerilmeleri sınırlamaya ve çatlak genişliğinin azalmasına yardımcı olur (Çatlak genişliği 0,2 mm'den büyük olmamalıdır.). Kaplama betonunda basınç bölgesi 15 cm'den daha küçük olmamalıdır. Ayrıca kaplama betonu arkasındaki kontak enjeksiyonu basıncı ve yapım sırasında kalıbın alınması için gerekli minimum dayanım hesaplanmalıdır.
- Hesap raporları; gerekli olan bütün hesap kriterlerini, hesapları ve tasarımda kullanılan değerleri gösteren program çıktılarını içermelidir.
- Hesaplamalar sonucu ortaya çıkan kazı ve destekleme sistemine (bulon patemi, uzunluğu, püskürtme beton kalınlığı vb.) göre tip destekleme projeleri ile tip kazı ve destekleme sırasını gösteren projeler hazırlanmalıdır.
- İki tüp arasındaki yaya ve araç geçişlerinin bulunduğu kesimlerle ilgili olarak yukarıda belirtilen hesaplamalar yapılır ve kaya/zemin koşullarının uygun bulunduğu kesimlerin seçilmesine dikkat edilir. Bu tür geçişler için tip destekleme ve kazı projeleri verilmelidir.
- Tünellerde su taşıyıcı zemin/kaya tabakalarıyla karşılaşılması beklenen kesimler için özel kazı ve destekleme projeleri hazırlanmalıdır.
- Tünelde yapım çalışmalarında kullanılacak kazı yöntemi ve ekipmanı her kaya sınıfı için belirlenir. Yine patlatmalı kazı önerilen kaya sınıfları için patlatma paterni projelendirilir.
- Yapım sırasında projelendirmede göz önüne alınan deformasyon, oturmalar, gerilme artışlarının kontrol edilebilmesi için geoteknik ölçüm programı ve tipik ölçüm kesitleri proje aşamasında hazırlanır. Tipik ölçüm kesitlerinin, kaya sınıflarına bağlı olarak gereken sayıda ve noktada ölçüm işlemlerini belirtecek gerekli detayları verilir. Her bir kaya sınıfı için yapılan kazı ve destekleme projesi sonucunda belirlenen deformasyon miktarları, yapım ve kaçınılmaz kazı toleransları tünel kazı geometrilerindeki değişiklikleri içerecek şekilde tablo hâlinde ayrı bir paftada gösterilir.

Tünellerin Portal (Giriş-Çıkış Yüzeyleri) Kesimlerinin Projelendirilmesi: Alın (ayna) ve yan portal şevlerinin tasarımı ve tünellerin düşük örtü kalınlığı altında yer alan portal kazı bölümlerinde tünel kazısına emniyetli bir şekilde başlamak için uygun kazı koşullarının yaratılması tasarım çalışmaları kapsamındadır. Bu kapsamda aşağıda sırasıyla verilen çalışmalar yapılır ve raporlar hazırlanır.

1) Tünel portal tasarımının yapılabilmesi için portal bölgelerinde tasarımın önünü açacak gerekli araştırma çalışmaları yapılmış olmalıdır. Bu çalışmalardan elde edilecek mühendislik parametreleri ile alın ve yan portal şevlerinin stabilite analizleri ve tasarımı yapılmalıdır. Bu amaçla portal kesimlerine özel jeolojik-jeoteknik rapor hazırlanmalıdır. Bu rapor, yapılan tüm portal araştırma çalışmalarını gösteren plan ve veri paketini kapsar. Bu raporlarda alın ve yan şevlerinin jeolojik-jeoteknik yapılarını gösteren plan, profil ve en kesitler yer alır. Raporda yer alan jeolojik ve jeoteknik araştırma çalışmaları değerlendirilir, şev stabilite hesaplamalarına ilişkin zemin/kaya parametreleri ve diğer öngörüler (kinematik analiz sonuçlar vb.) verilir. Raporlarda ayrıca şev tasarımında göz önüne alınan tüm veriler (zemin/kaya dayanım parametreleri, şev yüksekliği, yükleme koşulları vb.) ile şevlerin geometrisini belirlemek için yapılacak tüm analizler (düzlemsel, dairesel ve kama tipi kayma vb. stabilite analizleri) verilir.

Portal bölümlerinde tünel kazısının başlatılacağı kesimde stabil kaya koşullarının varlığı, stabil kaya kalınlığı, şaşırtmalı giriş koşulları ve alınması gerekli tedbirler özel olarak değerlendirilerek portal şevlerinin tasarımı alternatifli çalışılacaktır. Şevlerin desteklenmesi gerekliliği durumunda destekleme hesapları (püskürtme betonu, ankraj, kazıklı duvar vb.) detaylı bir şekilde bu raporda yer alacaktır. Şevlerin tasarımı kısa ve uzun dönem statik durum ve sismik durum için yapılacaktır. Güvenlik katsayıları; uzun dönem statik durumda pik parametreler için 1.5, reziduel parametreler için 1.3, kısa dönem stabilitede pik değerler için 1.3, deprem durumunda 1.1 olarak göz önüne alınır.

2) Tünellerin portal kesimlerinde trafik emniyeti için portal yapıları projelendirilir. Portal yapılarının tasarımında bu bölgelerin genel topoğrafik durumu, şevlerin konumu ve çevresel faktörler (şehir içi, şehir dışı vb.) göz önüne alınmalıdır. Portal yapılarının statik ve betonarme hesapları ile gerekli çizimler verilir. Tünellerin portal bölümlerinde aç-kapa ve fülüt yapısı gibi portal yapılarının gerekmesi hâlinde bu yapılar ile ilgili hesaplamalar aynı rapor kapsamında verilir. Yapıların hesapları, farklı yük durumları (ölü yük, hareketli yük, deprem yükü ve toprak basınçları) için yapılır. Tünel portal bölümlerinde, tünel kazısına başlamak için oluşturulan ilk tünel aynasında alınacak destekleme önlemleri, yapılan çalışmaların sonucuna göre tasarlanır ve bu bölümlerde yapım sırasındaki güvenliği sağlamak için geçici koruyucu kemer (kanopi) yapıları projelendirilir.

Tünel portal projeleri kapsamında aşağıda verilen detay çizim paftaları hazırlanır.

- Portal kazıları, plan, en kesit, boy kesit ve görünüşleri
- Portal ayna ve yan şevlerinin destekleme detayları
- Portal yapılarının en kesit, kalıp ve donatı detayları
- Kanopi yapısına ait detaylar ve portal bölgesinin özelliklerinden kaynaklanabilecek başka yapılara ait detaylar

Tren Tünelleri Serbest Alan Hesabı: Yeni yapılacak tünellerin minimum kesit alanı, basınca karşı koruması olmayan trenlerin herhangi bir basınç emen havalandırma şaftı, yuvası veya birleşim içermeyen tünel içinden geçerken yarattıkları geçici basınçlardan dolayı tren içindeki yolcuların konforunun bozulmamasını sağlamalıdır. Bu durumda oluşacak basınçlar sınırlandırılmış olur.

Demiryolu tüneli içi serbest alan hesabı, **International Union of Railways-UIC Code/779-11: Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations (Aerodinamik etkilere göre demiryolu kesit alanının belirlenmesi)** adlı kitapta verilen yöntemler kullanılarak yapılır. Tünel içi serbest alan hesabında; tünel içinde izin verilen maksimum hız, tünel boyu ve tren boyu girdi parametreleri olarak kullanılır.

Tren Alanı: Tren kesiti alındığında treni sınırlayan dış çizgilerin arasında kalan alandır. Tren alanı, 10-12 m^2 arasında değişmektedir.

5.1.1.1. Tünellerde Geoteknik Modelleme

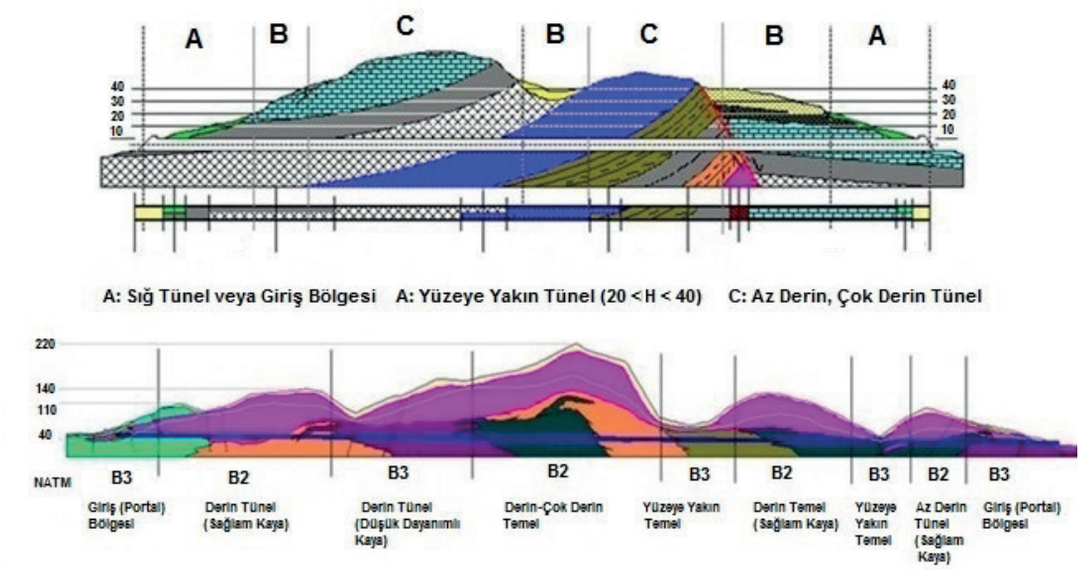
Yer altı kaya yapılarının inşaatının sorunsuz olarak tamamlanması, öncelikle kaya yapısının titizlikle tasarlanmasına ve projelendirilmesine bağlıdır. Bu çalışmalar temel alınarak gerçekleştirilen yapım işlerinde kaya yapıları, gerilme veya deplasman kontrollü olarak denetlenmekte ve yönlendirilmektedir. Gerilmeler (yükler) arttırılırken veya azaltılırken deformasyonların değişimi gözlendiğinde buna **gerilme kontrolü**, deformasyonların artışına veya azalışına karşılık gelen gerilmelerin araştırılmasına ise **deformasyon kontrolü** adı verilir. Tünel tasarımının ve projelendirme çalışmalarının ilkesi, yer altı kaya yapısının içerisinde yer aldığı ortamın mühendislik jeolojisi açısından tanımlanmasıdır.

Kaya yapısının yapay dolgu, yamaç moluzu, zemin, gevşek kayaç, ayrışmış kayaç, geçiş kayacı, sert kaya, ana kaya gibi hangi ortam veya ortamlarda yer aldığı tanımlandığında; ortamın sahip olduğu mühendislik jeolojisi özellikleri, jeomekanik davranış biçimi ve kazı-destekleme aşamalarında doğa ile teknik girişim arasındaki karşılıklı etkileşim belirlenebilir. Yer altı kaya yapısı güzergâh jeomorfolojisi, jeoloji veya mühendislik jeolojisi açısından kendi içerisinde benzer özellik ve davranış gösteren kesimlere ayrılabilir. Homojen bölgelendirme (dar anlamda kayaç sınıfı) olarak tanımlanan bu çalışma ile yapım sırasında alınması gereken önlemler tanımlanır. Bu bölgeler önlem, işlem, yöntem değişimi gerektirmeyen ve risk açısından benzerlik gösteren kesimlerdir.

Tünel güzergâhları homojen bölgelendirmesi aşağıda verilen özellikler dikkate alınarak ayrılır.

- Zemin-kaya kökeni ve türü
- Dokanak sınırları
- Yer altı su seviyesi
- Zemin kayaç özellikleri, niteliği ve niceliği
- Süreksizlikler
- Ayrışma durumu
- Kaya kalitesi
- Porozite-geçirimlilik durumu
- Kayacın erime-kabarma-şişme özellikleri
- Jeomekanik özellikler
- Kazılabilirlik, delinebilirlik, patlatılabilirlik özellikler
- Güzergâh morfolojisi ile yer altı kaya yapısı ilişkisi (sığ-derin-çok derin tünel, portal bölgesi, yamaç tüneli, vadi-akarsu altında yer alan tünel, heyelan sahası vb.)

Şekil 5.4'te tünel güzergâhı için bir bölgelendirme örneği verilmiştir.



Şekil 5.4: Tünel projelerinde homojen bölgelendirme Konakönü Tüneli (Trabzon Çarşıbaşı-Araklı Kesimi)

Yer altında inşa edilen tünel, metro vb. yer altı kaya yapılarında ortamın birincil gerilme durumu değiştirilmektedir. Tünel mühendisliğinde bilinmesi gereken en önemli konulardan biri kayacın basınç dayanımının bir miktar aşılması durumunda taşıyıcılığının ne oranda devam edebileceği durumudur. Kaya yapısı çevresinde oluşan koruyucu zon ile yükler dengelenerek tünel ve kayadan oluşan bir sistem kalıcı bir yapı hâline getirilebilmektedir. Bu şekilde bir sistemde deformasyonlarla birlikte gevşemeler olmaktadır. Basınç altındaki kayacın deformasyon-yenilme ilişkisinin büyük oranda zamana bağlı olduğu, yapılan gözlemlerle tespit edilmiştir. Yer altı kaya yapılarında gerilme-deformasyon-zaman ilişkisi projelendirme sırasında detaylı olarak incelenmesi gereklidir.

Rabcewicz'in 1944 yılındaki araştırmalarına göre gevşeme nedeniyle meydana gelen gerçek arazi basıncı ve kayacın fiziksel veya kimyasal nedenlerden dolayı hacminin büyümesi ile meydana gelen arazi basıncı mevcuttur. Gevşeme basıncına yapılan kazı neden olur ve bu kapsamda en önemli faktör zamandır. Bir açıklık ne kadar çabuk kapatılırsa oturmalar da o oranda az olacaktır. Kayaçlar homojen bir yapıdan uzak oldukları için arazi basıncı daha çok jeolojik nedenlere dayanmaktadır. Sadece yer altı yapısının kesitini incelemek bu yüzden yanlış olacaktır. Sistem bir bütün olarak çevresi ile birlikte değerlendirilmelidir.

Rabcewicz'e göre arazi basıncını rijit ve ağır malzemeler ile önlemeye çalışmak yararsızdır. Bu elemanlar da arazi basıncı altında sıkıştırılmalıdır. Kuvvetler o kadar büyüktür ki ancak ona eşdeğer bir kuvvetle karşı koymak gerekir. Bu kadar yüksek dayanıma sahip malzeme ise mevcut değildir. Bu nedenle doğanın yardımı alınmalıdır. Bu ise doğanın bize sağladığı koruyucu zon ile elde edilir. Bunun için zaman ve mekân gerekir. 1963 yılına kadar yapılan koruyucu zon teorilerinin derlenmesi ile Rabcewicz, Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) adlı bir yöntem ortaya koymuştur. Rabcewicz ve Müller, kısa sürede bu yöntemin ikinci gerilme durumu altında kaya davranışına ne kadar uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Pacher, Sattler, Lombardi ve Egger gibi bilim insanları bu yöntemin temsilcilerindendir. Modern yer altı kaya yapıları mekaniği anlayışına göre; yer altı açıklığını çevreleyen kayaçlar bir yandan tüneli yüklemekte, öte yandan da komşu bölgelerden gelen yükleri taşımaktadır. Tüneli zorlayan bu gerilmelerin ortaya çıkarılması ve anlaşılması, projelendirmede olduğu kadar uygulama sırasında da en önemli faktördür.

Tablo 5.4'te tünel projelerinde dikkate alınması gereken gerilme türleri, kaynaklarına göre sıralanmıştır.

Tablo 5.4: Tünel Projelerinde Kaynaklarına Göre Gerilme Türleri

No.	Zemin Yük Kaynağı	Gerilme Türü
I	Kayaç örtüsünün kalınlığına bağlı basınçlar	Litostatik gerilmeler
II	Tektonizmaya bağlı basınçlar	Tektonik gerilmeler
III	Kayaçların gevşemesine bağlı basınçlar	Psödoplastikleşme gerilmeleri
IV	Kimyasal-fiziksel kökenli genleşme basınçları	Kabarma-şişme gerilmeleri
V	Yapılaşma yükleri	Yapay etmen gerilmeleri
VI	Servis yükleri	Hizmet gerilmeleri

Bunlardan ilk ikisi primer (doğal, ilkel) gerilme durumunu oluşturmaktadır. Yer altı kazısıyla birlikte ilk gerilme ortamı bozulmaktadır. Böylece mevcut gerilmeler kayacın gevşemesine bağlı olarak yer, yön ve şiddet değiştirerek zamanla ikincil (sekonder) gerilmelere dönüşmektedir.

Kazının tamamlanması ile birlikte, ideal-elastik malzeme özelliğindeki kayada ikincil gerilme-deformasyon durumunun son şeklini alması beklenmektedir. Fakat arazi ölçümleri kazı dolayındaki deformasyonların zamana bağlı olarak ve farklı hızlarda geliştiğini kanıtlamaktadır. Bu ikincil gerilme ve deformasyon durumunun, bilinen bir primer gerilme durumundan yola çıkarak ve zaman faktörünü de dikkate alacak şekilde bulunması ve denetlenebilmesi tünelciliğin bilimsel temelini oluştur.

İkincil gerilmeler uygulama aşamasının gerilmeleri olduğundan, projede hesaplananlarla veya kabul edilenlerle arazide oluşan ve ölçülen gerilmelerin birbirleriyle karşılaştırılması ve geçerliliğin kanıtlanması gerekir. Aksi takdirde aşırı boyutlandırma ya da duraysızlık kaçınılmaz olur. İkincil (sekonder) gerilme durumu, kayalarda kazı sırasında doğal gerilmelerin yön, yer ve şiddet değiştirmesiyle oluşan gerilme dağılımıdır. İkincil gerilmelerin dağılımı sırasında boşluk çevresinde oluşan yeni gerilmelerin şiddetlerine ve kayanın dokusuna bağlı olarak **kemerlenme** adı verilen yüklerin yoğunlaştığı bölgeler meydana gelir.

Bu kemerlenme olayı, oluşum nedenlerine bağlı olarak;

1. Gerilme kemerlenmesi,
2. Geometrik (dokusal) kemerlenme şeklinde ikiye ayrılır.

Yer altı kazısı sırasında gerilme trajektörlerinin (yörüngelerinin) boşluk dolayına kayarak sıklaşması sonucu buralarda büyük teğetsel gerilmeler oluşur. Eğer bunların şiddeti kayanın dayanımlılığından azsa gerilmeler boşluk duvarında en büyük değerlerine ulaşır. Fakat bu ikincil gerilmelerin şiddeti, kaya malzemesini hemen veya zamanla kıracak değerler almışsa boşluk daha içerilere kayacaktır. Gerilmelerin boşluk dolayında veya daha içerilerde yoğunlaşarak taşıyıcı ve koruyucu bir zon meydana getirmesine **gerilme kemerlenmesi** denir.

Kayayı oluşturan, süreksizlikle sınırlanmış olan kaya elemanları (süreksizlik cisimcikleri) açılan boşluğun boyutuna ve kendi konumlarına bağlı olarak yer çekimi ve doğal kuvvetlerin etkisiyle döner, gevşer ve birbirleri üzerinde kayarak ötelenir. Bu nedenle oluşan hacim artması (dilatasyon) sonucu, süreksizlik cisimleri kendi aralarında kenetlenir, sıkışır ve kilitlenerek bir **dokusal (geometrik) kemerlenme** meydana getirir.

Boşluk dolayındaki gerilmeler giderek bu bölgelerde yoğunlaşır ve buralarda taşıyıcı bir zon oluşturur. Wiesmann-Trompeter zonu olarak da bilinen koruyucu zon teorisi ile Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ikincil gerilme durumu altındaki derin tünellerde zaman etkisini de dikkate alan en modern yöntemdir.

NATM yönteminin başarılı olabilmesi için kaya oluşumlarının mekanik özelliklerinin, su etkilerinin ve gerilme hesaplarının doğru şekilde yapılmış olması gerekir. Bunun yanında tünelin açılması ve sonrasında gerilme ile deformasyonlar oluşacağı için bunların gözlemlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Bunun için tünel inşa aşamasında düzenli deformasyon ölçümleri yapılmalıdır. Norm hâline getirilen Avusturya normlarındaki sınıflamalarda akıcı zemin dışındaki tüm ortam ve koşullar için (enine kesitte) destekleme ve sağlamlaştırma amacıyla nelerin nasıl kullanılacağı belirlenmiştir.

Değişen ortam koşullarında denetim ve yönlendirme ölçümlerine dayalı olarak yararlanılan sağlamlaştırma ve destekleme ögelerinin miktar ve boyutlarında değişiklikler yapılmasının gereği üzerine de ayrıca dikkat çekilmektedir. Yer altı kaya yapılarının projelendirmesindeki ilke ve esaslar uluslararası norm ve standartlar ile yazılı hâle getirilmiştir. Ülkemizde inşa edilen tünellerin projelendirmeleri sırasında ve yapımında bu normlar kullanılmaktadır. Bu kapsamda T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından NATM Uygulamalı Yer Altı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi hazırlanmıştır.

Yer altı kaya yapılarının inşaatı sırasında içinde çalışılan ortam ve koşullar değişmektedir. Bu değişimin derecesi, kuvvetler ve moment dengesinin ya da gerilme durumunun teknik girişim sonucunda ne kadar bozulmuş olduğuna bağlıdır. Zamana bağlı gerilme-deformasyon ilişkisi ve çevre kayacının plastikleşmesi, denge durumu ile etkileşimin ölçütü ve nedeni olmaktadır. Bu etkileşim miktarının teknik girişim için öngörülen sınırları aşması durumunda ise duraylılık sorunu başlamaktadır. Duraylılığın bozulması, yer altı kaya yapısının çevresi ile olan ilişkisine bağlıdır.

Örneğin bir metro tünelinde hiçbir olumsuzluk olmamasına rağmen yüzeyde oturmaların olması duraysızlık kabulü için yeterlidir. Benzer şekilde yerleşimden uzak bir yerde inşa edilen bir tünelde, yeryüzündeki oturmalar duraysızlık değildir. Tünelde göçüğe neden olabilecek deplasmanlar ise duraysızlık olarak kabul edilir.

Duraysızlığın önlenmesi ve/veya giderilmesi için alınan önlemler; sağlamlaştırma, destekleme ve iyileştirme olarak derlenerek ön, geçici veya kalıcı olarak sınıflandırılır. Alınabilecek bu önlemler kuvvetler dengesini ve gerilme durumunu değiştirebilmekte ya da ortam koşullarını iyileştirebilmektedir. Süreksizlikler arasında kalan kama ve bloklar, kinematik serbestlik bulduklarında, genelde yerçekimi etkisi ile çevre kayaçtan koparak ayrılır. Bu parçaları yerinde tutmaya çalışan kuvvet çatlak dolgusunun kohezyonu ve süreksizlik yüzeylerindeki sürtünmedir. Kama ve blokların hareketi, çelik hasır ve püskürtme betonu kullanımı ile engellenerek sağlamlaştırılmaktadır.

Kullanılan kaya bulonları veya ankrajlar ile tünel çevresindeki gevşemeler engellenmekte, tünel çevresindeki çekme gerilmeleri karşılanmakta, çelik iksa uygulaması ile gerilmeler kontrol edilebilmekte ve tünel desteklenmektedir. Tünel ilerleme yönünde kullanılan enjeksiyonlu ön sürenler ortamı iyileştirici, kayacın dayanımını arttırıcı özelliğe sahip olduğu gibi ayna önünde oluşan kesme gerilmelerini de kontrol edebilmektedir. Benzer şekilde enjeksiyonlu bulonlar, jet-grout gibi çalışmalar da ortamı iyileştiren uygulamalardır.

NATM kazı yöntemi olarak delme-patlatma ve yarı mekanize kazı yöntemleri kullanılmaktadır. Kazının ardından birinci aşamada ilk tahkimat olarak püskürtme beton uygulaması yapılır. Bu şekilde oluşan ilk çatlaklar kaplanarak dökülmeler önlenir ve kayanın kendini taşıma durumunun devamlılığı sağlanır. İkinci aşamada kayaç formasyonuna bağlı olarak çelik veya kafes iksa sitemlerine başvurulabilir. Bu uygulamada amaç, tünel kemer şeklinin ve deformasyonların bir bütün içerisinde oluşumunu sağlamaktır.

Üçüncü aşamada donatılı püskürtme beton uygulanır. Öncelikle hasır donatılar zeminle arada boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilir.

İksalar arası bağlantı demirleri yerleştirildikten sonra püskürtme beton uygulamasına geçilir. Bu uygulamayla donatı korozyonunun da önüne geçilmiş olunur. Son aşamada ise kaya bulonu uygulaması yapılır. Kaya bulonu uygulamasının amacı, ikincil deformasyonlar sonucu doğal dengesi bozulan kayaçları sağlamlaştırmaktır. NATM'nin Leopold Müller tarafından geliştirilen 22 prensibi olup esası ana kayanın ilk sağlamlığını koruyarak yapılacak tahkimatla beraber kayaç bölgesinin de taşıyıcı olmasını sağlamaktır. Bu sebeple tahkimat işlemleri en kısa zamanda tamamlanır. Kazı kesitleri ne kadar yuvarlak seçilirse yöntem o kadar iyi çalışmaktadır.

Günümüzde ülkemizde yapılan birçok tünelde NATM metodu kullanılmaktadır. NATM tahkimat elemanları iksa, püskürtme beton ve kaya bulonlarıdır. Genelde püskürtme beton kalınlığı 10-20 cm aralığında değişir. Birincil tahkimattan sonra iç betonarme iç kaplama yapılarak olası bir elverişsiz durum için önlem alınmaktadır. Kaya kütlesinin doğal dayanımının korunarak taşıyıcı hâle getirilmesini esas alır. Destekleme aşamalarının ilki, kayayı taşıyıcı hâle getirir.

Kazıdan hemen sonra ince bir shot-create uygulamasıyla kazı kaynaklı çatlaklar kapatılarak kayaç kütlesinin dayanımı daha da arttırılır. Kazı işlemleri devam ederken tünelin açıldığı zemine ait testler sürekli yapılmalı, günlük deformasyon ve gerilme ölçümleri titizlikle uygulanmalıdır. Bu ölçümler, kazı ve tahkimat işlerinde değişikliklere yol açabilir.

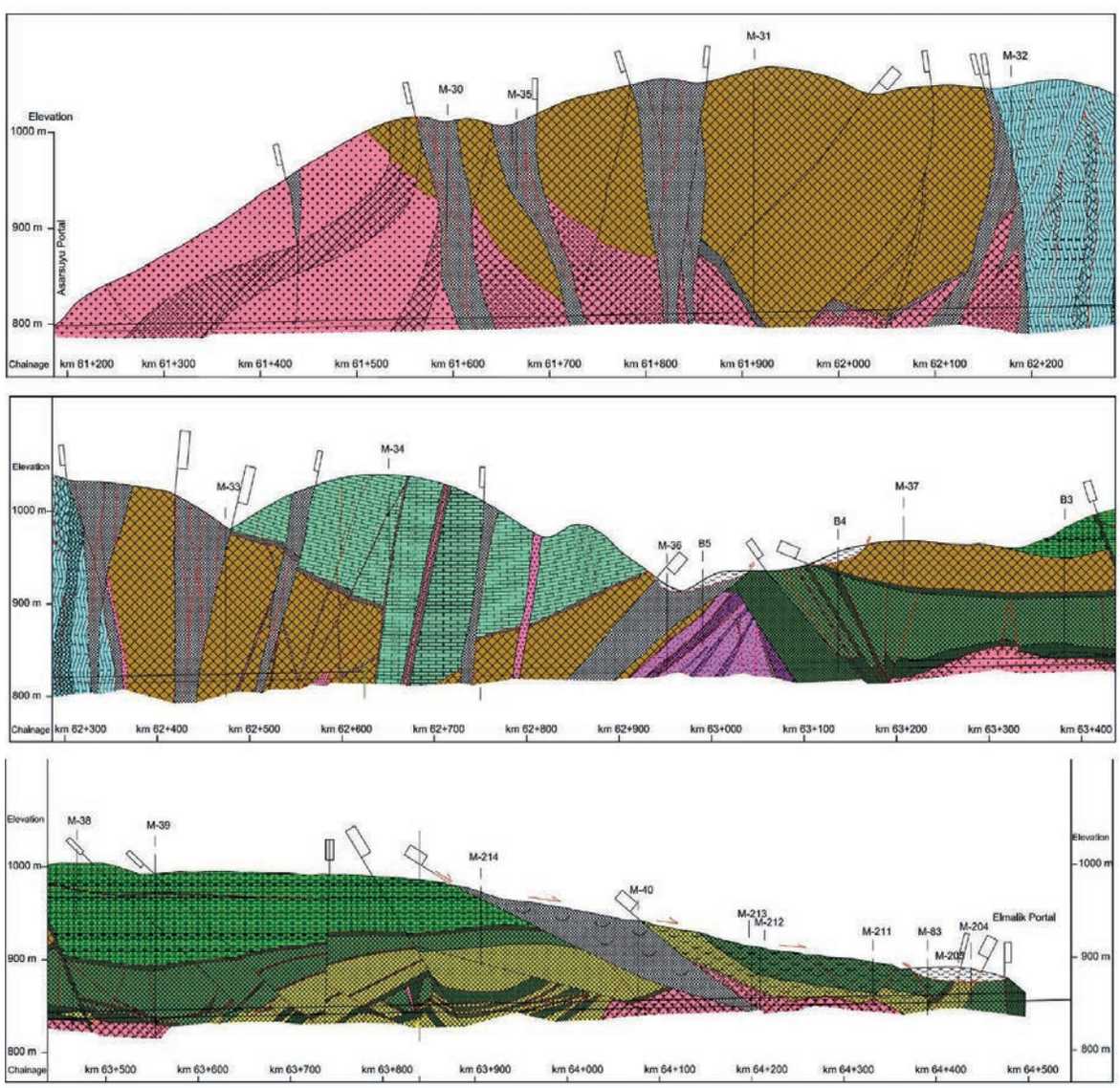
Tünelin ilk kaplaması, ince olacak şekilde püskürtme betonla sağlanmalıdır. Ana tahkimat ise çelik iksa, çelik hasır sonrasında bir kat daha püskürtme beton ve kaya bulonları ile sağlanmalıdır. Tünel kesitindeki taşıyıcı halkanın en erken zamanda oluşması için taban betonunun dökümü mümkün olduğu kadar çabuk yapılmalıdır. Özellikle zayıf zeminlerde açılan tünellerde buna dikkat edilmelidir.

Bolu Tüneli Jeolojik-Jeoteknik Koşulları: Bolu Tüneli güzergâh boyunca tektonizmaya uğramış birimler içerisinde açılmıştır. Tüneli etkileyen ana fay sistemleri 1. derece aktif fay sistemleridir. Bolu Tüneli boyunca yer alan birimler iki gruba ayrılabilir. İlk grup İstanbul girişinde (Asarsuyu) metakristalin kayalardan oluşmuş ve genelde metasediman seriler içerisinde açılmıştır. Bu bölüm Bakacak fay zonunun tüneli kestiği yaklaşık km: 62+800'e kadar olan bölgeyi kapsamaktadır. Bu noktadan sonra ise Ankara girişinde (Elmalık) yer alan filiş serisini kapsamaktadır. Bu bölge düşük açılı faylar ile kesilmiş olup bu iki grup arasında yaklaşık 200 m uzunluğundaki Bakacak fayı bulunmaktadır. Elmalık girişinde tüneli olumsuz etkileyen alttaki metakristalin tabaka üzerinde yer alan üstteki sedimanter serisi içerisindeki düşük açılı faylardır.

Tünel kazısı ise genelde bu bölümde yapılmış olup beklenmeyen aşırı deformasyonlara neden olmuştur. Elmalık tarafında karşılaşılan filiş serileri tektonizmaya uğramış kiltaşı, silttaşı ve kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Bu kesim genel olarak kaygan yüzeyli ve yüksek plastik özelliklere sahip fay kili malzemesi içermektedir.

Tüneli olumsuz etkileyen Bakacak fayı uzunluğunun 10 ile 15 km arasında değiştiği ve tüneli 200 m'lik bir kesimde kestiği belirlenmiştir. Fayın yönelimi yaklaşık olarak doğu-batı yönünde olup tüneli km:62+800 ile 63+000 arasında dik olarak kesmektedir. Bu fay zonu kırmızı renkli yüksek plastik özellikli olup büyük oranda kaygan yüzeylere sahiptir.

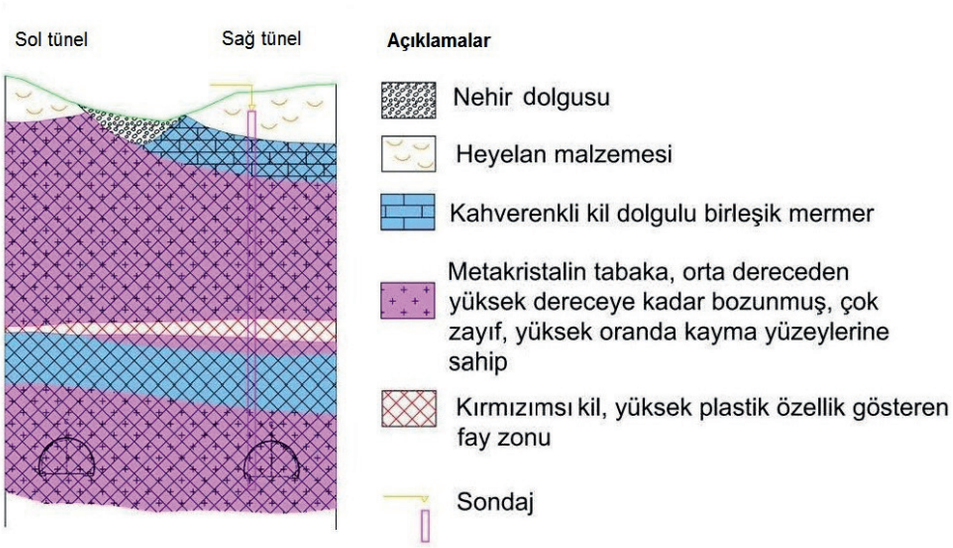
Bolu Tüneli güzergâhı jeolojik yapısı 4 ana bölüm olarak incelenir. Bunlar metakristalin tabaka (Yedigöller formasyonu), metasediman serileri (İkizoluk formasyonu), filiş serisi (Fındıcak formasyonu) ve killi fay zonlarıdır. Bolu Tüneli'nde sayısal analiz çalışmaları için metakristalin tabaka ile filiş serileri içinde geçilen bölümler incelenmiştir. Bu bölümlerin örtü yükseklikleri filiş serisinde 50 m, metakristalin tabaka için ise 100 m'dir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Bolu Tüneli jeolojik profili

Filiş serisi içinde geçilen bölüm tünelin Elmalık girişine yakın kısmında olup km: 63+910 ile 64+120 arasında yer almaktadır. Tünelin bu bölümü, temelde düşük plastik özellik gösteren filiş serisinde kazısı yapılmış kiltaşı, kumtaşı ve marnlı kireçtaşı içerir. Marnlı kireçtaşı ve birleşik kalkerli kumtaşı az dereceden orta dereceye kadar bozunmuş, zayıftan orta dereceye kadar değişen dayanıma sahiptir. Kiltaşı tabakaları ise yüksek oranda bozunmuş ve oldukça zayıf özelliklere sahiptir ve bloklu malzeme ile ince matriksler hâlindedir. Matriks, toplam kütlenin %20-40'ını oluşturmaktadır. İnce matriksler killi kumlu silt yapılarından oluşur.

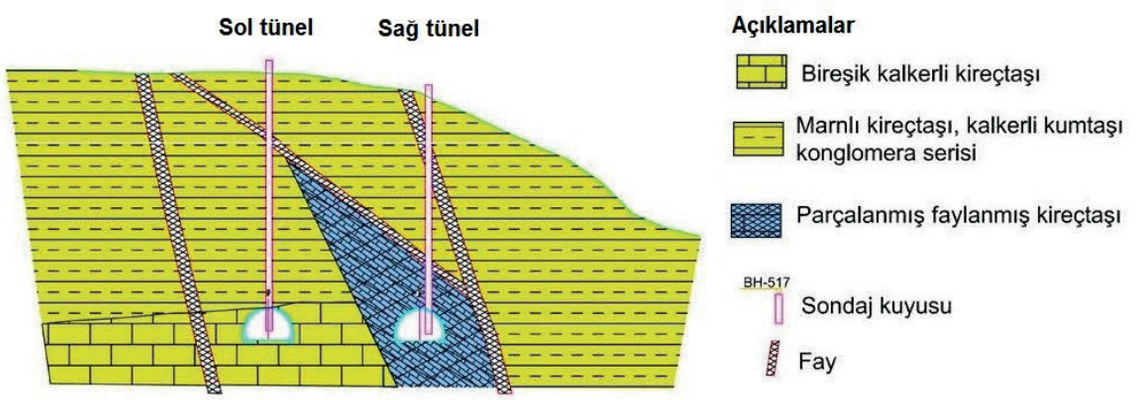
Şekil 5.6'da bu bölüme ait jeolojik kesit verilmiştir.



Şekil 5.6: Bolu Tüneli zemin jeolojik yapısı (sağ ve sol tüneller)

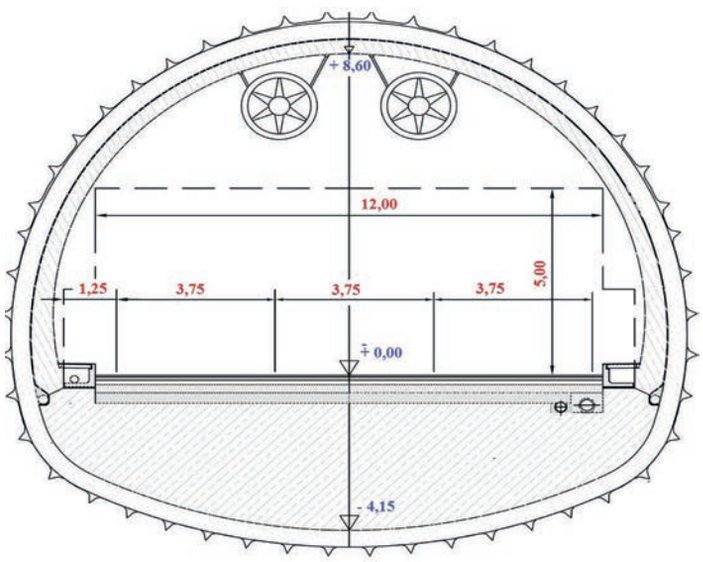
Metakristalin tabaka içinde geçilen bölüm km: 62+890 ile 63+080 arasında yer almaktadır. Kaya kütlesi amfibolitler ile beyaz renkli sağlam kuvars içinde makaslama bölümlerine sahiptir. Bu bölüm kahverengi yeşil ve gri renkli orta dereceden yüksek dereceye kadar bozunmuş olup oldukça zayıf özelliklere sahiptir.

Şekil 5.7'de metakristalin tabakaya ait jeolojik kesit verilmiştir.



Şekil 5.7: Bolu Tüneli zemin, fay ve sondaj kuyusu (sağ ve sol tüneller)

Bolu Tüneli Projelendirme ve Yapım Çalışmaları: Bolu Tüneli, Ankara-İstanbul Otoyolu içerisinde yer almakta olup 3 şeritli çift tünelden oluşur. İstanbul tarafında (Asarsuyu girişi) kazı işlemleri 1993 yılında, Ankara tarafında (Elmalık girişi) ise 1994 yılında kazı işlemlerine başlanmıştır. Tünel kazı işlemleri 2006 yılında tamamlanarak 2007 yılında trafiğe açılmıştır. Kazı işlemleri toplam 13 yıl sürmüştür. Tüneller arasında 50-60 m'de değişen topuk bırakılmıştır. Tünel örtü yüksekliği genelde 100-150 m arasında değişmekte olup en yüksek örtü yüksekliği ise 250 m'dir. Tünel kazı çapı destek sınıflarına bağlı olarak 13,0-18,2 m arasında değişir. Kazı alanı ise 133-260 m^2 arasındadır. Tünellerin tamamlanmış hâlinde yatay açıklık olarak 14,0 m ve yükseklik ise 8,60 m'dir (Şekil 5.8). Bolu Tüneli, Yeni Avusturya Tünel Açma (NATM) Yöntemi'ne göre projelendirilmiştir.



Şekil 5.8: Bolu Tüneli en kesiti

Projelendirme aşamasında sıkışan kayadan çok sağlam kaya sınıfına kadar destek sistemleri belirlenerek kazı işlemlerine başlanmıştır. Tünel kazısı sırasında beklenmeyen jeolojik koşullara göre deformasyonlarda ciddi artışlar gözlenmiştir. Bu artışlar yer yer Elmalık girişinde yer alan filiş serileri ile kısa fay zonlarında toleransın 4 ile 5 katına kadar çıkmıştır. Karşılaşılan yeni jeolojik koşullara göre tünel destek sistemleri sürekli olarak revize edilmiştir. Destek sistemlerinde yapılan bu değişiklikler ilk dönemlerde NATM prensipleri içerisinde kalarak devam etmiş ancak başarı sağlanamamıştır.

1998 yılından itibaren NATM prensiplerinin dışına çıkılarak esnek bir dış kemer ilkesinden vazgeçilmiştir. Yapılan bu revizyonlarda kaplama kalınlığının tamamen artırılması yönüne doğru gidilmiştir. Bu amaçla kısa fay zonlarında dış kaplama ile iç kaplama arasında ara kaplama eklenmiş (Seçenek 3), uzun fay zonlarında ise alt yarı pilot tünel yöntemi (Seçenek 4) kullanılmıştır. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nde meydana gelen göçük sonrasında ise bu yöntemlerin uygulanmasına devam edilmiştir. Düzce Depremi'nde Elmalık girişinde yaşanan göçük incelendiğinde deformasyonların devam ettiği ve sönümlenemediği bölgede oluştuğu gözlenmiştir. Bu bölgede iç kaplaması yapılan ilk 400 m'lik kesimde ise herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

SIRA SİZDE

Tünel güzergâhı hangi özellikler dikkate alınarak homojen bölgelere ayrılır? Aşağıda verilen boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

Bolu Tüneli güzergâhı jeolojik yapısını oluşturan 4 ana bölümü Aşağıda verilen boşluğa yazınız.

5.1.2. Tünellerde Stabilite, Deplasman Analizleri ve Proje Çizimleri

Tüneller için gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi ve geoteknik modeller sonrasında tüneller için uygulanacak destekleme, sağlamlaştırma ve iyileştirme yöntemleri belirlenir. Uygulanması düşünülen bu yöntemlerin yeterlikleri ve ekonomiklikleri, gerçekleştirilecek stabilite ve deplasman analizleri ile tahkik edilir. Stabilite analizlerinin amacı; yer altı yapısı etrafında oluşan gerilmelerin belirlenmesi, bu gerilmeler nedeniyle tünel yapı elemanları üzerinde oluşan kuvvetlerin hesaplanması ve tünel sistemin ömrü boyunca görevini tam anlamıyla yerine getirmesini sağlayacak şekilde inşa edilmesidir.

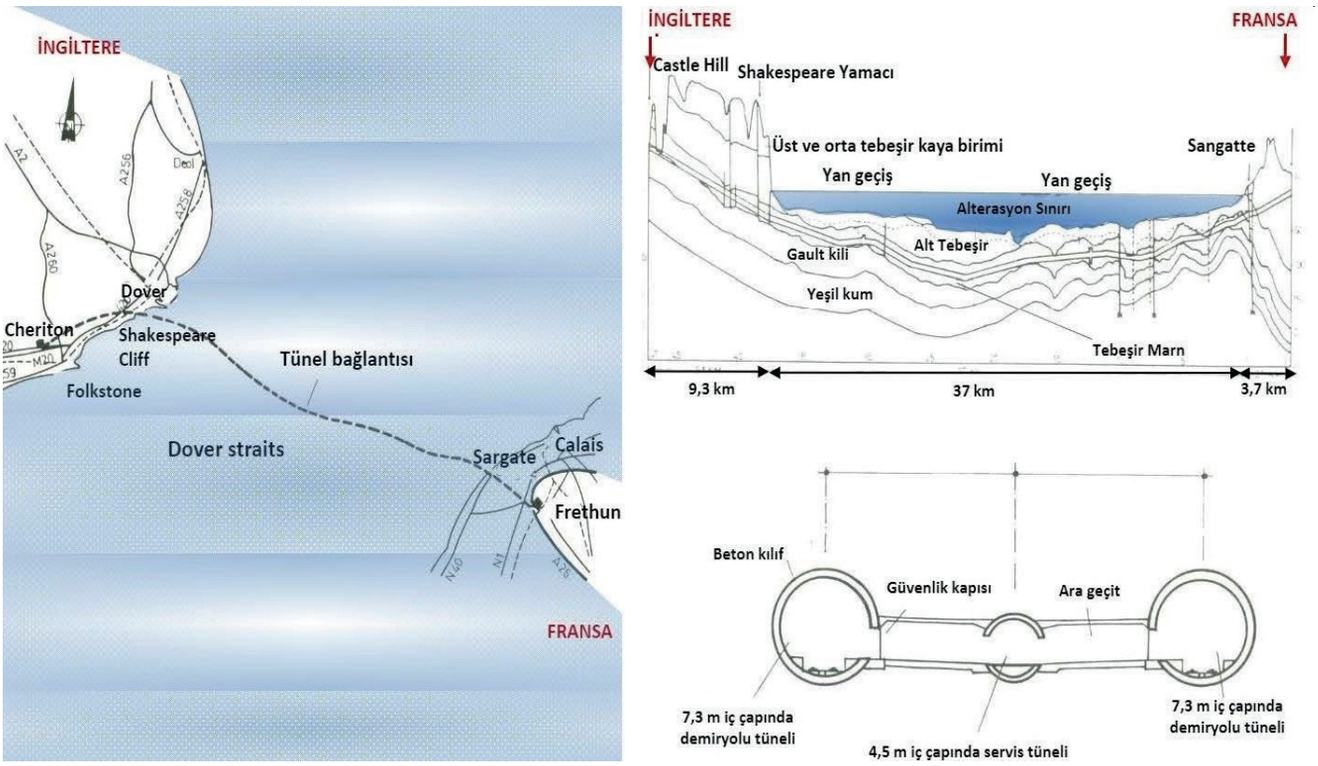
Deplasman analizlerinin amacı ise sistemde gerek yapım sırasında, gerekse desteklemenin tamamlanmasının ardından oluşacak deplasmanların derecelerinin hesaplanmasıdır. Yapılan hesaplamalar neticesinde sistemdeki deplasmanların kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalacağından emin olunmalıdır. Tünellerdeki stabilite ve deplasman analizleri iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Birinci aşamada analitik yöntemler ile ön boyutlandırma yapılır. Bu sayede çok farklı alternatifler için (farklı kalınlıklarda püskürtme beton uygulanması, çelik iksa-kafes iksa alternatiflerinin denenmesi, gerekli kaya bulon adet ve aralıklarının denenmesi) çok sayıda hesaplama yapılarak yeterli güvenlik sınırları içerisinde olması koşulu ile ihtiyaç duyulan minimum destekleme sistemi boyutlandırılır.

Belirlenen bu destekleme sisteminin gerçekten güvenli olup olmadığının tahkiki ise ikinci aşama analizleri oluşturmaktadır. Bu kapsamda nümerik yöntemler (sonlu elemanlar, sonlu farklar) ile hesaplamalar belirlenen sistem için tekrarlanır. 2 ve 3 boyutlu plastik analiz yapabilen gelişmiş ve en güncel bilgisayar yazılımları ile tünellerin analizleri gerçekleştirilir. Elde edilen tüm sonuçlar hazırlanan tünel hesap raporları ile sunulur. Tünel projeleri için çizimler teknik resim çizim kurallarına bağlı kalınarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. Şartnamelerde öngörülen tüm çizim paftaları elektronik ortamda hazırlanır, yapım sırasında yüklenicinin ihtiyaç duyabileceği tüm detaylar paftalar üzerinde gösterilir. Ayrıca tünel güzergâhı ve arazi 3 boyutlu olarak da modellenir. Bu sayede özellikle portal kesimlerinin mimari yapısı görsel olarak sunulabilir hâle gelir.

Tünel projelerinin hazırlanmasında aşağıda verilen proje, plan, kesit, detay ve rapor çalışmaları ulusal, uluslararası norm ve şartnameler doğrultusunda titizlikle hazırlanır.

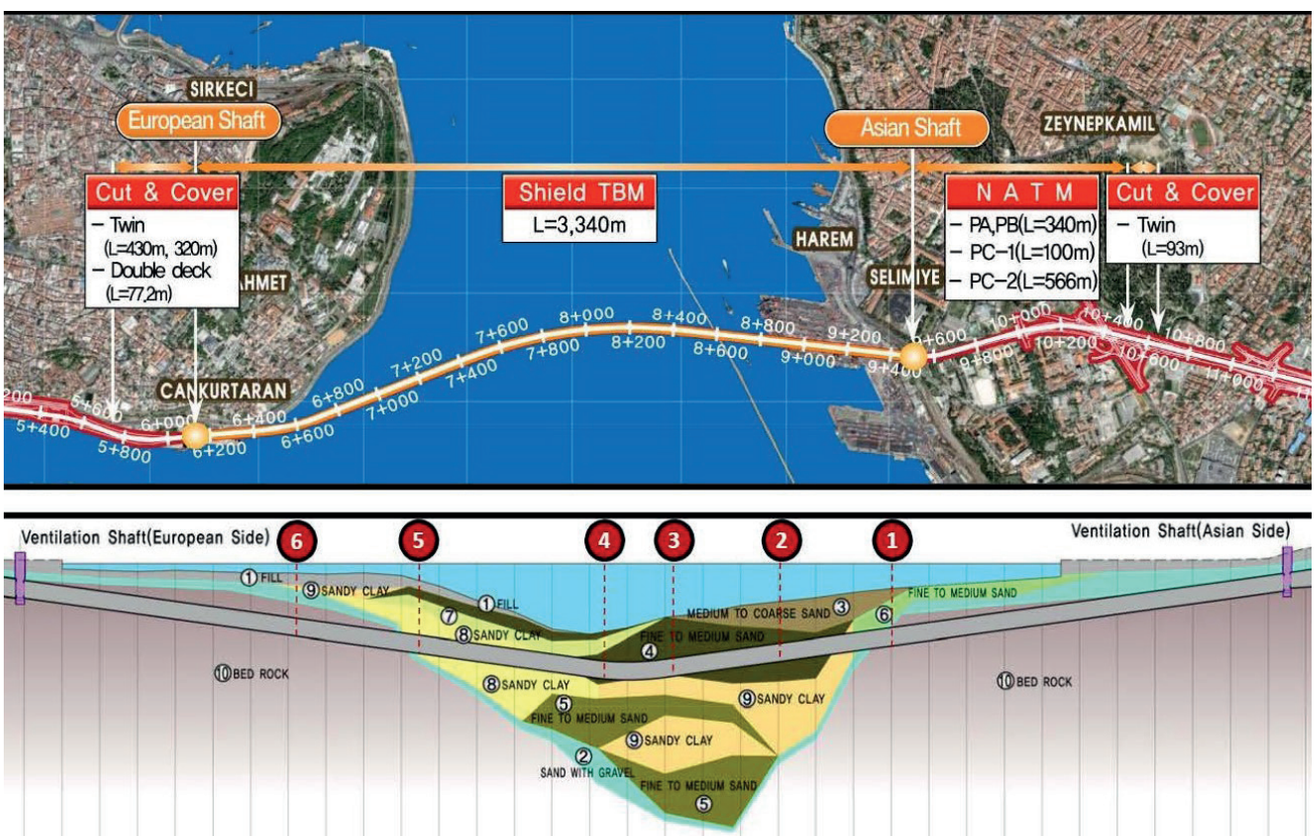
- Genel yerleşim planı
- Jeolojik-jeoteknik profil ve kesitler
- Mühendislik jeolojisi haritaları
- Tünel yerleşim planı
- Güzergâh planı
- Tünel tip kesitleri
- NATM tünel destekleme tip kesitleri
- Tünel kazı-destekleme aşamaları tip kesitleri
- Bulon açılımı ve süren uygulamaları detayları
- Çelik iksa detayları
- Araç ve yaya geçişi projeleri
- Drenaj projeleri
- Yangın söndürme projeleri
- Su yalıtımı ve iç kaplama projeleri
- Portal kesimleri için mimari ve jeoteknik projeler
- Deformasyon ve yapım toleransı projeleri
- Jeoteknik ölçüm projeleri
- Tünel jeoteknik ve statik hesap raporları

Şekil 5.9'da Manş Kanalı Demiryolu Tüneli güzergâhı, genel yerleşim plan örneği verilmiştir.



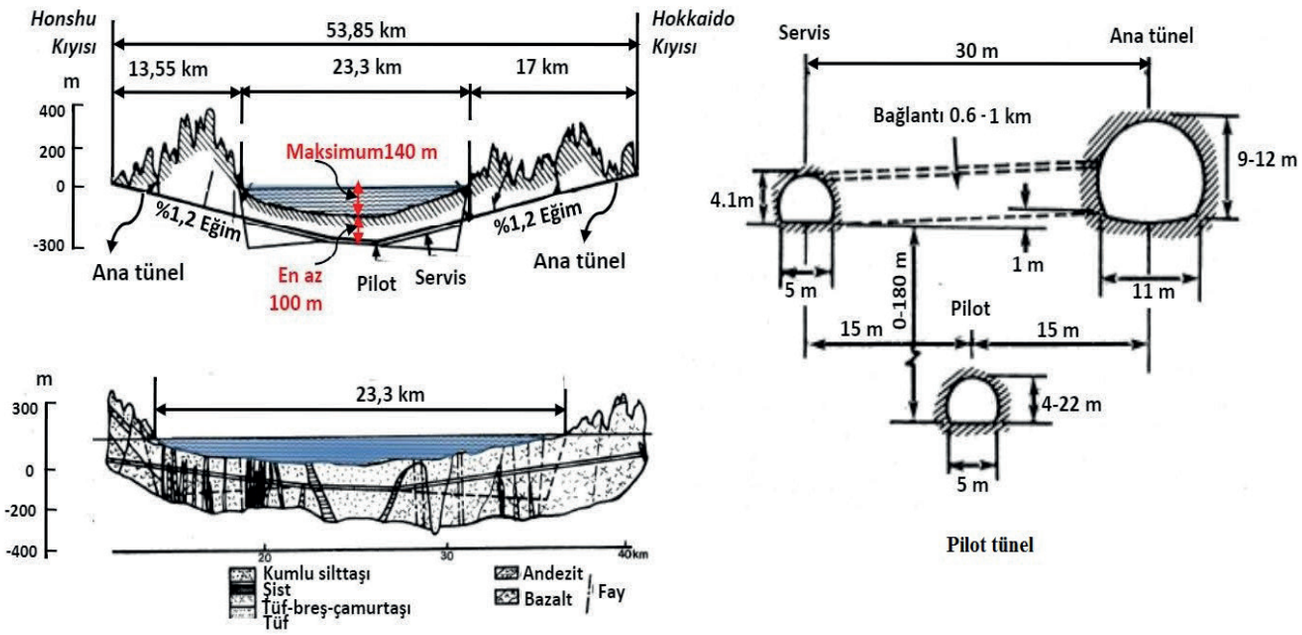
Şekil 5.9: Su altı tüneli genel yerleşim planı (Manş Kanalı Demiryolu Tüneli zemin yapısı ve tünel boyutları)

Şekil 5.10'da Avrasya Tüneli Karayolu Projesi güzergâhı, genel yerleşim plan örneği verilmiştir.



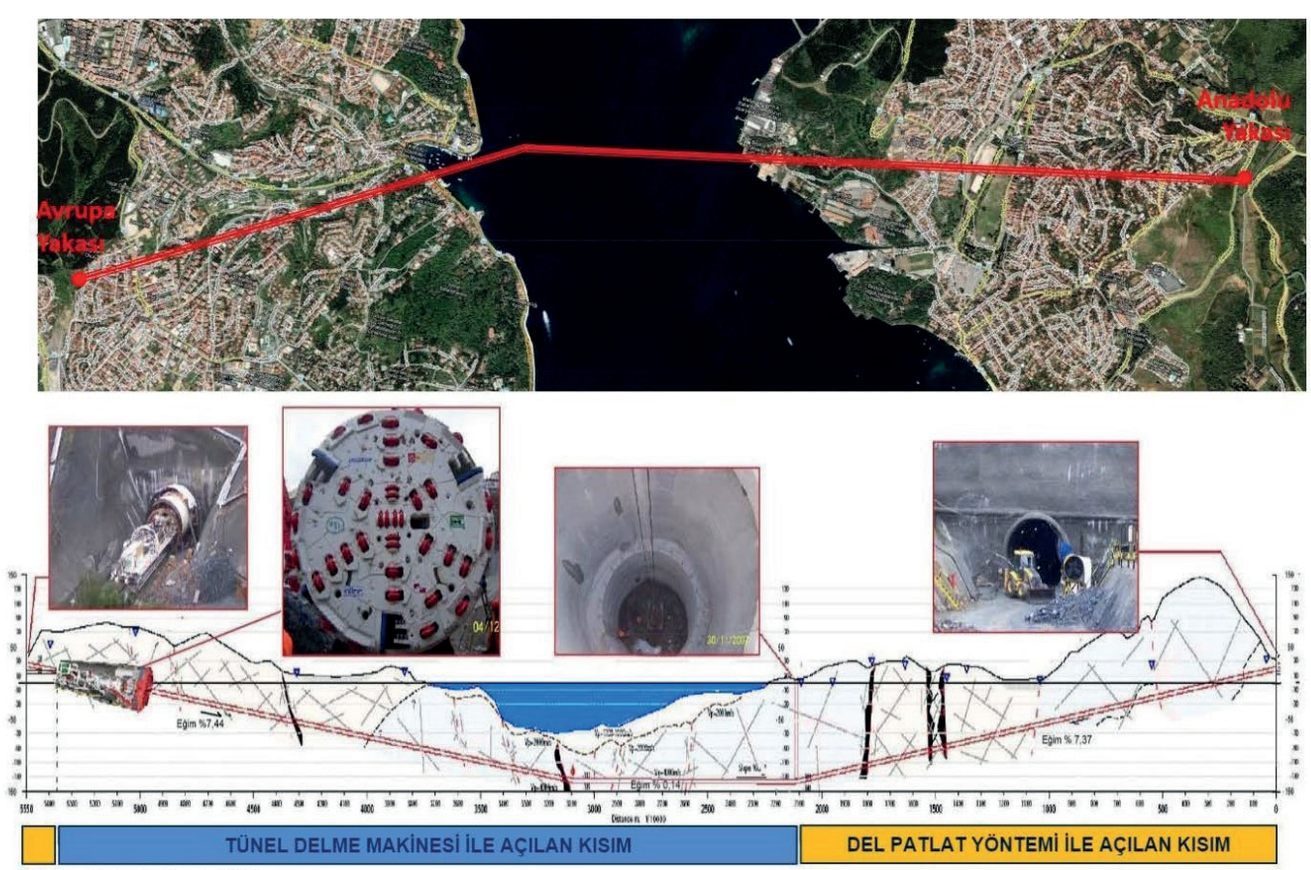
Şekil 5.10: Su altı tüneli genel yerleşim planı (Avrasya Tüneli Karayolu Projesi boy kesiti)

Şekil 5.11'de Seikan Demiryolu Tüneli genel yerleşim planı, jeolojik yapı durumunu gösteren kroki çizimi verilmiştir. Projede pilot tünel, çok uzun tünellerde jeolojik belirsizlikleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan çok küçük açıklıklı tünel olarak yapılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: Su altı tüneli genel yerleşim planı (Japonya, Seikan Demiryolu Tüneli zemin yapısı ve ölçüleri)

Melen Sistemi Boğaziçi Tüneli'nin İstanbul Boğazı altında kalan en kritik kesiminde tünel kazı kotu üzerinde 30 metre denizel alüvyon, 35 metre ana kaya bulunmaktadır. Tünelin kazı kotu ve üzerinde yapılan basınçlı su testlerine göre ortam geçirimsiz olup gerek su geliri, gerekse duraylılık yönünden önemli sorunların olmayacağı tahmin edilmektedir (Şekil 5.12).

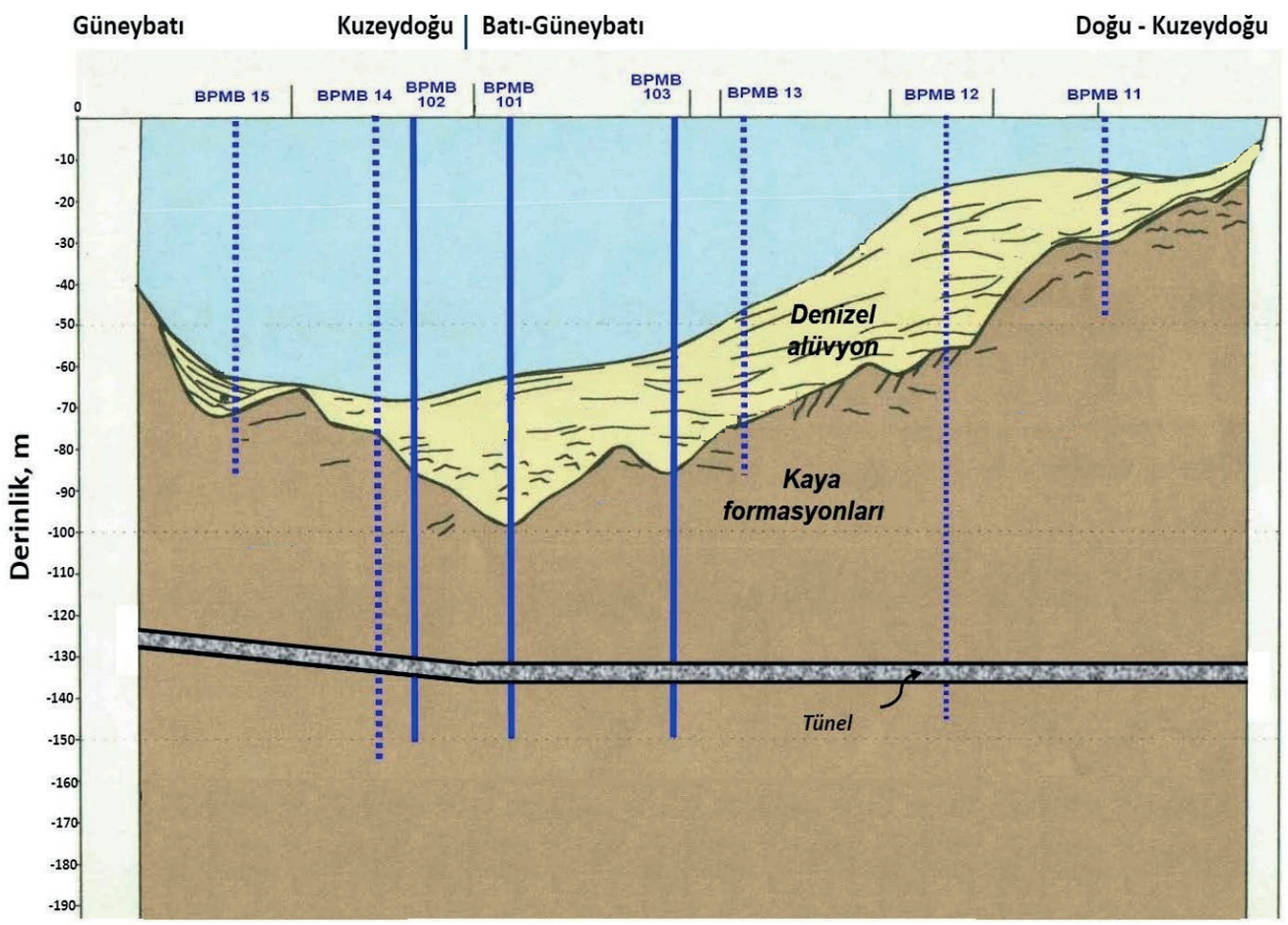


Şekil 5.12: Melen Sistemi Boğaziçi Tüneli güzergâhı ve kullanılan tünelin açma yöntemleri

SIRA SİZDE

Ulusal ve uluslararası normlara, şartnamelere göre tünel yapımı için hazırlanan proje, plan, kesit, detay ve rapor çalışmaları hangileridir? Aşağıda verilen boşluğa yazınız.

Melen Sistemi Boğaziçi Tüneli'nin Avrupa Yakası'nda Devoniyen yaşlı ayrışmamış-az ayrışmış ardalanmalı kumtaşı, kireçtaşı ve çamurtaşı tabakaları, Asya Yakası'nda ise Devoniyen-Siluriyen yaşlı yer yer karstik kireçtaşları yer almaktadır. Bu birimler yer yer diyabaz daykları ile kesilmiş durumdadır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13: Melen Sistemi Boğaziçi Tüneli deniz sondajları jeolojik profili

5.1.3. Yumuşak Zemin Ortamında Tünel Açılması

Yumuşak zemin ortamında tünel açılırken yan duvarlar (ayaklar) kendini tutamaz ve açılan boşluğu dolduracak şekilde akar. Akma olayı daha çok su içeriği fazla olan killi ve siltli zeminlerde çamur akması şeklinde kendini gösterir. Su içeriğinin az olması durumunda bu ortamlarda sıkışma ve şişme türü olaylar meydana gelir. Bu tür zeminlerde açılan tünelin desteksiz durma süresi çok kısadır. Yumuşak zeminlerde su içeriği etkili olduğundan yer altı su seviyesinin çalışma ortamının altına indirilmesi gerekir. Bu tür şişen killi zeminlerde daire kesitli tünel önerilir. Su içeriği çok düşük kil ve çimentolu kumtaşları, belirli bir kesme direncine sahip olduklarından hemen desteklenmelerine gerek olmayabilir. Ancak genellikle yumuşak zeminlerde tünel açılırken güvenlik açısından bir destekleme yapılır.

5.1.4. Kaya Ortamında Tünel Açılması

Kaya ortamında tünel açılırken yer çekimine, boşluk suyu basıncına ve kalıcı gerilmelere bağlı olarak kayaç içinde çeşitli olaylarla karşılaşılır. Tünel açılması sırasında ortaya çıkan kazı boşluğu nedeniyle kaya içindeki doğal gerilmeler yön ve şiddet değişikliğine uğrayarak yeni gerilmelere neden olur.

Kaya Patlaması: Doğal gerilmelerin etkisi ile kazı türü ve kazı hızına bağlı olarak çeşitli büyüklükte kayaların ani ve patlayarak tünel boşluğuna düşmesi olayıdır. Küçük kayaların patlamasına **kaya fırlaması**, büyük kayaların patlamasına ise **kapak atma** denir.

Fay ve kırık gibi süreksizliklerin bulunması, farklı dirençli kayaların bir arada olması kaya patlaması olayında etkilidir. Tünelin süreksizliklere ve dayk gibi farklı dirençlerdeki kayaçlara yakın olan kısmında kaya patlamaları ve aşırı sökülme meydana gelir. Kaya patlaması olayı, tünel açılması sırasında meydana gelebileceği gibi tünel açıldıktan sonra da olabilir. Bu olayın önceden belirlenmesi zor olmakla birlikte karmaşık jeolojik koşullarda bu tür olayların meydana gelebileceği göz önünde bulundurularak güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bununla birlikte düşük dayanımlı şist, çamurtaşı ve kiltaşı gibi killi kayaçlarda tünel açılırken kaya patlaması yerine şişme, kabarma ve sıkışma olayları meydana gelebilir.

Kayalarda tünel açıldığında süreksizliklerle gevşemiş olan blokların tünel boşluğuna doğru hareket ederken birbirlerine kenetlenerek duraylı konuma gelmelerine **kemerlenme** denir. Kemerlenme; kayaçların yapısal özelliklerine, litolojisine, süreksizlik düzlemlerinin konumlarına, doğrultu ve eğimi ile tünel doğrultusunun konumlarına, desteksiz kalan tünel kesiminin uzunluğuna ve genişliğine bağlıdır. Tünel açılırken planlanan kesitten daha fazla yapılmış olan kazılara **aşırı sökülme** denir. Aşırı sökülme; kayaç cinsi, ayrışma derecesi, süreksizlik ara uzaklığı ve sıklığı, tünel açma yöntemi, kullanılan patlayıcı madde miktarı, tünel çapı destek şekli gibi pek çok faktöre bağlıdır. Farklı kayaçlarda aşırı sökülme oranları Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5: Farklı Kayaçlarda Aşırı Sökülme Oranları

Kayaç Türü	Aşırı Sökülme Oranı
Tortul kayaçlarda	%9-11
Granitlerde	%10-12
Bazaltlarda	%8-15
Gnayslarda	%8-11
Diğer metamorfik kayaçlarda	%11

5.1.5. Tünel Yapım Tekniklerinin İncelenmesi

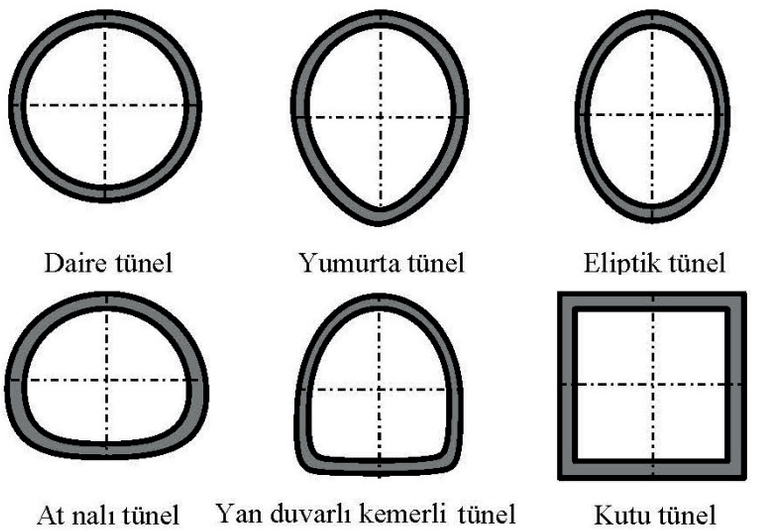
Tünel yapım tekniklerinin incelenmesi kapsamında tünel sınıflandırılmaları aşağıda açıklanmıştır.

En Kesit Şekillerine Göre Tüneller

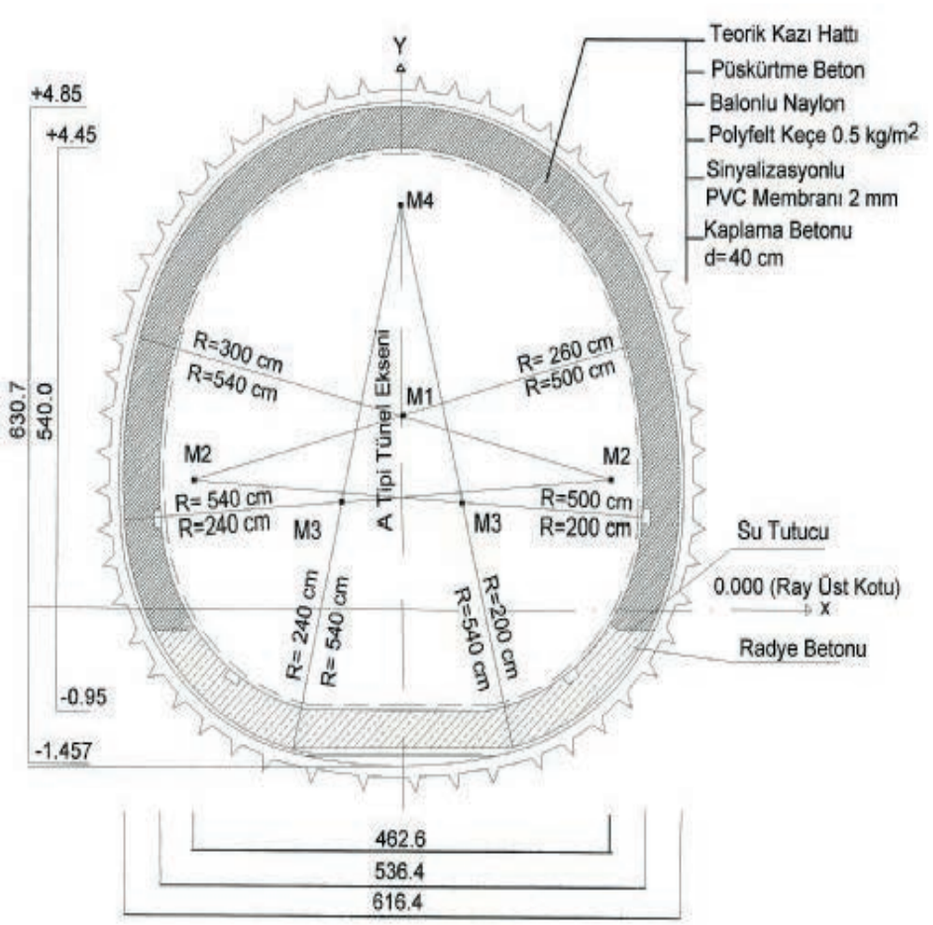
Tünellere ilişkin en kesit tipleri, bunların üzerinde bulundukları ulaşım yolunun cinsine ve bu yol zemininden gelecek etkilere göre değişir. Bunlar kaya zeminlerde, genellikle en kesitleri dairesel kemer ve iki düşey yan duvardan oluşacak şekilde inşa edilir. Yumuşak zeminlerde açılan tünellerin ise yatay basınçları karşılayacak en kesitlere sahip olması gerekir.

Bu tür zeminlerde açılan tünel en kesitlerinin tam daire ya da nal şeklinde olması tercih edilir. Dairesel en kesitli tüneller teorik olarak iç ve dış kuvvetleri en iyi karşılayan tünellerdir. Diğer taraftan bunlar en küçük çevreyle en büyük en kesite sahiptir. Ancak bu üstünlükleri yanında bazı sakıncaları da mevcuttur. Bunlardan biri, tabanlarının yuvarlak olması nedeniyle ulaşım yolu için fazlaca dolgu gerektirmeleridir. Diğeri ise beton kaplamanın yapım zorluğudur. Günümüzde kemerli ve dairesel en kesit şekilleri arasında olduğundan tasarım mühendisleri ve yüklenici tarafından daha çok nal şeklindeki en kesitler tercih edilir. Böyle bir tünelin tabanı ulaşım yolu için yeteri kadar düz olduğu gibi eğrisel kenarları ve tabanı da kemer gibi çalıştığından dış kuvvetleri karşılamak için daha uygundur. Yumurta şeklindeki en kesitler şehir atık sularıyla taşkın debilerini geçiren birleşik kanalizasyon tünellerinde kullanılan en kesitlerdir. Ancak tabanları dar olduğundan karayolu, demiryolu tünelleri için uygun değildir.

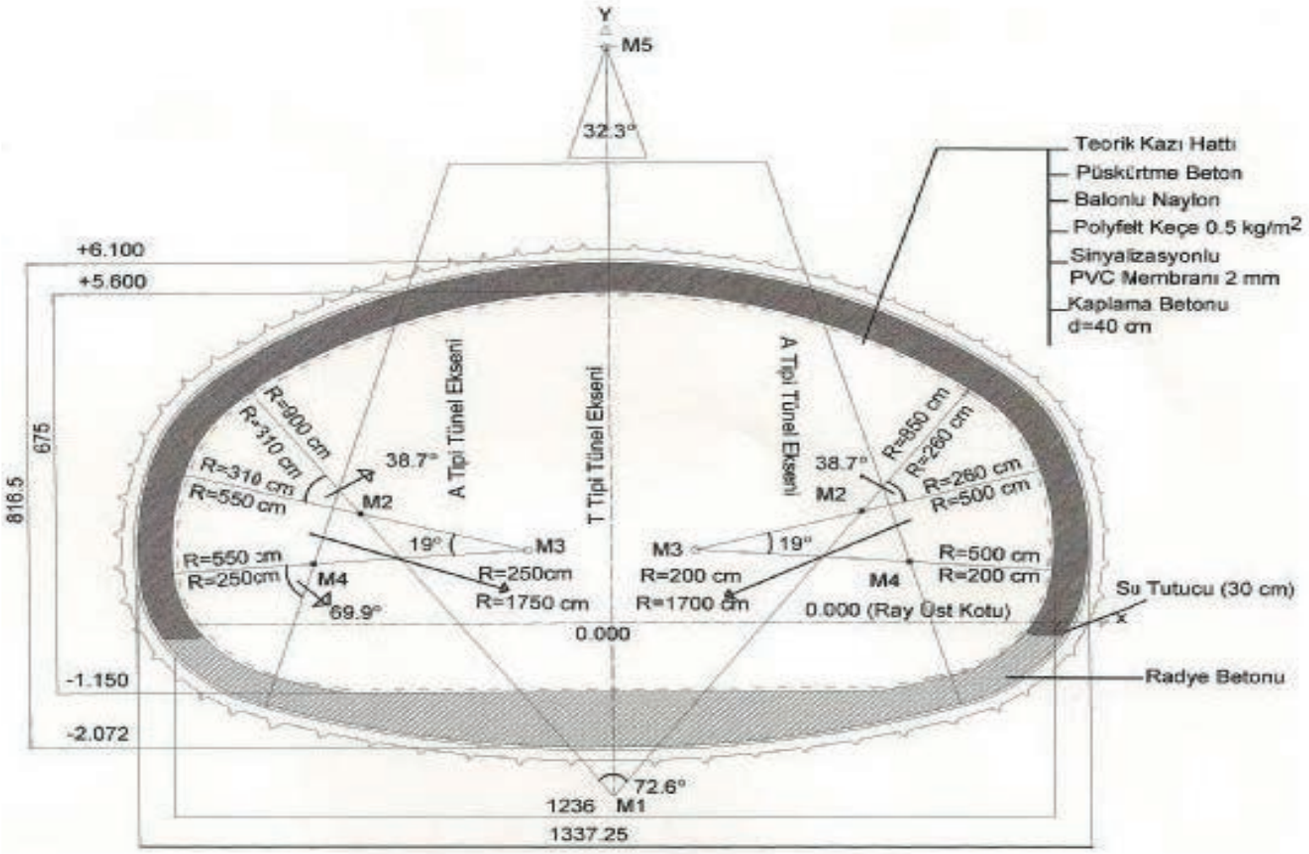
Dikdörtgen en kesitli tünellerin aç-kapa yöntemiyle yapılanları, su altı tünelleri hariç, kaplamalarının zor olmasından dolayı tercih edilmez. Karayollarında geniş araçların geçişi için yol genişliği önemli bir konu olduğundan at nalı veya yan duvarlı kemerli tünel tercih edilir. Dış basıncı daha düşük olan aç-kapa veya menfez türü tünel kesitleri ise kutu tünel şeklinde yapılır. TBM [TBM: Tunnel Boring Machine (Tanıl Boin Meşin)] makinesi dairesel kesit açarak ilerlediğinden daire kesitli tünellerin yapımında kullanılır. Dairesel kesitler çoğunlukla demiryolu veya karayolu için tercih edilir. İç ve dış basıncın olduğu sıvı veya gaz iletimini sağlayan tünellerde ise yumurta veya eliptik tünel şekli tercih edilir (Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18).



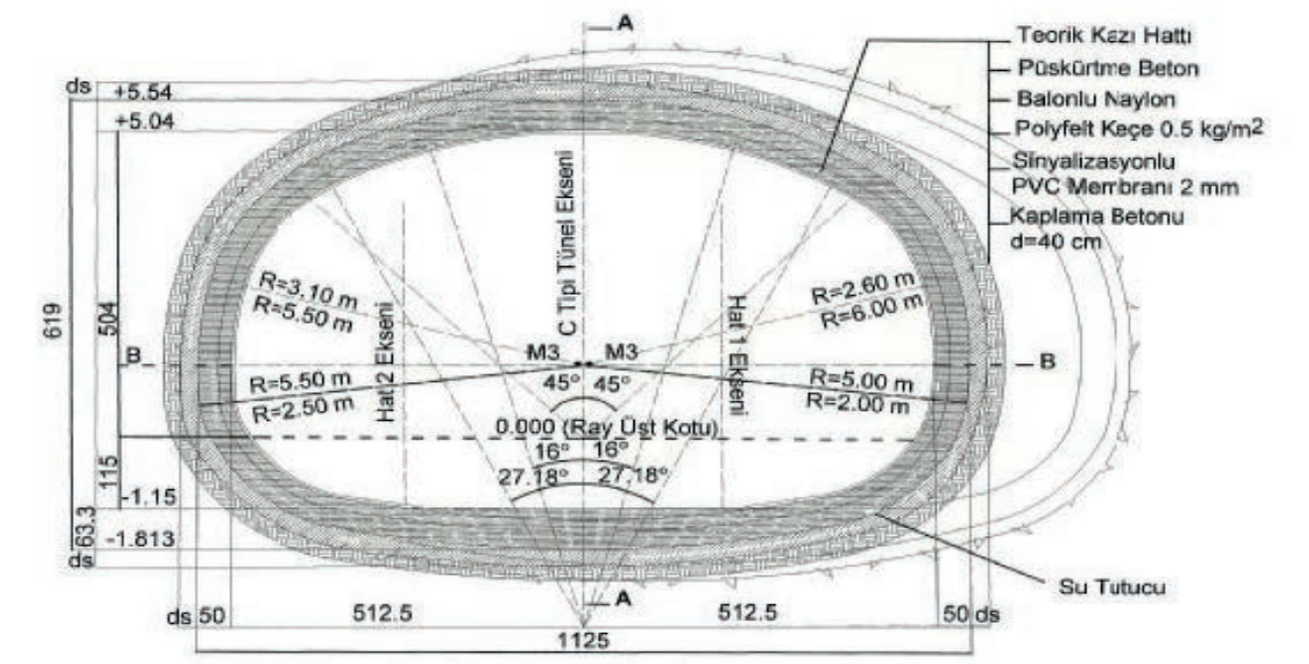
Şekil 5.14: Tipik tünel kesitleri



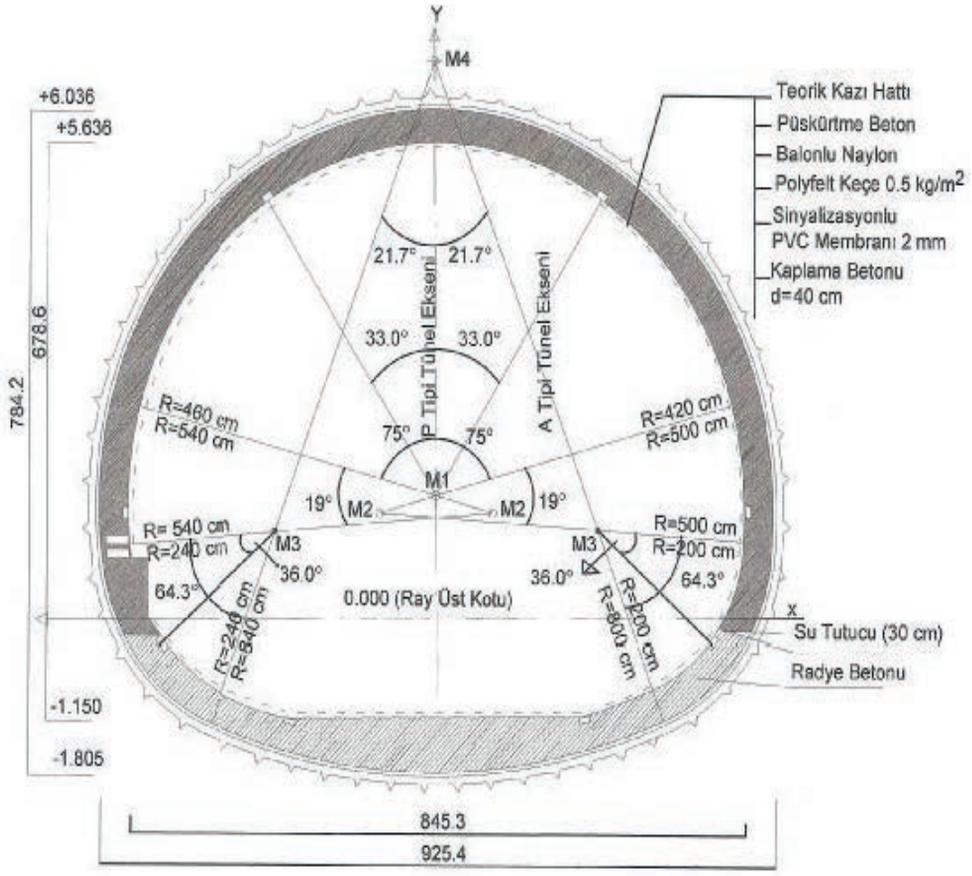
Şekil 5.15: İstanbul Darüşşafaka İstasyonu ve Hacıosman İstasyonu A tipi ana hat tüneli (at nalı en kesit)



Şekil 5.16: İstanbul Darüşşafaka İstasyonu ve Hacıosman İstasyonu T tipi geçiş tüneli (eliptik en kesit)

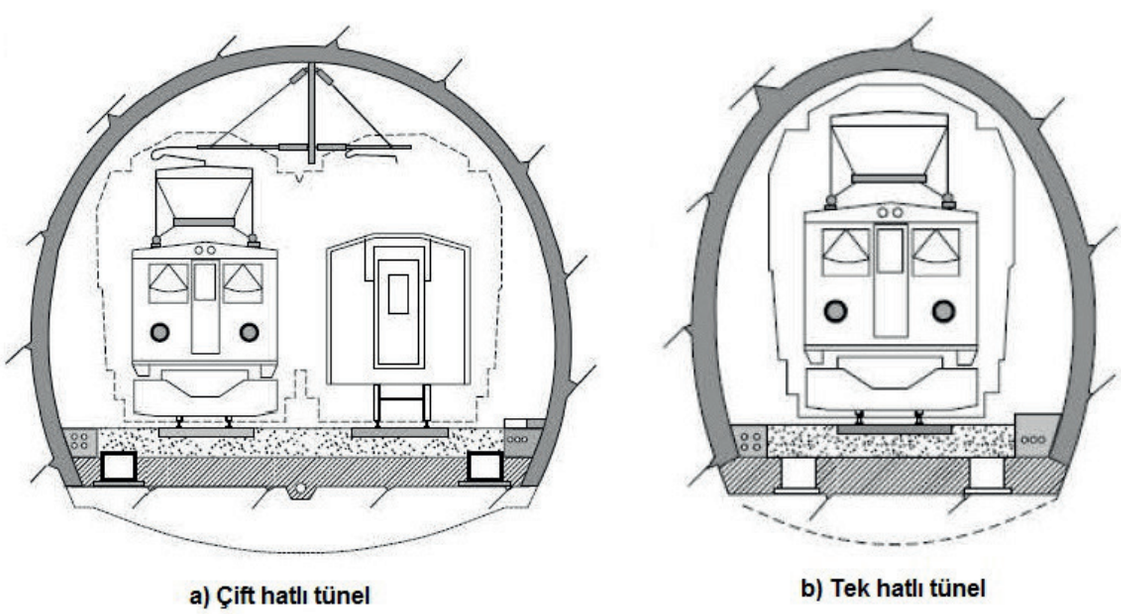


Şekil 5.17: İstanbul Darüşşafaka İstasyonu ve Hacıosman İstasyonu C tipi makas tüneli (eliptik en kesit)



Şekil 5.18: İstanbul Darüşşafaka İstasyonu ve Hacıosman İstasyonu P tipi peron tüneli (dairesel, at nalı en kesit)

Demiryollarında ise genellikle Şekil 5.19'da verilen çift hatlı ve tek hatlı tipik dairesel ve eliptik tünel kesitleri tercih edilir.



a) Çift hatlı tünel

b) Tek hatlı tünel

Şekil 5.19: Çift hatlı ve tek hatlı tipik demiryolu tünel en kesitleri (dairesel ve yumurta-eliptik en kesit)

İşlevlerine Göre Tüneller

Tünellerin işlevlerine göre sınıflandırılması aşağıda açıklanmıştır.

a. **Barınak ve Tapınak Tünelleri:** Geçmişte barınak ve tapınak olarak kullanılmış olan tünellerdir.

b. **Karayolu, Demiryolu, Metro ve Suyolu Ulaşım Tünelleri:** Bu tür tüneller yaygın olarak yapılan ve ulaşım hizmetine sunulan tünellerdir.

c. **Maden Galerileri:** Bu galeriler, yer altındaki maden cevherini yeryüzüne çıkarmak amacıyla açılan tünellerdir.

d. **Su İletim Tünelleri:** Bu tüneller, herhangi bir kaynaktan alınan suyun büyük şehirlere ulaştırılması için inşa edilmektedir. Hidroelektrik santrallerindeki cebri borular ve derivasyon tünelleri bu sınıfa girmektedir. Bu tip tünellerde sular basınçlı ya da basınçsız olarak iletilmektedir. Bu nedenle bu tür tünel kaplamalarının, etkiyen diğer yüklere ilaveten, iç basınçları da karşılaması gerekmektedir.

e. **Kanalizasyon ve Kamu Hizmet Tünelleri:** Kanalizasyon tünelleri su iletim tünellerine benzemekle birlikte bunlarda genellikle cazibeli akış söz konusudur. Kaplamaların tasarımı buna göre yapılmakta, ancak dayanıklılıkları için kanalizasyon sularının tahrip edici etkilerine karşı gereken önlemlerin alınması gerekmektedir. Elektrik, gaz, telefon ve diğer iletim borularını barındıran, herhangi bir arıza çıkması durumunda arızaya ulaşmayı kolaylaştırmak için inşa edilen tüneller, hizmet tünelleri adıyla anılmaktadır.

f. **Stokaj Tünelleri:** Yer altı yapıları çeşitli malzemelerin, atıkların, radyoaktif maddelerin stok edilmesi için de kullanılmaktadır. Burada en önemli konu stok maddesinin özeliklerine göre gerekli önlemlerin alınmasıdır.

g. **Korunma ve Savunma Amaçlı Tüneller:** Savaş tehlikesine karşı sivil halkı korumak için yapılan sığınaklar olarak kullanılmakla birlikte bu tip tünellerden önemli askeri üslerin korunması için de yararlanılır.

h. **Özel tüneller:** Yer altı fabrikaları, istasyonları, santralleri gibi yapılar şeklinde inşa edilen tüneller, özel tünellerdir.

Yapım Şekline Göre Tüneller

Yapım şekline göre tüneller; kayaç zeminlerde açılan, yumuşak zeminlerde açılan ve su altında yapılan tüneller olarak sınıflandırılır.

Kaya zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir özelikte olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşılmamaktadır. Yumuşak zeminlerde inşa edilecek olan tünellerde koşullar, kayaç zeminlere göre çok daha zordur. Bu nedenle bu tür zeminlerde iyileştirme çalışmaları yapılır. Bu tür yumuşak zeminlerde tünel kazısı, iş sağlı ve güvenliği kuralları doğrultusunda dikkatli yapılması gerekir.

Bu tür zeminlerde yapılacak tünellerin inşasında kalkan, boru sürme, şemsiyeleme ve aç-kapa gibi yöntemler kullanılır. Diğer taraftan yumuşak zeminlerde inşa edilecek tünel en kesit şekillerinin olabildiğince füniküler forma yakın seçilmesi, kaplamalara gelecek çekme gerilmelerinin asgari düzeye inmesini sağlar. Su altı tünelleri ise şantiyede üretilen tünel elemanlarının suya batırılıp tabana oturtulduktan sonra üzerleri örtülmek suretiyle ya da suda tabana oturtulmadan yüzer şekilde inşa edilir.

a. **Kayaç Zeminlerde Açılan Tüneller:** Kaya zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir özellikte olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde, yukarıda da belirtilmeye çalışıldığı gibi genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşılmamaktadır. Kayaç zeminlerde tünel inşası, kazının şekline göre delme patlatma ya da özel delgi aygıtlarıyla inşa olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

a.1. Delme-Patlatmayla Açılan Tüneller: Delme-patlatmayla tünel inşası yüz yılı aşkın süredir önemli bir değişiklik yapılmadan hemen her türlü kayaç koşullarında kullanılmaktadır. Bu yöntemle tünel inşasında aşağıdaki sıralama izlenmektedir.

1. Kararlaştırılmış bir plana göre önceden aynada patlayıcıların yerleştirileceği lağım delikleri açılır. Eğer jumbo adlı delgi aygıtı, lağım deliklerinin açımında kullanılacaksa aynaya yaklaştırılır ve kazı için hazırlanır.
2. Açılan deliklere daha önceden hesaplanmış miktarda patlayıcılar yerleştirilir.
3. Deliklerde bulunan patlayıcılar ateşlenir ve patlatmadan meydana gelen gazların giderilmesi için havalandırma yapılır.
4. Düşme ihtimali olan kayaç parçaları düşürülür, gerekli durumlarda yeni açılan kısma iksa yapıldıktan sonra çıkan kazı malzemesi taşınır. Burada emniyetli ve verimli ilerlemenin sağlanması için patlayıcı maddenin cinsinin ve miktarının, lağım deliklerinin düzen ve derinliklerinin önemli olduğu belirtilmelidir. Diğer taraftan ilk malzeme ve teçhizatın ekonomikliği, her türlü kayaç koşullarında kullanılabilirliği gibi üstünlükleri yanında ilerlemenin yavaş olması, aşırı sökülmenin önüne geçilememesi, dolayısıyla da tünel en kesitinin aynen açılmasının mümkün olmaması, çevredeki kayaçları yumuşatması gibi sakıncaların bulunduğunun belirtilmesi gereklidir.

a.2. Özel Delgi Aygıtlarıyla Açılan Tüneller: Özel delgi aygıtları sayesinde kazı hızı geleneksel yöntemlere göre artmıştır. Tünel açılması, tam kesitte ve yarım kesitte tünel açma olmak üzere iki şekilde olur. Bu aygıtlardan en önemlisi tam kesitte tünel açma aygıtıdır. Aygıt ön yüzü, çeşitli cins ve sayıda kesiciler yerleştirilmiş dönen bir kafa ile içinde gerekli parçaların ve kumanda bölümünün bulunduğu silindirik bir gövdeden oluşur. Tam kesitte tünel açma aygıtı 2-12 m arasındaki çaplarda kazı yapabilmekte ve uzunlukları 12-25 m arasında değişmektedir. Bu aygıt kuyruk, gövde ve yüz kısmı olmak üzere başlıca üç esas bölümden oluşur. Kuyruk bölümü; kaplama, otomatik taşıyıcı band için gerekli kaldırma kollarından oluşur. Gövde bölümü; operatör kabini, hidrolik ve elektrik sistemleri, motorları, jeneratörleri, çalışma platformu gibi ünitelerinden oluşur. Yüz kısmında; aygıtın dönen, kesici elemanları ve gerekli durumlarda ise kalkan bulunur. Dönen kafanın yüzünde bulunan kesiciler zemin türüne göre seçilir.

Yumuşak zeminlerde kesici uçlar ve dişler, kayaç zeminlerde disk şeklinde keskiler kullanılır. Aygıt, dönen kafadaki keskiler sayesinde kayacı öğütür ve kazdığı malzemeyi içine alarak bunu sahip olduğu dönen bantlar sayesinde arkaya doğru iletir. Gerekli durumlarda aygıtın dışında bulunan kalkan sistemi kayaç düşmesine karşı aygıtı korur ve iksa sisteminin yapılması sırasında gerekli güvenliği sağlar. Çatlak ve kırıklı kayaçlarda kazı yapıldığı durumlarda iksa bu kalkanın hemen arkasına kadar yaklaştırılır. Diğer bir tünel açma aygıtı da kollu tünel açma aygıtıdır. Bu aygıt, kayacı bir kol üzerinde dönen küçük bir kafaya yerleştirilmiş kesiciler yardımıyla yontar. Tam kesitte tünel açma aygıtına göre daha az enerjiye ihtiyaç duyar ve maliyetleri de daha düşük olur. Tam kesitte tünel açma aygıtından farklı olarak bu aygıt dairesel olmayan kesitlerde de kullanılır.

b. Yumuşak Zeminlerde Açılan Tüneller: Alt geçitler, gömme depolar, yer altı otoparkları, içme suyu ve kanalizasyon tünelleri gibi yer altı yapıları genellikle sığ derinliklerde ve yumuşak zeminlerde açılmaktadır. Bu zeminler, düşük taşıma güçlü ve genellikle suya doygun zeminlerdir. Bu nedenle bu tür zeminlerde tünel açımı için özel tekniklerin geliştirilmesi ve genellikle zeminlerin iyileştirilmesi gerekir. Bazı durumlarda ise karşılaşılan zemin özelikleri ve yer altı suyunun durumu tünel aynasında ve çevresinde stabiliteyi etkiler. Bu nedenle zemin iyileştirme yöntemleriyle tünel çevresi stabilitesinin sağlanması ve yer altı su seviyesinin düşürülmesi gerekir. Stabiliteyi sağlamak ve suyu önlemek için enjeksiyon, zemini dondurma, denetimli drenajla zemin suyu seviyesinin düşürülmesi ve basınçlı hava yardımıyla suyun denetim altına alınması gibi işlemler yapılır.

Yumuşak zeminlerde kalkanla, boru sürmeyle ve şemsiyelemeyle tünel açma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

b.1. Kalkanla Açılan Tüneller: Kalkan esas olarak çelik bir silindir şeklindedir. Bu aygıt tünel boşluğunu çevreleyerek zemine destek sağlamak suretiyle kaplamanın yapımına iksa gerektirmeden izin vermektedir. Kalkan kesici uç, gövde ve kuyruk kısımlarından oluşur. Bu aygıt, kesici ucu sayesinde zeminde ilerlemektedir. Gövde kısmında gerekli itici kriko ve pompalar, kuyruk kısmında ise kaplama yapımını kolaylaştıracak elemanlar bulunur.

Tünel kazısında tam kesit hâlinde ilerlemeyi sağlayan bu aygıt, yapılmış olan son kaplama kenarından destek alarak ileri doğru solucan hareketine benzer bir hareketle itilmekte ve keskin ucu sayesinde zemine gömülerek ayna kazısının yapılmasını sağlamaktadır. Tasarlanmış çeşitli otomatik kalkanlar mevcut olmakla birlikte bunlardan dönen tamburlu otomatik kalkanlar yumuşak zeminlerde yaygın olarak kullanılır. Bentonitli otomatik kalkan ise daha çok suya doygun ayrık taneli zeminlerde kullanılır. Bu aygıtın özeliği ön yüzünden basınçlı bentonit eriyiğini püskürterek bu eriyiği aynadaki zemine nüfuz ettirip bu suretle stabiliteyi sağlamasıdır. Basınçlı hava kullanan kalkanlarda stabilite, basınçlı hava ile sağlanır.

b.2. Boru Sürmeyle Açılan Tüneller: Bu yöntemde dışarıda imal edilmiş borular, krikolar yardımıyla arka arkaya zemine sürülür. Bu yöntem kanalizasyon ve su şebekelerinde yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemde öncelikle boru döşenecek yerde, giriş ve çıkışa iki adet kuyu açılır. Giriş kuyusuna yan duvarlardan destek alacak şekilde yerleştirilen, kriko yardımıyla kuyuya indirilen borular zemine itilir. Kazı işi itme işleminden önce ya da sonra çeşitli araçlarla yapılır.

b.3. Kazıp-Kapamayla Açılan Tüneller: Bu yöntem genellikle örtü kalınlığı 10 m'den az olan kanalizasyon, içme suyu ve alt geçit tünellerinin inşasında kullanılır. Bu yöntemde zemin, büyük bir hendek şeklinde kazılır, tünelin kaplaması yapıldıktan sonra üzeri tekrar örtülür. Bu yöntem, ekonomik ve kolay uygulanılabilir olmasına karşılık, yüzeydeki trafiği etkileyebilmektedir. Bu nedenle yapım aşamasında trafiği en az etkileyecek önlemlerin alınması gereklidir.

b.4. Şemsiyelemeyle (Boru Kemer Yöntemiyle) Açılan Tüneller: Bu yöntemde tünel aynasının stabilitesini sağlamak amacıyla zemin çivisi adıyla anılan destekleme elemanları, tünel aynasında önceden belirlenen çapta ve uzunlukta delikler delinerek zemine uygulanmaktadır. Delinen deliklere uygun kalınlıkta ve uzunlukta çelik donatı ya da yeterli çekme dayanımına sahip fiberglaslar yerleştirilmekte ve etrafı uygun kıvamda çimento enjeksiyonuyla doldurulmaktadır. Bu sayede oluşturulan ön kemer altından kazı yapılarak tünel inşası gerçekleştirilmektedir.

c. **Su Altında Yapılan Tüneller:** Tüp tünel ya da batırılmış tünel adıyla anılan bu tüneller bir su yolu engelini aşmak için köprülerden geçen geleneksel tünellere bir seçenek olmakla birlikte karakteristik olarak kanalların ve kanal tarzındaki doğal engelleri alttan geçmede en kısa yol olarak gözükmektedir. Batırılmış tünellerin yeni bir yapım tekniği olmayıp kullanımları yaklaşık 100 yıldan beri devam etmektedir. Dünya çapında tanınan 150'nin üstünde batırılmış tünel mevcut olup bunların yaklaşık 100 adedi karayolu ve demiryolu geçişi için tasarlanmıştır. Geri kalanlar ise su temini ve elektrik hattı tünelleri olarak kullanılmaktadır. Deniz altı geçişinde kullanılan diğer bir tip de daldırılmış yüzen tünellerdir.

Suyun kaldırma kuvvetinden faydalanılarak yapı uygun bir derinlikte desteklenmektedir. Tüpe benzer yapı, çelik ya da betonarme olarak üretilmekte ve üretilen parçalar kolonlar, halatlar ya da dubalar sayesinde belirli seviyede yüzer hâlde tutulmaktadır. Yıllardır uygulanan batırılmış tünellerin kullanımı, elde edilecek tecrübeler ve tünel teknolojilerindeki gelişmeler doğrultusunda gelecekte de artarak devam edeceği öngörülmektedir.

Yeni bir sistem olan daldırılmış yüzen tünellerin kullanımı çok yaygın olmamasına rağmen gerekli güzergâh eğimlerinin elde edilemediği durumlarda, batırılmış tünellerin uygulanamadığı özellikle aşırı derin ve dar yerlerde kullanımları yaygınlaşmaktadır (Resim 5.9).

Resim 5.9: Avrasya tüneli yapım çalışmaları

SIRA SİZDE

Tünelleri işlevlerine göre sınıflandırarak verilen boşluğa yazınız.

5.2 UYGULAMA

9 (9) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TÜNEL YAPIM TEKNİKLERİ

Bu çalışmanın amacı, tünel yapım tekniklerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Tünel yapım teknikleri ve tünel açma yöntemleri inceleme uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetimi ve rehberliğinde **uygulama ödevi** şeklinde yerine getiriniz.

Verilenler

2023 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Zigana Tüneli.

İstenenler

2023 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Zigana Tüneli projelendirmesi ve inşası kapsamında yapılan çalışmaları tespit ediniz. Tünel projelendirmesi ve inşası kapsamında yürütülen çalışmalara ait raporu hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda resmi kurum, kuruluşların ve üniversitelerin kaynaklarından yararlanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızda rapor hazırlama kurallarına dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Tünel plan, kesit ve detayları, tünel projesi hazırlık çalışmaları, tünel güzergâhı jeolojik-jeoteknik yapısı, geoteknik modelleme çalışmaları, kullanılan tünel yapım teknikleri, kazı-destek çalışmaları ve yöntemleri, tünel açma yöntemleri ve kullanılan makineler tespit edilir.
2. Zigana Tüneli plan, kesit ve detay proje çizim ve modellemeleri incelenir.
3. Zigana Tüneli inşa çalışmalarına başlamak için yapılan hazırlık çalışmaları incelenir.
4. Zigana Tüneli güzergâhı jeolojik-jeoteknik yapısına yönelik yapılan çalışmalar incelenir.
5. Zigana Tüneli geoteknik modellemelere yönelik çalışmalar incelenir.
6. Zigana Tüneli'nde kullanılan inşa teknikleri incelenir.
7. Zigana Tüneli'nde kullanılan kazı yöntemleri incelenir.
8. Zigana Tüneli kazı destek projelendirme ve yapım çalışmaları incelenir.
9. Zigana Tüneli'nde kullanılan tünel açma yöntemleri ve tünel açmada kullanılan makineler incelenir.
10. Zigana Tüneli inşa çalışmalarında karşılaşılan sorunlar ve çözümler incelenir.
11. Zigana Tüneli proje, inşa hazırlık ve tünel inşa çalışmalarını içeren rapor hazırlanır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Zigana Tüneli projelendirme ve inşa çalışmaları kapsamında yapılanları tespit ettiniz mi?		
2	Zigana Tüneli plan, kesit ve detaylarına ait proje çizim ve modellemelerin incelemelerini yaptınız mı?		
3	Zigana Tüneli inşa çalışmalarına başlamak için yapılan hazırlık çalışmalarını incelediniz mi?		
4	Zigana Tüneli güzergâhı jeolojik-jeoteknik yapısına yönelik yapılan çalışmaları incelediniz mi?		
5	Zigana Tüneli geoteknik modellemelere yönelik çalışmaları incelediniz mi?		
6	Zigana Tüneli'nde kullanılan inşa tekniklerini incelediniz mi?		
7	Zigana Tüneli'nde kullanılan kazı yöntemlerini incelediniz mi?		
8	Zigana Tüneli kazı destek projelendirme ve yapım çalışmalarını incelediniz mi?		
9	Zigana Tüneli'nde kullanılan tünel açma yöntemlerini ve tünel açmada kullanılan makineleri incelediniz mi?		
10	Zigana Tüneli inşa çalışmalarında karşılaşılan sorunları ve çözümlerini incelediniz mi?		
11	Zigana Tüneli proje, inşa hazırlık ve tünel inşa çalışmalarını içeren raporu hazırladınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

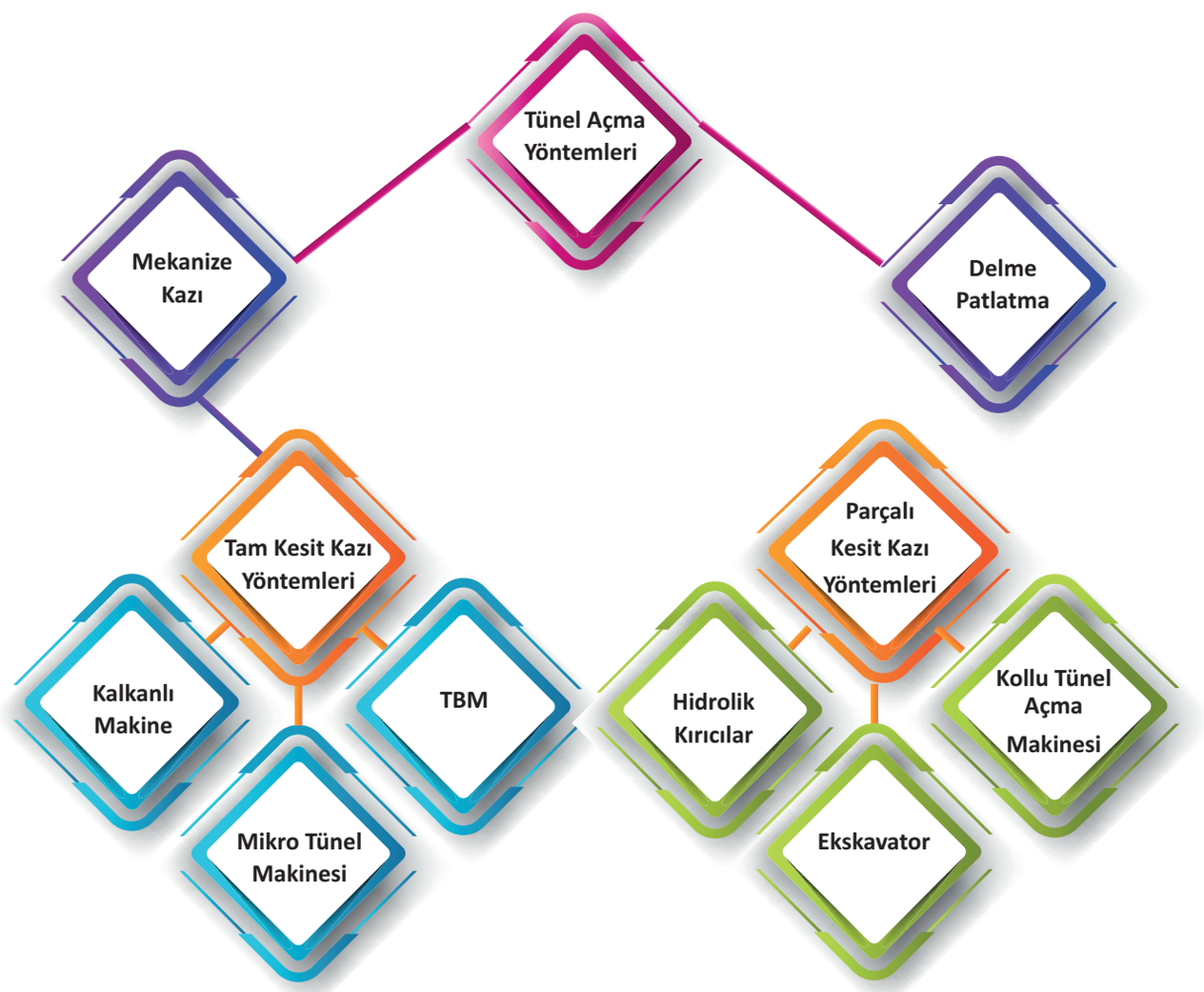
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Tünellerin inşasında kullanılan makineleri araştırınız ve bunları sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

5.3. TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ VE YÖNTEMLERİ

Kömür madenciliğinin dışında inşaat sektöründeki ilk modern gelişme, 1884 yılında Albay Beaumont'un Manş Denizi'nin altından geçecek 2,14 m çapındaki bir tünel için tasarladığı tam cepheli bir tünel delme makinesi ile başlamıştır. 1955 yılında ilk serbest dönen keskili tünel delme makineleri ABD'deki Oahe Barajı tünellerinde başarı ile kullanılmıştır. Tünel açma yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulanmasında kullanılan makineler Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20: Tünel açma yöntemleri ve kullanılan makineler

5.3.1. Tünel Açma Makineleri

Mekanize tünel açma makineleri, yarım kesit (parçalı) ve tam kesit tünel açma makineleri olmak üzere iki grupta sınıflandırılır.

5.3.1.1. Yarım Kesit (Parçalı) Tünel Açma Makineleri

Bu makineler daha çok yumuşak ve orta sert özellikli zeminlerde ve özellikle de madencilik sektöründe kullanılır. Kollu makinelerin tam kesit tünel açma makinelerinden farkı, dairesel olmayan kesitlerde kullanılmasıdır. Aynayı parçalı bir şekilde kazar ve manevra kabiliyetleri yüksek olduğundan istenildiği gibi yönlendirilebilir. Daha az enerjiye ihtiyaç duyar, farklı kazı koşullarında kullanılabilir ve birçok parçadan oluşur. Bu özelliği ile hem istenen yere nakliyesi kolay olur hem de değişen formasyon şatlarına uyum sağlar.

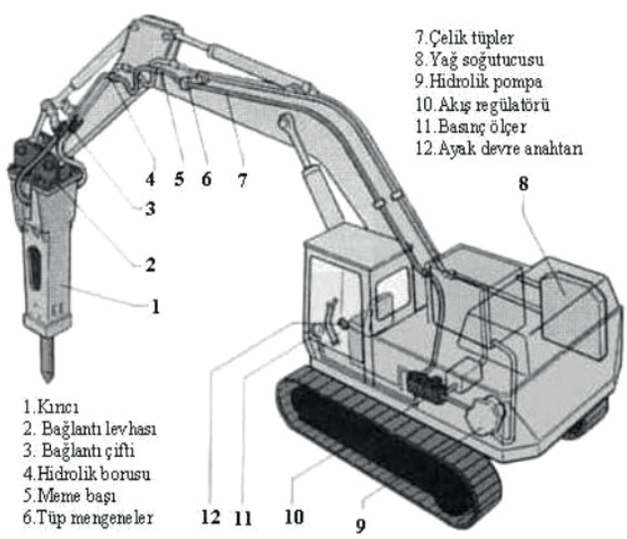
a. Burgulu Kazıcılar: Kazılacak yüzey boyunca değişik yönlerde hareket ederek malzemenin kazılmasını sağlar. Yumuşak formasyonlarda kullanılan kazıcılardır (Resim 5.10).

Resim 5.10: Dikey tünel kazıcısı

b. Kollu Kazıcılar: Kazılacak yüzey boyunca değişik yönlerde hareket ederek malzemenin kazılmasını sağlar. Tünel kazıcı ekskavatörler ve hidrolik kırıcılar kollu kazıcı makinelerdir. Yer üstü ve yer altı kazılarında, kıyı liman işletmelerinde deniz altı kıyı düzenleme işlerinde hidrolik kırıcılar kullanılır. Madencilik ve tünel sektöründe artan bir ivmeyle kullanılmaya başlanmıştır.

Örneğin İstanbul'da çok kırıklı çatlaklı ve RQD değerleri 0 ile 100 arasında değişen formasyonlarda yaklaşık 15 km metro tüneli hidrolik kırıcılarla sürülmüştür.

Ekskavatör kazıcı kovasının çıkarılarak kırıcı takılan çeşitleri de mevcuttur (Şekil 5.21, Resim 5.11).



Şekil 5.21: Hidrolik kırıcı ve kısımları

Resim 5.11: Tünel uygulama kazıcı ekskavatör

Tam Cepheli TBM: Şehir içi raylı sistem, hidroelektrik santral projeleri olmak üzere uzun güzergâh boyunca sürekli ve yüksek performans gerektiren tünel açma işlerinde kullanılır. Tünelin çapına, zeminin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine göre tasarlanan TBM'ler projeye özel olarak üretilir. Derivasyon ve enerji tünelleri, genellikle baraj gövdesinin yanal olarak dayandığı sağlam kayalar içinde açılır. Dolayısıyla tünel açma işleminde kayanın, kazı sırasında oluşan ikincil gerilmelerden en az derecede etkilenmesi ve bu sayede en az tahkimat ile donatılması istenir. TBM ile tünel açma yönteminin kazı performansı ve eş zamanlı tahkimat desteği nedeniyle klasik delme-patlatma yöntemi ve küçük çaplı mekanik kazıcıların kullanıldığı konvansiyonel tünel açma yöntemlerine göre daha ekonomik ve verimlidir. Günümüzde tünel projelerine uygun TBM seçimi, toplam proje maliyetleri üzerinde doğrudan belirleyici etkendir.

a. Kuru ve Az Nemli Zeminler İçin TBM: Bu tip zeminlerde kullanılacak makinelerde kafa kısmı, kesicilerin adedi ve konumu zeminin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Genellikle kesme ve itme gücünde bir problem yaşanmaz.

b. Balçık Zeminler İçin TBM: Bu tip zeminlerde kullanılacak makinelerde, kafa kısmının zemin içerisinde sıkışmasını önlemek ve üstteki malzemenin akışını engellemek için gelen suyun drenajını sağlayan, basıncı dengeleyen sistemler yer alır. Kesici sayısı oldukça azdır.

c. Kalkansız TBM: Bu makinelerde sadece öndeki kesici kafa kısmının üzerinde bir koruyucu bölüm vardır. Kafa kısmının arkasında yer alan, yanlara yaslanıp ilerlemeyi sağlayan ve gripper adı verilen ekipmanın tipine göre tek veya çift tutuculu olarak adlandırılır. Daha çok sağlam ve kendini tutma süresi yüksek olan zeminlerde kullanılır ve tünel kazısı sonrası iç kaplama yapılır.

d. Kalkanlı (Shield) TBM: Bu makinelerde öndeki kesici kafa kısmının üzerinde ve arkasındaki kısımda koruyucu bölüm vardır. Diğer bölümleri ise açıktır. Kafa kısmının arkasında yer alan bu koruyucu bölümün tipine göre tek kalkanlı veya çift kalkanlı olarak adlandırılır. Daha çok sağlam ve kendini tutma süresi az olan zayıf zeminlerde kullanılır ve tünel kazısına paralel olarak iç kaplama yapılır.

e. Zemin Basınç Dengeleyicili (Earth Pressure Balance: EPB) TBM: Zayıf zeminlerde kullanılan zemin basınç dengeleyici tipte olan makineler kalkanlı makineler grubunda yer alır. Bu makinelerin ön bölümünde yer alan sistem, kimyasal madde ya da bentonit türü malzemeler kullanılarak piston sistemiyle zeminden gelen basıncı makinenin uygulayacağı basınçla dengeler. Arazi basınçlarını dengeleme esasına göre çalışan makinelerdir. Zemin basınç dengeleyici TBM'ler üç kısımdan oluşur: baş (0-10 m), gövde (10-20 m), kuyruk (20-110 m).

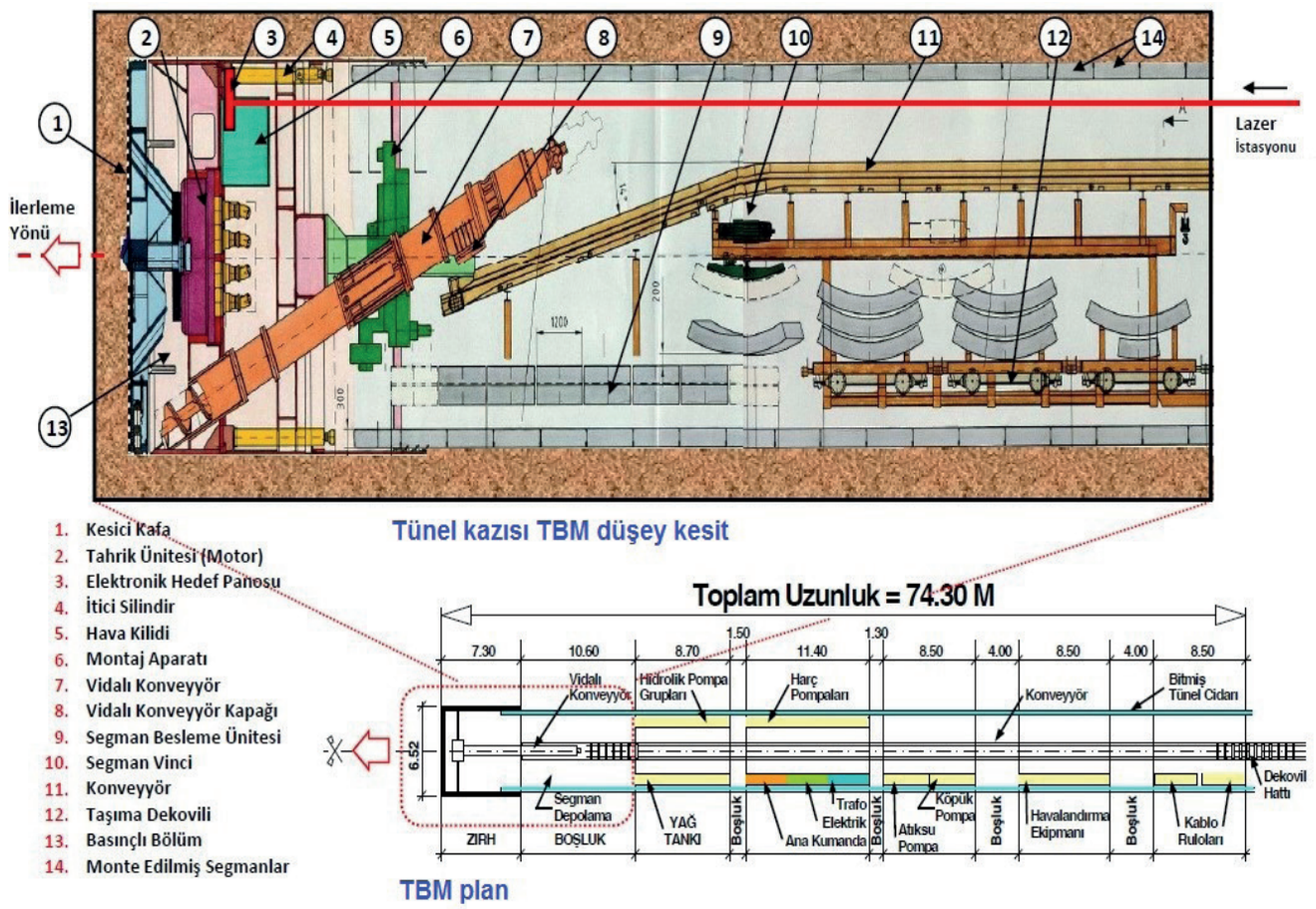
Baş; kesici kafa ve keskilerin bulunduğu bölümdür.

Gövde; helezonik konveyörün, pistonların, motorların, enjeksiyon sisteminin, köpük sistem bileşenlerinin yer aldığı ve betonarme segmentlerin yerleştirildiği bölümdür.

Kuyruk; kuyruk bölgesi toprak basıncı dengeleme makinesinin lojistik, elektronik ve havalandırma sistemlerinin bulunduğu bölüm olup makine kalkanının gerisinde kalan betonarme tünelin üzerinde yer alır. Tüm kontrollerin izlendiği operatör kabini de bu bölümdedir. Tünel ayna kazısı ilerisindeki farklı zemin koşulları hakkında bilgi edinmeyi sağlayacak tünel içi sismik çalışmalar yapılır.

Zemin basıncı dengeleyicili makineye monte edilen sismik alıcılarla tünelin devamında ve çevresinde yayılacak cisim ve yüzey dalgalarının oluşturularak ortam içinde yansıyan dalgalar kayıt edilir ve depolama işlemi için bilgisayara aktarılır. Bu nedenle ölçüm imkânı bulunmayan projeler, tünel hızını etkilemeden tünel kazı çalışmalarıyla beraber yürütülür. Kayaçlardaki bozulma zonlarını, kalınlık ile derinlikleri, kırıklı ve boşluklu kısımları, ani su baskınlarını, ilerleme yönündeki genişleme ve daralmaları, toprak/kaya geçişlerini, sökülebilirlik derecelerini, kaya kalitesindeki değişimleri ve farklı özelliklere sahip zonların (fay zonu) yerlerini tespit etmek mümkündür.

Şekil 5.22'de tünel kazısı, TBM tünel açma makinesi kesit ve planı krokisi verilmiştir.



Şekil 5.22: TBM tünel açma makinesi, düşey kesit ve plan krokisi

5.3.2. Tünel Kazı Yöntemleri

Tüneller genellikle aşağıda verilen üç kazı yöntemi kullanılarak açılır.

1. **Aç-Kapa Yöntemi**
2. **Delme-Patlatma Yöntemi**
3. **Makine İle Tünel Açma Yöntemi**

1. Aç-Kapa Yöntemi: Genellikle sığ tünel inşasında (metro istasyonları, demiryolları vb.) kullanılmaktadır. Aç-kapa yönteminin uygulanacağı alanda öncelikle yer altında bütün altyapılar (su, elektrik vb.) inşaat alanından uzaklaştırılmalıdır. Yer altı suları varsa su seviyesi düşürülmeli veya su derin kuyulara drene edilmelidir. Bu yöntemde yer altı kazı boşluğunun yanları, betonarme kazık veya beton duvar perdesi (diyafram duvar vb.) ile desteklenir. İki diyafram duvarı birbirine paralel olarak yerleştirilir ve yandan etkileyen toprak basıncı dengelenmeye çalışılır. Duvarların arasındaki alan kazılarak tünel inşa edilir ve en son olarak tünelin kaplaması yapıldıktan sonra üzeri tekrar hafriyat malzemesi ile örtülür.

Genellikle metro tünelleri, güzergâh itibariyle ana yolların altından geçebildiği gibi yüzeye yakın kısımların altından da geçebilmektedir. Taşıt yolunun çığlardan korunması amacıyla yapılan çığ tünelleri, kanalizasyon tünelleri, içme suyu tünelleri ve yer altı geçitlerinin inşası ise açık havada yapılarak daha sonra üzerinin örtülmesi, basit ve ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemde önce kazı boşluğunun yanları, betonarme kazık veya beton duvar perdesi ile desteklendikten sonra yüzeyden hendek şeklinde kazılarak açılmaktadır.

Yer altı suları yüzeye yakınsa yer altı su seviyesi düşürülür veya su derin kuyulara drene edilir. Kenar ayakların örülmesinde hiçbir özellik yoktur. Tamamen açık havadaki duvar örme usullerine göre yapılır. Tavanın oluşturulmasında eğer yeryüzünden yeteri kadar derinlik varsa bir kemer oluşturulur. Bu kemer açık havada oluşturulduğundan fazla güçlükle karşılaşılmaz. Eğer yeryüzünden yeteri kadar derinlik yoksa betonarme bir tavan oluşturulabilir.

Yerleşim alanları içerisinde yapılan kazı çalışmaları, gürültü ve trafiğin engellenmesi gibi sorunları nedeniyle pek tercih sebebi değildir. Trafiğin gidişatını engellememek için seyyar köprüler kullanılabilir.

Aç-kapa tünel açma yönteminin diğer yöntemlerden farkı tavanda tasman oluşmamasıdır. Bu nedenle çevredeki yapılara zarar vermeden geçilmesi mümkündür. Ayrıca diğer yöntemlerle yeteri kadar yapılamayan izolasyon işlemi bu yöntemle kolaylıkla yapılabilmektedir.

2. Delme-Patlatma Yöntemi: Sağlam kayalarda açılacak tünel inşa faaliyetlerinde delme-patlatma yöntemi uzun yıllardır kullanılmaktadır. Delme-patlatmadaki amaç, çalışılan tünel aynasındaki kaya kütlesini kontrollü bir şekilde parçalayarak yer altında ilerlemeyi sağlamaktır. Tünel patlatmalarında her ilerleme için delme, şarj, patlatma, havalandırma, tarama, tahkimat (bulon, süren, hasır, iksa), yükleme, taşıma ve yeni atım için hazırlık yapılarak kısa zamanlı-planlamalı bir döngü oluşturulur. İyi bir patlatma tasarımı tünel çevresi zarar görmeyecek şekilde olmalıdır. Bunun için patlatma yapılacak kayacın yapısal jeolojik/jeofizik özelliklerine uygun bir patlatma tasarımı yani delgi aygıtı, patlayıcı maddenin cinsi ve miktarı, delik dizaynı planlanmalıdır. Delme teknikleri pnömatik delmeden, elektrikli-hidrolik jumbolara doğru çok yüksek kapasitelerde delik açacak şekilde geliştirilmiştir.

Patlayıcılarda Emulite ve Dynamex M gibi modern patlayıcılar kullanılarak minimum zehirli gazlarla iyi bir oksijen balansı sağlanmıştır. NONEL gibi elektriksiz ateşleme sistemleri şarj zamanını kısaltmıştır. Çalışma sırasında elektrik tehlikesine karşı duyarsız olduğundan patlatma faaliyetlerinde daha fazla emniyetlidir. Tünel açılacak yerdeki kayaçların hızlı ve ekonomik bir şekilde çıkarılması tünel kazılarının esas amaçlarından biridir. Bu işlem yapılırken tünel duvarlarındaki kayaçlara zarar vermemeye dikkat edilmelidir. İyi bir patlatma tasarımı ve kontrolü, pürüzlülük ve zarar görmeyecek tünel çeperi durumuna göre yapılır.

Modern mekanize tünel açımında, delme patlatma yöntemi ile ilk aşamada kayaç delinir. Kuyular ve delikler aynı zamanda kaya bulonları içinde ayrıca açılabilir. Açılan deliklere önceden belirlenmiş cins ve miktarda patlayıcı madde doldurulur. Patlatma işlemi, kurulan ateşleme mekanizması ile patlatma yapılarak tamamlanır. Duman ve tozun dağılmasından sonra tavan temizlenerek aynaya ulaşılır. Pasa alınarak püskürtme beton aynaya kadar yapılır.

Çapı 8 m'den küçük olan ve iyi kalite kayaçlarda açılacak olan tüneller, delme ve patlatma yöntemiyle tek aşamada, tam kesit olarak açılabilir. Kaya koşullarının bozukluğu veya aynanın daha geniş olacağı tünellerde çekirdek yöntem uygulanır. Bu yöntemde öncelikle üst kesit kaldırılarak kalot ve daha sonra iksası yapılarak stros oluşturulur. Bu durum gerek kazıyı gerekse iksa uygulanmasını kolaylaştırır. Kötü tünel zeminlerinde önce küçük pilot tüneller açılır. Tipik olarak bir tünel 1-3 patlatma safhası ile açılır. Her safhadaki ilerleme uzunluğu, kaya kitlesi ve çapına bağlı olarak sınırlıdır. Tünelde ilerleme ayna genişliğinin %50-%90'ı kadardır. Genel tünel problemleri, rutin koşullardan kaynaklanmaz. Özellikle bazı kısımlarda lokal olarak bulunan aşırı kötü zayıf kayaçlarda sorun yaratır.

Delme ve patlatma yöntemi ile tünel açmanın avantajları aşağıda verilmiştir.

- Uzun yıllardır uygulanıyor olmasının sağladığı tecrübe
- Gerekli ilk malzemenin ve teçhizatının ucuzluğu
- Her türlü kaya şartlarında uygulanabilmesi

Bu üstünlük kaya şartlarının tünel güzergâhı boyunca değişmediği durumlarda önemli olmayabilir. Fakat kaya şartlarının tünel güzergâhı boyunca değiştiği durumlarda ve çok yüksek mukavemetli kayaçlarda uygulanabilecek tek yöntem olabilir.

Delme - patlatma yöntemi ile tünel açmanın dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Uzun zaman alır ve ilerleme yavaş olur.
- Aşırı sökülmenin önüne geçilemediğinden tünel çapını ve şeklini korumak hemen hemen imkânsızdır.
- Hassasiyet gösterilirse de patlamanın sebep olduğu gevşemelerden kaçınılmaz.

3. Makine İle Kazı Yöntemi: Tünel kazı makineleri ile yapılan tünel kazısı, patlamaya oranla daha az yıkıcı ve bozucu olduğundan daha duyarlı tüneller içindir.

Tam Kesit Kazı Makineleri İle Tünel Açma: Farklı tünel şartlarında ekonomik kazı yapabilen makinelerdir. Tam kesit kazılarında kullanılan tünel kazma makinesinin (TBM) tünel çapıyla orantılı olarak satın alınması, çalışacak sahaya getirilmesi ve kurulması pahalıdır.

Tünel uzunluğu 1 km'den fazlaysa TBM'nin kullanımı ekonomik açıdan olumlu sonuç vermektedir. Tünel zemin koşulları sürekli değişim göstermesi durumunda delme-patlatma yöntemi makine ile kazı yöntemine göre daha ekonomik bir yöntemdir. Kayacın tahmin edilenden sert veya yumuşak olması ya da beklenenden yüksek basınç seviyeleri ile karşılandığında çalışma gecikebilir ve makine zarar görebilir. Tam kesit tünel açma makinelerinin tasarımı; tünel iç kaplama cinsi, zemin ve proje koşullarına göre belirlenmekle birlikte çalıştıkları formasyonlara göre sınıflandırılır. Her türlü zemin ortamına uyum sağlar ve hem sert kaya hem de yumuşak zemin ortamlarında kullanılır.

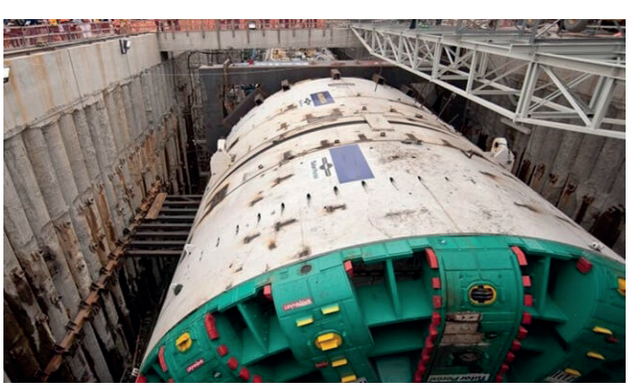
Kayada tam kesit tünel açma makineleri ile tünel açılmasında; bir tam kesit tünel açma makinesi, ön yüzeyinin çeşitli cins ve sayıda kesicilerin yerleştirilmiş olan dönen bir kafa ile içinde gerekli cihazların ve kumanda bölümünün bulunduğu silindirik bir gövdeden oluşur. Dönen kafa 4-10 dev/dk'lık bir hızla dönmektedir ve dönme hızı çapa bağlıdır. Güç, elektrik motoru veya hidrolik disk motorundan sağlanır.

Tam kesit kazı makinelerinin çoğu dairesel tünel açar (Resim 5.12). Düşük kapasiteli bazı makinelerle ise tünel çapına göre değişik şekillerde tünel açılabilmektedir.

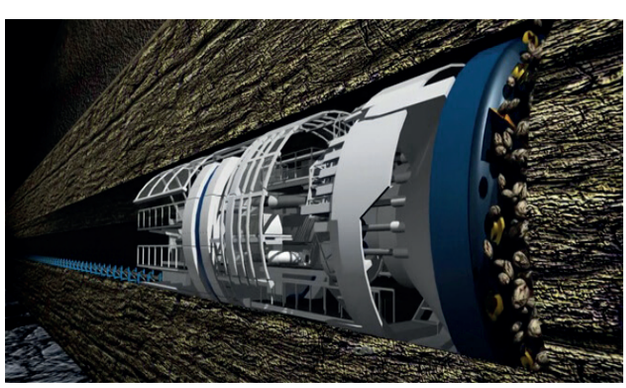
TBM tünel açma makineleri yatırım maliyeti yüksek olsa da istenilmeyen yer altı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması nedeniyle günümüzde en çok tercih edilen kazı makineleridir. Sert, orta sert, yumuşak ve akıcı formasyonlar için kullanılabilen kafa dizaynları ve keski tipleri, makineyi dengeleme sistemleri, tahkimat sistemleri, çıkarılan pasayı taşıma sistemleri çeşitli yönlerden farklılıklar gösterir. Yumuşak zeminlerde tam kesit tünel açma makineleri ile tünel açılmasında, kazı pasasının atılması ve tünel kaplamasının yapılması ile ilgili ekipmanlar duruma göre farklılıklar gösterir.

Genel olarak yumuşak zeminler için yapılmış TBM'lerin ön yüzeyi kesicilerin yerleştirildiği bir silindirin aynaya döndürülerek itilmesi ile tam kesit hâlinde kazı yapar. Yumuşak zeminlerde kullanılan tam kesit tünel açma makinelerinden en yaygın olarak kullanılanı dönen tekerlekli kalkan makinesidir. Bu makinelerde, kalkanın ön yüzeyinde kesiciler yerleştirilmiş dönen bir tekerlek bulunur. Tekerlek aynaya itildiğinde dönerken aynı zamanda ezerek, keserek veya kazarak tüneli açar. Aynada kesilen ve kalkanın tabanına dökülen pasa, konveyör veya benzeri ekipmanlarla geriye sevk edilir.

Kesici kolların arası makineye göre açık veya kapalı olabilmektedir. Yumuşak kil ve akıcı kum gibi malzemelerde, kollar arası bölümler hâlinde kapalı olup pasanın içeri alınabilmesi için bir kısmı açılabilir. Bu makinelerin saatteki verimi en fazla 6-7 m'ye çıkabilir. Çapları 1-8 m arasında değişmektedir (Şekil 5.23).



Resim 5.12: Tam kesit tünel açma makinesi (TBM) görünümü



Şekil 5.23: Marmaray projesinde kullanılan tam kesit tünel açma makinesi (TBM) modellemesi

Yarım Kesit (Kollu) Kazı Makineleri İle Tünel Açma: Yarım kesit tünel açma makineleri aynanın bir kısmını kazar. Manevra kabiliyetleri daha fazladır. Belirli lokasyonlarda sınırlı sürülme uzaklıklarında kolayca tünel içinde sokulabilir ve patlama için emniyet arz edecek bir mesafeye çekilebilir. Bu makineler ile dayanımları düşük ve aşındırma özelliği az kayaçlarda kazı yapılabilir. Masif ve yüksek dayanımlı kayaç formasyonlarında kullanılmaz. Bu makinelere kollu tünel açma makineleri de denilmektedir. Kayalarda yarım kesit tünel açma makineleri ile tünel açılırken genel olarak kaya zeminlerde kullanılan kollu tünel açma makineleri yumuşak zeminlerde de kullanılır.

Yarım kesit kazı makineleri, iri bloklar içeren yumuşak malzemede, bir iksa destek sistemi gerektirmeyecek kadar duyarlı olan malzemeye ulaşıncaya kadar hemen her türlü zemin şartlarında kullanılır. Yumuşak zemin şartlarında, ilerleme hızı esas olarak daha yavaş olduğundan tam kesit açma makineleri kadar ekonomik olmayabilir. Genellikle yumuşak zeminde çalışırken kollu tünel açma makineleri bir kalkanın içine yerleştirilmiş olarak kullanılır. Zemin şartlarına göre değişik tipte yarım kesit kazıcılar da geliştirilmiştir.

5.3.3. Tünel Açmada Kullanılan Yöntemler

Tünel açmada; Belçika, İngiliz ve Alman tünel açma yöntemlerinde birer taban galerisi açılır ve tünel buradan genişletilerek oluşturulur. Belçika Tünel Açma Yöntemi'nde ek olarak tavanda da bir galeri açılarak tünel genişletilir. Tünel açmada günümüzde en çok Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi kullanılır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM): 1950'lerden sonra yer altı kazılarının ve tünel açımının artması güvenli ve ucuz tünel açma yöntemlerinin de ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yer altında yapılan hidrolik santrallerin kazıları sırasında bölünmüş kazı yönteminin uygulanması Avusturya Yöntemi olarak adlandırılmıştır. Geniş kesitli olan bu kazılarda ilk olarak inverte yakın bir galeriyle kazıya başlanıp daha sonra yan ve üst galerilerle kazı aşamalı olarak üst yarıya doğru genişletilir. Geliştirilen bu metot Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi olarak adlandırılmıştır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin ilk gelişimi 1970'li yıllarda olmuştur. L.Von Rabcewicz bu yöntemi; ince ve geçici bir destekleme uygulayarak deformasyonlara izin vermek, tünel içine doğru gelişen kaya basıncını azaltmak ve yükleri kazı çevresindeki kayaya dağıtmak; böylelikle son desteklemeyi (kaplama) daha az yüklemek, daha sonra yapabilmek ve daha ince bir yapı oluşturmak olarak tanımlamıştır. Bu tanımlamaya göre deformasyonlar kazı sırasında ölçülür ve projedeki hesaplamalarla karşılaştırılır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, her türlü zemine ve kaya türüne uyum sağlayabilen ekonomik bir yöntemdir. Bu yöntemin temel felsefesi tünelin kazı sırasında; sürekli gözlenmesi, ölçüm yapılması, tünel geometrisini oluştururken kayanın kendi dayanımından ve gücünden mümkün olduğunca fazla yararlanılması, tünel içerisinde yapılan her türlü işlemin ve imalatın bir sistematiğe göre yürütülmesine dayanır. Yeni Avusturya Tünel Açma Yönetimi'nde kazı sonrası oluşan ikincil gerimler deformasyona neden olur ve oluşan deformasyonun bir kısmının kaya/zemin ortamına, bir kısmının ise destek elemanlarına taşıttırılması esasına dayanır.

Kazı aşamaları sırasıyla; üst yarı, alt yarı ve taban (invert) aşamalarından oluşur. Kazılarda genellikle kollu tip kazıcılar kullanılır. Kazı sonrası ilk destek oluşturulana kadar zeminin kendi kendini taşıyabilmesine ve bu süreçte bir miktar deformasyon yapabilmesine müsaade edilir. İlk destek elemanının yerleştirilme zamanı ise çok önemlidir. Bu durum kaya ortamlarında gerçekleştirilen kazıda doğal kemerlenme ile kaya kendi kendini daha uzun süre taşır. Açılan tünellerde zeminin durumuna göre kazı aşamaları belirlenir. Tünel üzerine gelen arazi yüklerini, zemini çevreleyen bir kemer oluşturacak şekilde taşıyabilecek tünel destek tasarımı oluşturulmalıdır.

NATM yönteminde;

- Tüneli çevreleyen kaya/zemin kütlesini esnek destek elemanlarıyla (püskürtme beton, kaya bulonu, hasır çelik, çelik iksa, Umbrella Arch (şemsiye kemer), enjeksiyon vb.) destekleyerek tünel çevresinde yük taşıyıcı bir halka oluşturulur.
- Geoteknik ölçüm ve kontrollerle kazı sırasında kazı destek sistemi gözden geçirilerek optimize edilir.
- Su yalıtımı yapılarak tünel aydınlatma ve havalandırma sistemleri yapılır.

NATM yönteminde tünellerde genellikle aşağıda verilen destekleme (tahkimat) elemanları kullanılmaktadır.

- Sürenler (levha, boru vb.)
- Püskürtme Beton
- Hasır Çelik
- Kaya Bulonu
- Çelik İksa
- Çelik Levha
- Zemin Çivisi
- Enjeksiyon
- Umbrella Arch (Şemsiye Kemer)
- İç Beton Kaplama

Boru süren uygulaması; tünelde yapılan kazı sonrasında dökülmeye elverişli kaya ortamlarında, özellikle de su oranının yüksek olduğu bölgelerde, kazı işlemi başlamadan önce yapılmaktadır. Çelik iksanın üzerinden yatayla maksimum 5-10^0 açı yapacak şekilde çakılır ve sayıları uygulanan destek tipine göre farklılık gösterir. Uygulamada daha çok 1-1/2 çapında 4 m'lik borular kullanılır.

Zemin çivisi uygulaması; zeminin kesme mukavemetini arttırmak ve çekme mukavemeti kazandırmak amacıyla uzun bulonlar veya çiviler yerleştirilerek yapılan bir donatılama tekniğidir. Tasarımın esası, çivilerde oluşacak çekme kuvvetlerini sürtünme vasıtasıyla zemine aktarmaktır. Zemin çivileri, tünellerde aynaya uygulanırken 9,0 m uzunlukta ve 114 mm çapında borular, 125 mm çaplı deliklere çakılarak yapılmaktadır. Yanal çakılan zemin çivileri ise 26 mm çapında borulardan imal edilir. Sayıları tahkimat tipine göre değişmektedir.

Umbrella Arch uygulaması; Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin kohezyonu düşük zeminlerde uygulanamaması, deformasyonların yüksek olması ve istenilen verimin elde edilememesi üzerine ilk defa İtalya'da Caserta-Foggia demiryolu hattında bulunan 4,2 km uzunluğundaki San Vitale Tüneli'nde uygulanmıştır. Bu yöntem tünel ve yüzey emniyetini arttırmış, verimlilik ve ilerleme hızının üst düzeye çıkmasını sağlamıştır. İtalya'da çeşitli projelerde uygulanabilirliği ispatlanan yöntem daha sonraları Japonya'da da birçok tünel projesinde kullanılmıştır.

Türkiye'de Umbrella Arch uygulaması ilk olarak NATM ile yapılan kazılarda, kazı devam ederken tünel içi deformasyonlar ve yüzey oturmaları kabul sınırlarının üzerine çıkması sonucu "İstanbul Metrosu Yenikapı Şaftı Tünellerinde" uygulanmaya başlanmış ve başarıya ulaşmıştır. Bu başarılı katkıdan sonra Taksim bölgesindeki Fransız Sarayı altında da denenmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Umbrella Arch uygulamasının ilk aşamasında, deliklerin delinebilmesi ve makinenin rahat çalışabilmesi için gerekli olan genişletme çalışmaları yapılmaktadır. Bu kazılar 6 adet iksalık ve bir anoluk ilerleme içinde tünel kesitinin 50 cm dışına genişletilmesini sağlar. Bu pay başlangıçta 6,0 m'lik bölümde genişletme kazısı adı altında, genişleyen ve yükselen iksalar monte edilerek 6,0 m'nin sonunda elde edilmektedir.

Umbrella Arch uygulaması ile kazı sırasında tünel tavan kısmına gelecek gerilmeleri karşılayabilmek amacı ile kazı aynasının tavanına 9,0 m uzunluğunda 114 mm çapında çelik borular yerleştirilmektedir. Bu şemsiye boruları yatay ile 6-8^{0}lik açı yapacak şekilde, 130 mm çapında delinmiş olan deliklere yerleştirilir. Umbrella Arch borularının yerleştirilmesi işlemi yapıldıktan sonra boruların dip kısımlarındaki boru ağızları enjeksiyon manşonu ile kapatılır ve boru ile delik arasında kalan açıklık alçı ile sıvanarak 2-3 bar basınçta 7/5'lik (çimento/su) enjeksiyon şerbeti basılarak doldurulur. Boruların açılan delik içerisinde rahatça ilerleyebilmesi için uçları sivriltilir. Sivri uçtan itibaren 3 m'lik kısmı deliklere yerleştirilerek enjeksiyonun boru ile kuyu cidarı arasına yayılmasını ve hatta kazı hangi ortamda yapılıyorsa (zemin veya kaya) bu ortama da temas etmesi sağlanır. Bu enjeksiyon işlemi enjeksiyon şerbeti geri dönüş hortumlarından gelinceye kadar yapılır. Benzer şekilde ayna yüzeyinden ileriye doğru Ø125 mm çapında, 9,0 m boyunda zemin çivisi delikleri delinerek her bir deliğin içerisine Ø14 mm çapında, 9,0 m boyunda nervürlü demir zemin çivileri yerleştirilir ve aynı sistemde enjeksiyonu yapılır.

Umbrella Arch borusu ve zemin çivisi yerleştirilme işlemi her 6 m'lik periyotlarda bir tekrarlanır. 9 m boyundaki Umbrella Arch borularının her 6 m'de bir tekrarlanması ile 6 m'lik bir kısmı kazı üzerinde kalmakta, 3 m'lik kısmı ise bindirme olarak bırakılmaktadır. Bu şekilde kemeri oluşturan boruların 6 m'lik kısmı iksalara basarken diğer ucu da ayna içerisinde kalarak iki ucu mesnetli kiriş gibi çalışmakta ve üzerine gelen gerilmeleri emniyetle taşıyabilmektedir. Umbrella Arch uygulaması bunlara ilave olarak iksa ayaklarının olduğu yerden karşılıklı 4-6 m boylarında zemin çivileri çakılmaktadır. Bu zemin çivileri, enjeksiyonlu kaya bulonlarına ek olarak Ø130 mm'lik delik içerisine Ø26 mm'lik nervürlü demirin yerleştirilip enjeksiyonlanması ve torklanması işlemi sonucu oluşturulmaktadır.

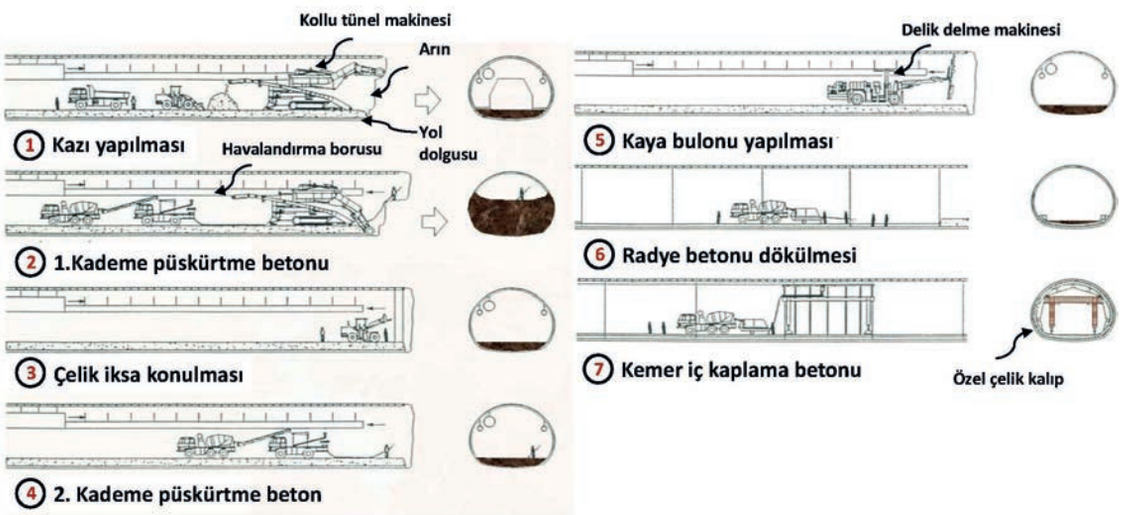
Çelik iksa uygulaması; tünel kazısı esnasında, kendini tutamayan zayıf zeminlerde kazı yapılırken zemini tutmak için kullanılan yapılara denir. Tünel içerisine hazır imal edilmiş olarak iki parça hâlinde gelen iksanın, flanşları üzerinde açılan dört yuva içerisinde civata ve somunun birbirlerine bağlanması şeklinde yapılır. İksalar, kazılmış olan tünel boşluğunu kısmen de olsa destekler. İksalar, belirli bir noktadan sonra zemin akmalarını önlemek ve boşluğu çevreleyen zeminin hareketini azaltmak için kullanılır (Şekil 5.25, Şekil 5.26).

Püskürtme beton uygulaması; tünel çevresinde bulunan zeminin gevşemesini önlemek ve kontrol etmek amacı ile kullanılır. Kayalardaki çatlakları doldurup sıkıştırarak kırılmaları ve kaya düşmelerini önler. Püskürtme betonun en güvenilir ve uygun şekilde zemin yüzeyine boşluksuz bir şekilde uygulanması ve yüzeyi tamamen kaplaması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için yüzeyin taranması ve çelik hasırın zemin yüzeyine çok yakın yerleştirilmesi, erken prizlenmenin olması için gerekli kimyasal hızlandırıcıların kullanılması ve doğru makine ile uygulanma yapılması gerekmektedir.

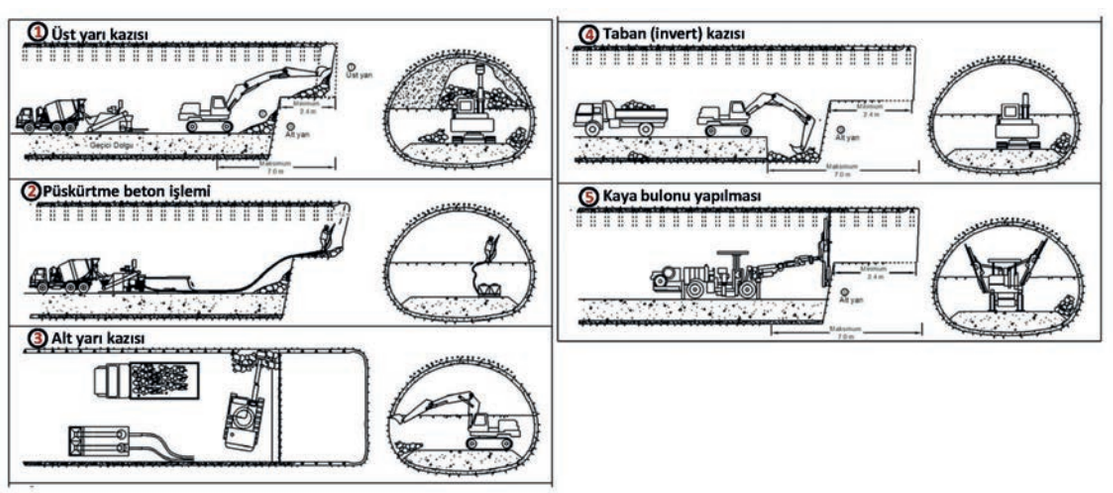
Püskürtme beton uygulaması; tünel çevresinde bulunan zeminin gevşemesini önlemek ve kontrol etmek amacı ile kullanılır. Kayalardaki çatlakları doldurup sıkıştırarak kırılmaları ve kaya düşmelerini önler. Püskürtme betonun en güvenilir ve uygun şekilde zemin yüzeyine boşluksuz bir şekilde uygulanması ve yüzeyi tamamen kaplaması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için yüzeyin taranması ve çelik hasırın zemin yüzeyine çok yakın yerleştirilmesi, erken prizlenmenin olması için gerekli kimyasal hızlandırıcıların kullanılması ve doğru makine ile uygulanma yapılması gerekmektedir.

Püskürtme beton uygulama olarak iki şekilde yapılır. Kuru karışım püskürtme beton uygulamasında, kuru çimento ile agrega hava yoluyla karıştırıcıdan tabancaya iletilir ve burada suyla karıştırılarak yüzeye uygulanır. Kuru karışım, değişen şartlara kolayca uyarlanabilmesi, ıslak yüzeylere kolayca uygulanabilmesi açısında tercih sebebi olmaktadır. Islak karışım püskürtme beton uygulamasında çimento ve agrega su karıştırıcıda karıştırılarak hortuma iletilir. Tabancayla yüzeye uygulanırken prizlenmesini çabuklaştırmak için gereken katkı maddesi karıştırılarak uygulanır. Islak karışımın tercih edilmesinin en önemli nedenleri; uygulanırken sıçramanın az olması, püskürtme beton kaybının az olması, toz oranın az olması ve karışımın kontrol edilebilir olmasıdır (Şekil 5.25, Şekil 5.26).

Kaya bulonları uygulaması; kayayı çekme gerilmelerini taşıyabilecek şekilde sağlamlaştırmak, çekme gerilmelerini ana kayaya iletmek, süreksizliklerin sürtünme direncini arttırmak veya kayada üç eksenli gerilme durumu oluşturmak için yerkabuğu içine bağlanan çubuklardır. Kaya bulonları tek başına tahkimat elemanı olarak kullanılabildiği gibi iksa, hasır-çelik ve shot-crete'den oluşan tahkimatın tamamlayıcı elemanı olarak da kullanılabilmektedir. Tünel açma işlemi gerçekleşmeden önce ilkel gerilmelerin etkisinde bulunan zemin, tünel açıldıktan sonra gerilme ve deformasyonlar ile karşı karşıya kalır. Bu gerilmeler kayaları basınç gerilmesi yerine, çekme gerilmesi oluşturmaya zorlar. Çekme gerilmeleri zeminin dokusunu bozmakla birlikte kayma direncini de azaltmaktadır. Bu duruma karşı bulonlama işlemi yapılmaktadır (Şekil 5.24, Şekil 5.25).

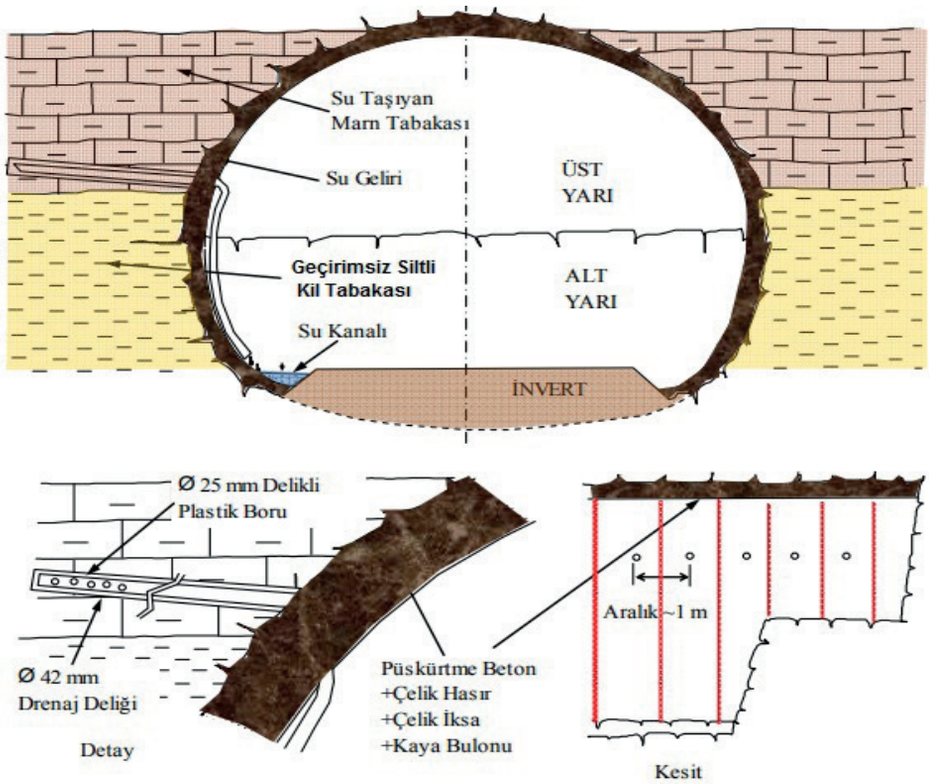


Şekil 5.24: Derin tünellerde inşa ve kazı destek aşamaları krokisi



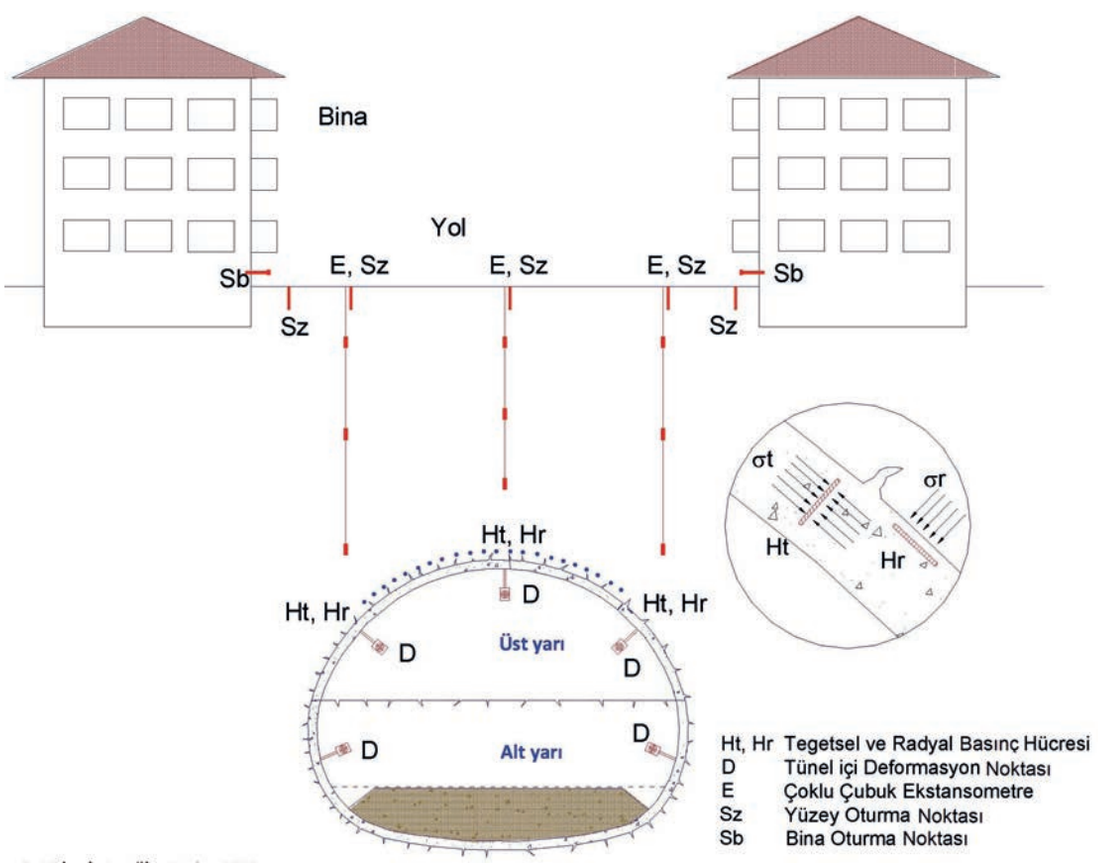
Şekil 5.25: İncirli Mevhibe İnönü Tüneli'nde kazı ve kazı destek aşamaları krokisi

Geçirimsiz siltli kil tabakası zeminde tünel en kesiti, tünel alt yarı, üst yarı, su taşıyan marn tabakası, su geliri, su kanalın görüldüğü tünel NATM yöntemi kullanılan esnek destek sistemi elemanları ve drenajı Şekil 5.26'da verilmiştir.



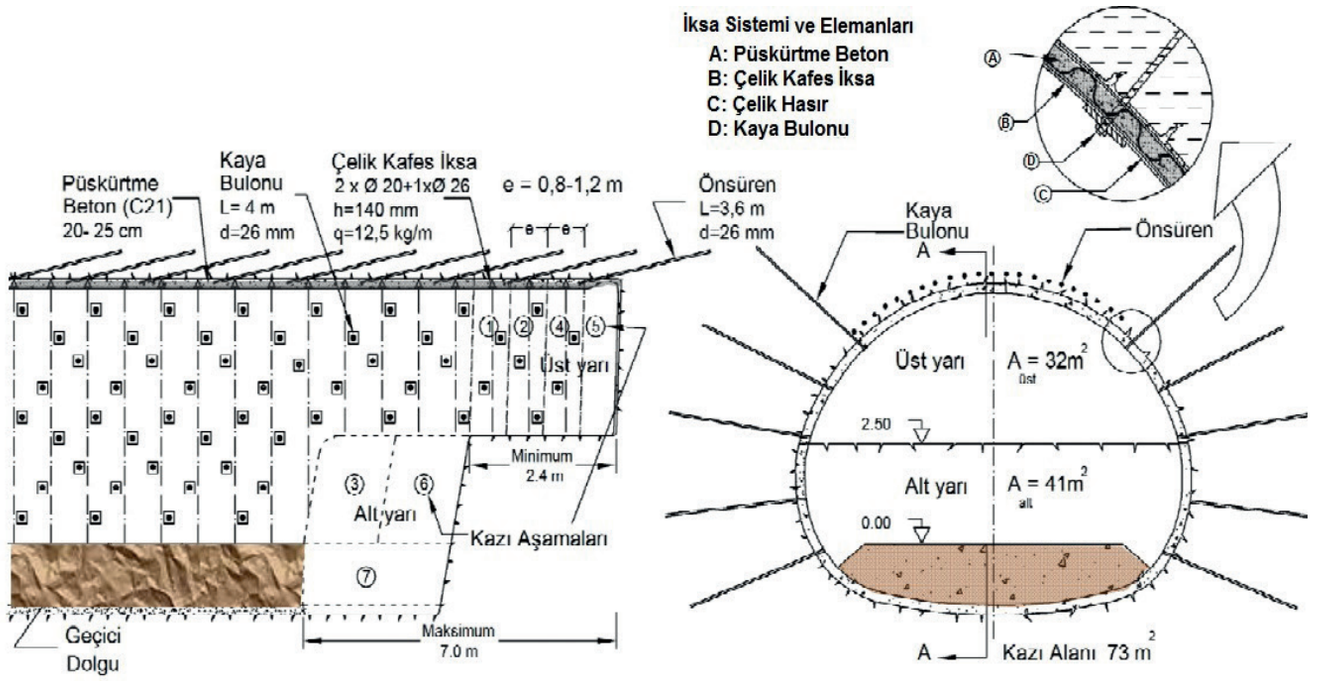
Şekil 5.26: İncirli Mevhibe İnönü Tüneli NATM tünel açma kazısı esnek destek sistemi elemanları ve drenajı

Tünellerde yer altı ve yer üstü hareketi ölçüm esasları Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.27: İncirli Mevhibe İnönü Tüneli yer altı ve yer üstü hareketi ölçüm esasları

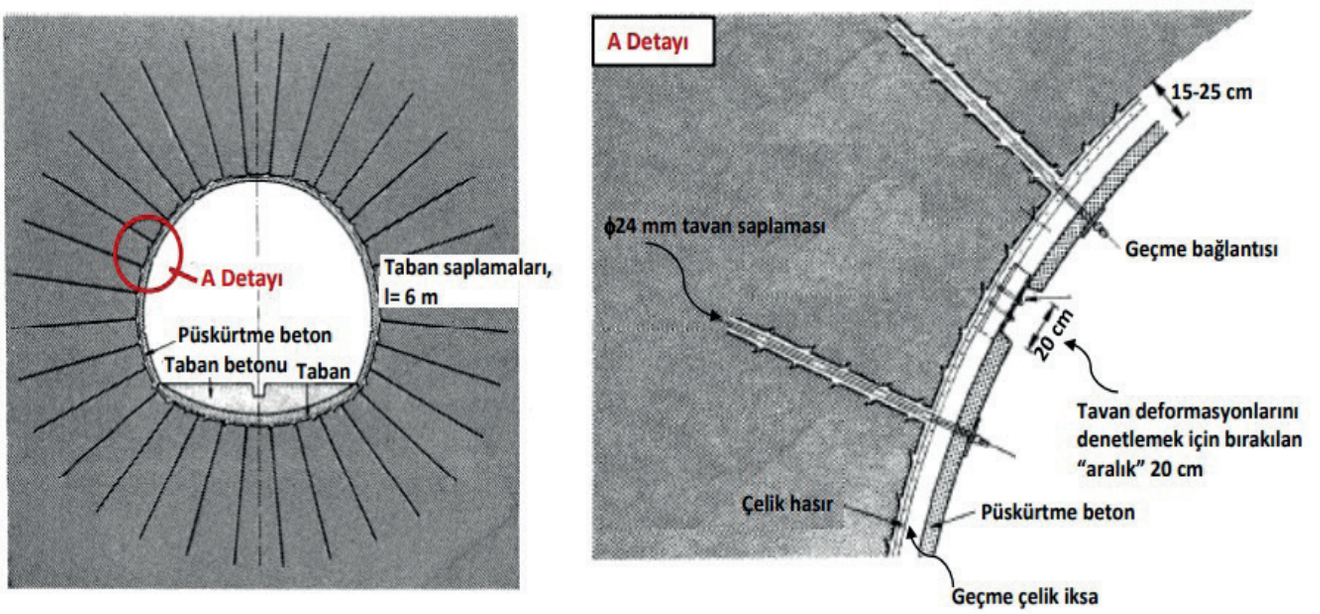
Tünellerde kazısı esnek destek sistemi ayrıntılarını içeren kesit ve detay çizimleri Şekil 5.28'de verilmiştir.



(L= Saplama uzunluğu, d = Saplama çapı, q = Çelik iksa ağırlığı, e = İndirme uzunlukları)

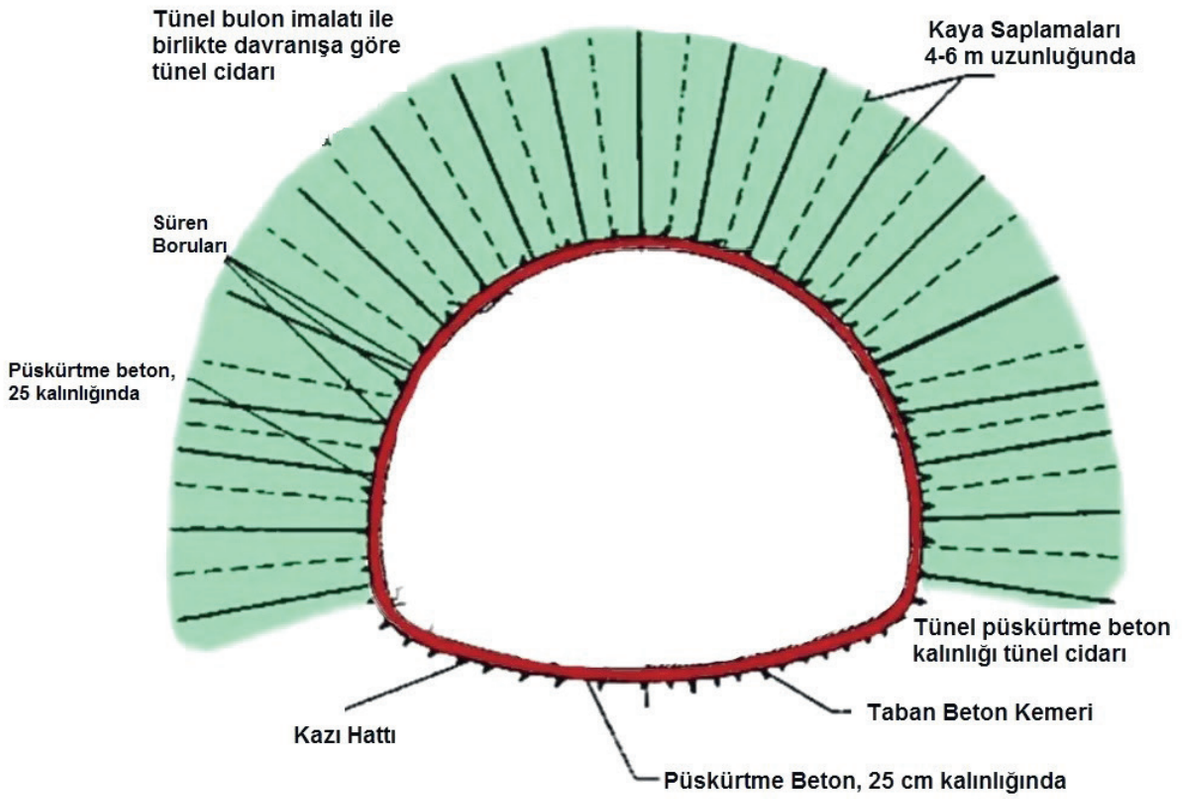
Şekil 5.28: İncirli Mevhibe İnönü Tüneli kazısı esnek destek sistemi ayrıntıları

Aşırı sıkışma hareketi gözlenen derin tünellerde uygulanan tahkimatlar ve iksa örneği Şekil 5.29'da verilmiştir.

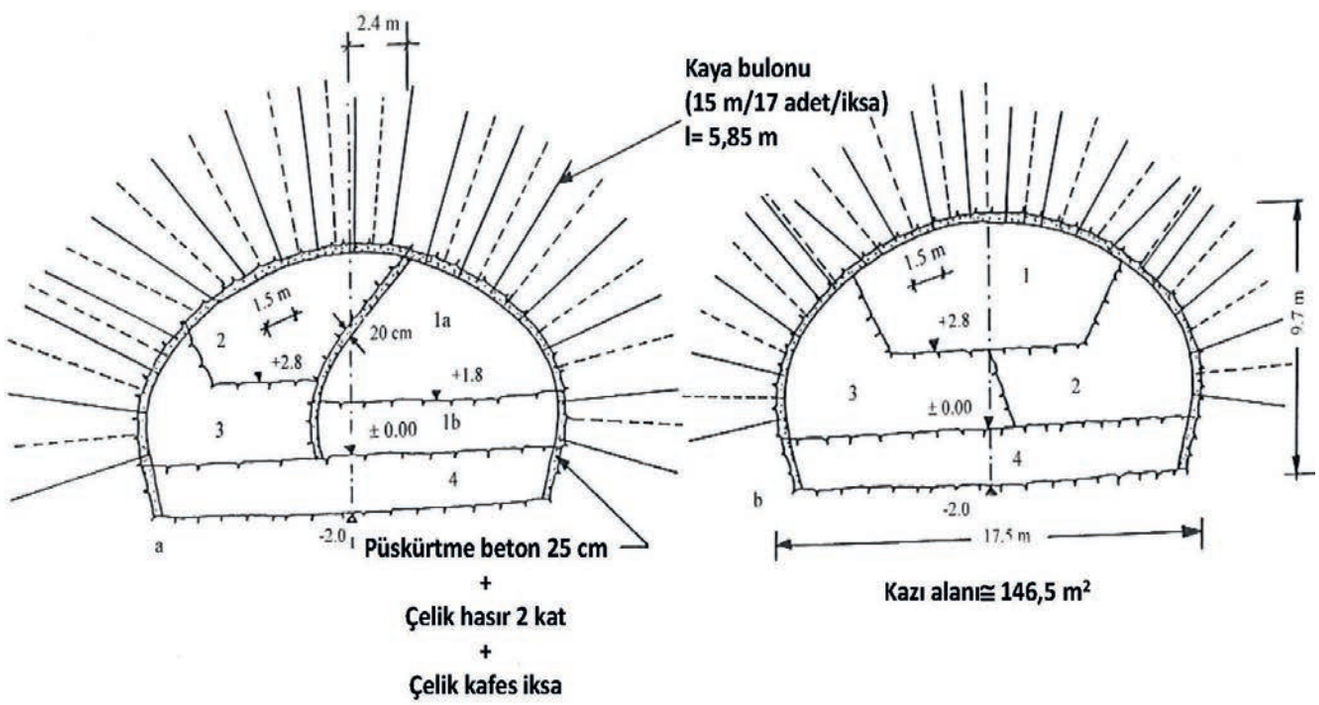


Şekil 5.29: Aşırı sıkışma hareketi gözlenen derin tünellerde uygulanan tahkimatlar ve iksa örneği

Bulonlarla tünel zemin kabuğunun kalınlaştırılması en kesiti Şekil 5.30'da ve tünel kazı destekleme sistemi en kesiti Şekil 5.31'de verilmiştir.

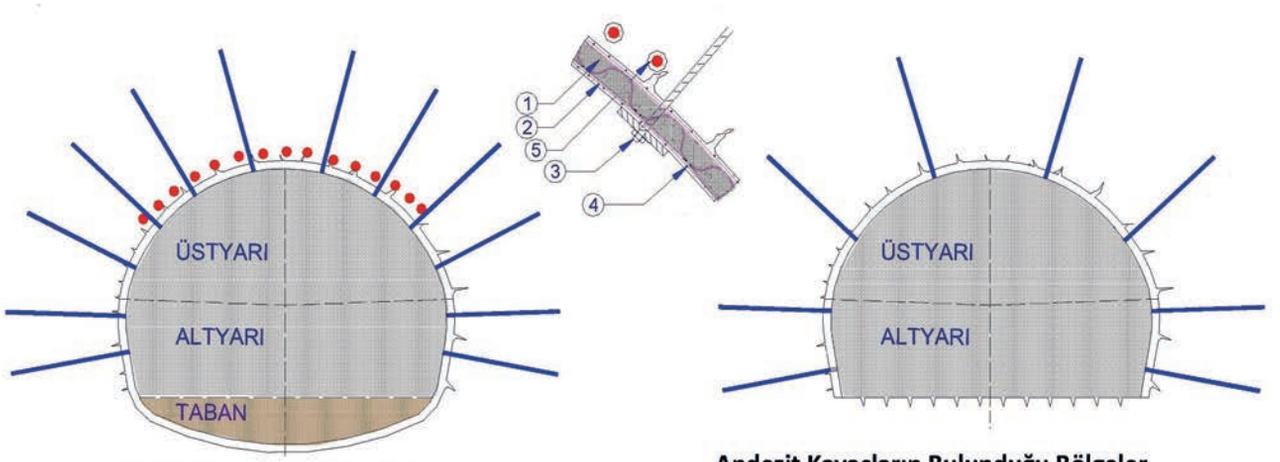


Şekil 5.30: Bulonlarla tünel zemin kabuğunun kalınlaştırılması



Şekil 5.31: İzmir Nene Hatun Tüneli ve istasyon tünelinde kazı destekleme

İzmir Nene Hatun Tüneli'nde tortul ve andezit kayaçlarına uygulanan destekleme sistemleri en kesiti ile tünel destekleme elemanlarına ait bilgiler Şekil 5.32'de ve püskürtme beton uygulaması Resim 5.33'te verilmiştir.



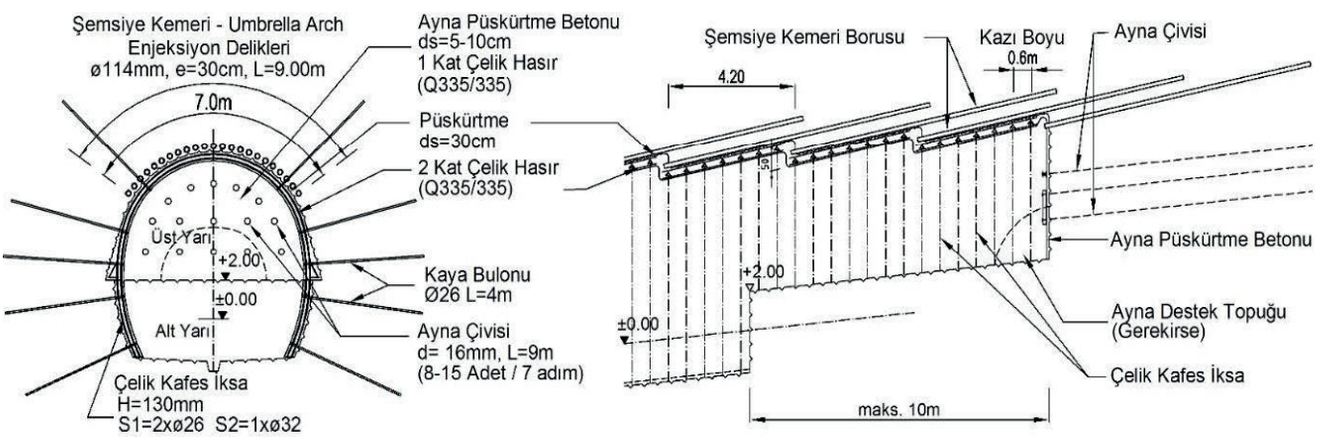
Tortul Kayaçların Bulunduğu Bölge (km 0+652-km 0+976)

1. Püskürtme Beton :V= 8 m³/m, t= 25 cm, BS20,
2. Çelik Kafes İksa : 0,77-1,00 adet/m (Q=13,5 kg/m)
3. Kaya Bulonu : L=3,85 m, ϕ26 mm Nervürlü Çubuk, (~0,5 ad/m²)
4. Çelik Hasır : Çift Kat, Q221/221
5. Süren Çubuk : L=3,0 m, ϕ26 mm Nervürlü Çubuk 0,3m aralıklı, ~15-25 adet / 2 round

Andezit Kayaçların Bulunduğu Bölgeler (km 0-180 – km 0+652) ve (km 0+976 - 1+405)

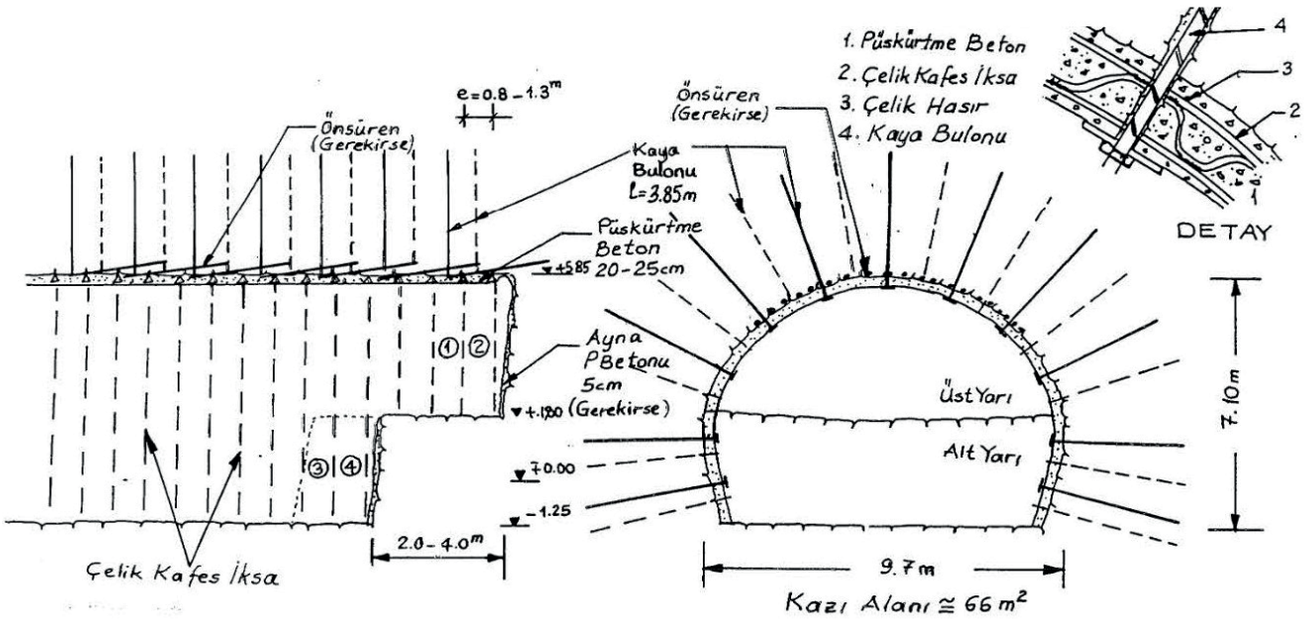
1. Püskürtme Beton : V= 4,35 m³/m, t=20 cm, BS20
2. Çelik Kafes İksa : 0,77-1,00 adet/m (Q=13,5 kg/m)
3. Kaya Bulonu : L=3,85 m, ϕ26 mm Nervürlü Çubuk, (~0,3 ad/m²)
4. Çelik Hasır : Tek Kat, Q221/221
5. Süren Çubuk : L=3,0 m, ϕ26 mm Nervürlü Çubuk 0,3m aralıklı, ~15-25 adet/2 round

Şekil 5.32: İzmir Nene Hatun Tüneli tortul ve andezit kayaç bölgelerinde destekleme sistemleri



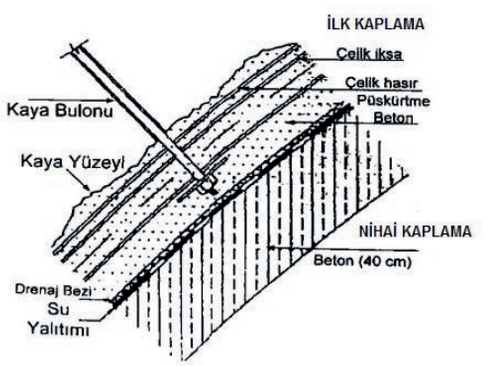
Şekil 5.33: Taksim-Kabataş Füniküler Projesi Tip A3 şemsiye balonu destekleme sistemi uygulaması en kesiti

Tünellerin projelendirilmesi kapsamında destekleme sistemleri tünel kazı-destekleme uygulaması en kesit çizim örneği Şekil 5.34'te verilmiştir.



Şekil 5.34: İzmir Metro Projesi, Nene Hatun Tüneli kazı-destekleme sistemi en kesit krokisi

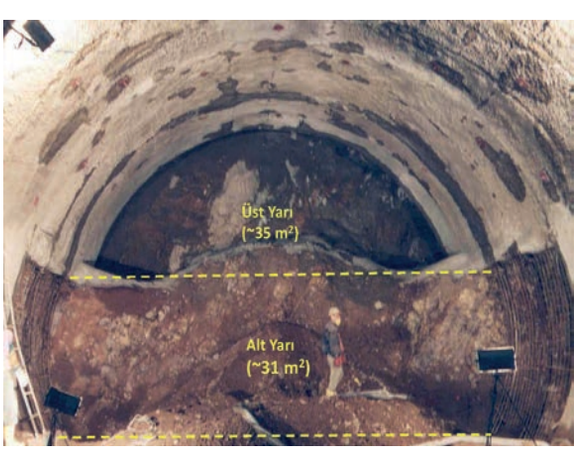
Tünellerin projelendirilmesi kapsamında destekleme sistemleri tünel tahkimat elemanlarına ait detay çizim örneği Şekil 5.35'te verilmiştir.



Şekil 5.35: Tünel tahkimatı elemanları detayı

İzmir Metro Projesi kapsamında inşa edilen İzmir Nene Hatun Tüneli püskürtme beton uygulaması Resim 5.14'te ve alt yarı kazısı destek sistemi Resim 5.15'te verilmiştir.

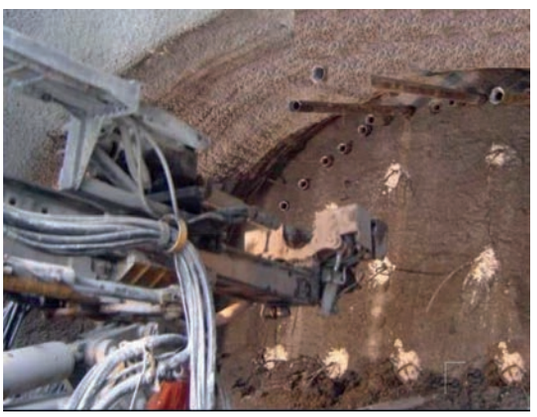
Resim 5.14: İzmir Nene Hatun Tüneli püskürtme beton uygulaması



Resim 5.15: İzmir Nene Hatun Tüneli alt yarı kazısı ve desteklemesi

NATM yönteminde yapılan, ince ve geçici bir destekleme uygulayarak deformasyonlara izin vererek tünel içine doğru gelişen kaya basıncını azaltmak ve yükleri kazı çevresindeki kayaya dağıtmaktır. Böylelikle son destekleme (nihai kaplama) daha az yüklenecek, daha sonra yapılabilecek ve daha ince bir yapı olabilecektir.

NATM yönteminde 2 ana sağlamlaştırma şekli mevcuttur. İlk yöntemde deformasyonları durdurmak için seçilen sağlamlaştırma kuvvetleri (ankrajlardaki ön gergi kuvvetleri) büyük, püskürtme beton kalitesi yüksek, çelik hasır dokusudur (< 10 cm). Çelik iksa rijittir ve çoğunlukla yakın aralıklarla (< 100 cm) yerleştirilir. İkinci yöntemde ise kullanılan sağlamlaştırma ögeleri ince ve sünektir (Resim 5.16).



Resim 5.16: NATM tünel açma yönteminde ön süren borular ve şemsiye balonu uygulaması

Püskürtme beton kalınlığı çoğunlukla 3-5 cm'dir. Hasır dokusu gevşek (10-20 cm) ve çelik bağlar eğilmeksizin çalışacak özelliktedir. Bağ aralıkları genellikle 1,5-3,0 m arasında seçilir. Çoğunlukla yapılan ölçüm ve analizlere göre her iki sağlamlaştırma şekli birlikte kullanılır. NATM tünel açma yönteminde kazı ve iksa yapılması örneği Resim 5.17 ve Resim 5.18'de verilmiştir.

Resim 5.17: NATM tünel açma yönteminde kollu ekskavatörle kazı çalışması ve çelik iksa uygulaması

Resim 5.18: NATM tünel açma yöntemi tünel çalışmaları

SIRA SİZDE

NATM yönteminde tünellerde uygulanan tahkimat elemanları hangileridir? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

Bulonlarla tünel zemin kabuğunun kalınlaştırılması tahkimat en kesitin krokisini aşağıdaki boşluğa çiziniz ve elemanlarının adlarını en kesit üzerinde gösteriniz.

Kop Dağı Tüneli Çalışmaları: Yapımı devam eden ve 2026 yılında tamamlanması planlanan Kop Dağı Tüneli, bölünmüş yol standardında tünel açma tekniklerinden NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) kullanılarak yürütülmektedir. Son yıllarda oldukça sık tercih edilen bu teknik, klasik metotla tünel açma tekniklerinin en deneysel ve esnek olanı olup en optimum destek ve kazı yöntemlerinin uygulanabildiği bir tünelcilik yöntemidir. NATM tekniği ile kollu kazıcı makinelerin kullanılması ile açılmış Kop Dağı Tüneli galeri inşaatı, teknik koşulların değişken olduğu ve iyi bilinmediği büyük çaplı uzun tünellerde iyi sonuç veren bir yöntem olarak bilinmektedir. Kop Dağı Tüneli inşaatının Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fay hattının kesiştiği makaslama denilen çatlak zonunda bulunması, inşaatın zorluklarla mücadele ederek devam etmesine sebep olmuştur

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolları Teknik Şartnamesinde yer alan NATM yöntemiyle kayalarda delme-patlatma ile üst yarı-alt yarı şeklinde (A1, A2, B1, B2, B3), zayıf ve çok zayıf kayalarda delme-patlatma+makineli kazı, üst yarı-alt yarı ve taban invertli kazı desteklemeleri uygulanmaktadır. Başlıklı kaya/zemin ortamlarında, bölünmüş veya tam kesit üst yarı bölünmüş veya tam kesit alt yarı ve bölünmüş veya tam kesit invert kazı metotları ile C2, C3 ve C4 sınıfları desteklemeleri uygulanmaktadır.

Kop Dağı Tüneli Kazı ve Destekleme İşleri: Kop Dağı Tüneli kazısı zemin klasına göre aşamalı olarak yapılmıştır. Bu aşamalar genel olarak üst yarı, alt yarı ve taban kazılarıdır. Kazı kesit alanının büyüklüğüne göre de kazılar aşamalı olarak yapılabilir. Örneğin üst yarı kazısının tek aşamalı, iki aşamalı ve üç aşamalı yapılması şeklinde tercih edilebilir.

Uygulanan kazı metotları; kırıcı ekskavatör, delici ekskavatör, düzgün-kesme patlatma tekniği ve TBM (Tunel Boring Machine) ile yapılan kazılardır. Uygulamada kazı destekleme klasına, kayacın RMR ve Q değerlerine göre kazı aynasında karar verilmektedir. Proje aşamasında belirlenen kazı-destekleme sınıflarından ve jeolojik şartlardan farklı durumlarla karşılaşıldığında farklı düzenleme ve uygulamalar yapılmaktadır. Kop Dağı Tüneli'nde öngörülen tahkimat elamanlarının kullanılması ile güvenli ve sağlam bir tasarım yapılmıştır. Kazı işlemleri bitirildiğinde çelik-hasır ve iksalar yerleştirilmektedir. Çelik-hasırlar, enine ve boyuna yönde dik olmak üzere demir çubuklardan hasır şeklinde fabrikada imal edilmiştir.

Çelik-hasır ve iksalar yerleştirildikten sonra püskürtme beton uygulaması yapılmaktadır. Tünellerde yapım aşamasında tünel geometrisinden kaynaklı, daha önceden öngörülemeyen birçok sorun ortaya çıkabilir. Kop Dağı Tüneli inşaatı esnasında da tünel hattı boyunca aşırı sökülme, su ve gaz gibi belli başlı sorunların varlığı hem kazı çalışmalarına hem de işin bitirilme süresine olumsuz etki yapmıştır. Tünellerde özellikle suyun yarattığı sorun, tünel açılma aşamasından sonra drenaj kanalı gibi çalışacağından çoğu zaman büyük zararlara (can ve mal kaybı gibi), tünel maliyetinin artmasına ve tünel açılış süresinin uzamasına sebep olmaktadır.

Kop Dağı Tüneli inşaatı bu anlamda da gecikmeye uğramıştır. Tünellerde çalışma koşulları ve jeolojik koşullar nedeniyle atmosferik gazlar dışında bazı yabancı gazlarla karşılaşılmıştır. Çalışma koşullarının zorlaşmaması ve tehlike durumuna karşı tünel içi gaz ölçümlerinin sürekli kontrol altında tutulması gereklidir. Kop Dağı Tüneli'nde iş güvenliği ve erken uyarı sistemi ile gaz ölçümü sürekli yapılmaktadır. Tünel içerisinde, projesinde verilen ölçülerde detektörler ile ölçüm yapılarak ölçümler kayıt altına alınmaktadır. Tünel içi gaz ölçümleri ile Kop Dağı Tüneli havalandırma projesine uygun havalandırma çalışmaları yürütülmektedir.

Tünel ağızlarında inşa edilen sanat yapıları **portal** olarak adlandırılır. Tünel kazısının başlatılacağı bölgede kaya koşullarının durumu, kalınlığı, giriş koşulları (şaşırtmalı vb.) ve alınması zorunlu tedbirler değerlendirilerek portal şevlerinin tasarımına karar verilir. Portallar tünele giriş ve çıkış ağızlarında inşa edildiklerinden dolayı imalatının da uygun olarak yapılması gerekir. Aksi hâllerde bu yapılarda (tünel giriş ve çıkışında) oluşabilecek hasarlar tünel içerisinde imalatların durmasına neden olabilir, hatta iş ve işçi güvenliğini tehlikeye sokabilir.

Kop Dağı Tüneli portal inşasında çift kat çelik hasır ve 15 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmaktadır. Püskürtme beton, tasarımına göre belirlenen miktarlarda hazırlanan çimento, hafifçe (%2 ile 6 oranında) nemlendirilmiş kum ve çakıl ile susuz ortamda karıştırılarak elde edilen kuru karışımın püskürtme beton makinesine beslenmesi ile uygulanır. Karışım, buradan basınçlı hava yardımı ile özel iletim hortumuna aktarılır ve iletim hortumu ucundaki püskürtme beton tabancasında püskürtme suyu ile karıştırılarak uygulanacak yüzeye yüksek hızla püskürtülür (Resim 5.19).

Resim 5.19: Kop Dağı Tüneli püskürtme beton uygulaması

Kop Dağı Tüneli ayna şevinde 12 m boyunda Ø32 mm çapında zemin çivisi, 2. ve 3. şevde 6 m boyunda Ø32 mm çapında PG kaya bulonu kullanılmıştır. Kop Dağı Tüneli zemin duraylılığı düşük, zayıf kayadır. Kazı adımı 0,50-1,50 m arasındadır. Kazı sonrası işlem sırası çelik hasır ve çelik iksa montajı peşine püskürtme beton (shot-create) atılması şeklindedir. Kop Dağı Tüneli bulon portal deliklerinin açılması Resim 5.20'de verilmiştir.

Resim 5.20: Kop Dağı Tüneli bulon portal deliklerinin açılması

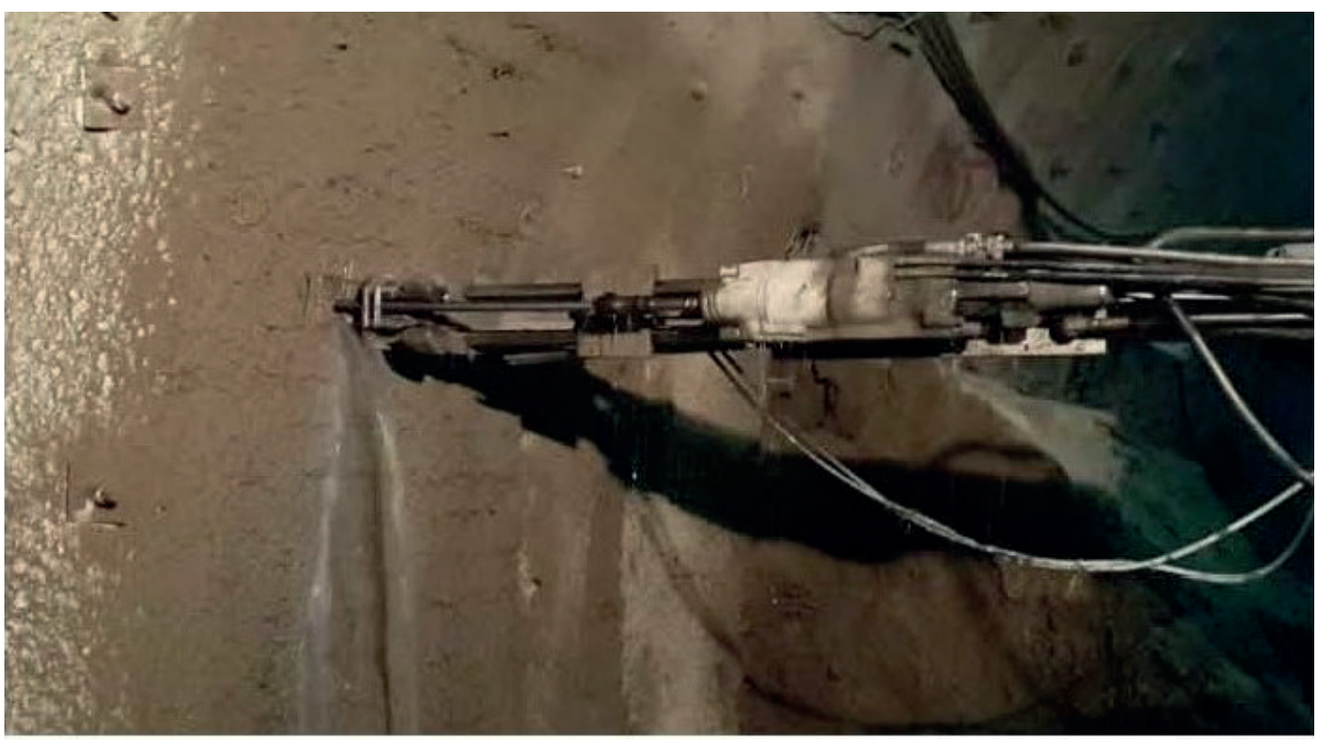
Çelik hasırlar çekme gerilmelerini artırarak ilerde oluşabilecek deformasyonları azaltacaktır. Tünellerde kazı, tarama pasa alımı sonrası ilk olarak kafes kiriş sistemindeki çelik hasır montajı yapılır. Nervürlü çelik ile bunları bağlayan bağlantı elemanlarından oluşan iksa, çelik hasır, kaya bulonu, şemsiye sürenleri (umbrella arch) ve püskürtme beton desteklemenin ana elemanlarıdır. Kaya bulonları ana iksanın bir parçası olup püskürtme betonu ile kaya arasındaki müşterek davranışı harekete geçirmeyi amaçlayan, tünel ana kaplamasının yük taşıma kapasitesine katkıda bulunan destekleme elemanlarıdır. Tünel kazısı sırasında aynanın stabilitesi için gerekli durumlarda da kaya bulonları uygulanmaktadır. Ortam kayasının kesme dayanımını artırmak ve kemerlenme çizgisini tünel kazı hattı dışına ötelemek maksadıyla projede belirtilen sayıda ve tasarımda bulon desteklemesi tüm tünel hattı boyunca yapılmaktadır.

Kop Dağı Tüneli'nde uygulanan bulon türleri aşağıda açıklanmıştır.

SN Bulon: Projede belirtilen çap ve eğimde bulon delikleri açılır. Hazırlanmış harç enjeksiyonu, kuyu dibinden başlamak suretiyle enjekte edilerek kuyuya doldurulur. Bir ucuna ankraj plakası ve tespit somunu bağlantısı yapmaya uygun diş açılır, proje ve şartnameye uygun çap ve uzunluktaki nervürlü donatı çubuğu deliğe yerleştirilir. Kaya bulonu yerleştirilip enjeksiyon priz aldıktan sonra (yaklaşık 12 saat sonra) plaka takılır. 2 tonluk kuvvet oluşturabilecek tork anahtarı veya havalı tork ile plaka ve somun sıkılır. Bulon plakasının püskürtme beton yüzeyine noktasal değil alansal olarak temas etmesi gerekir.

PG Bulon: Delik açıldıktan sonra hazırlanmış nervürlü donatı çubuğu (diş açılmış ve merkezleyicisi, enjeksiyon ve hava borusu nervürlü çelik üzerine sabitlenmiş) kuyuya yerleştirilir ve kuyu ağzı tıkanır. Enjeksiyon borusundan enjeksiyon verilir ve hava borusundan enjeksiyon harcının bir müddet çıkması beklenir. Harcın çıkması ve çıkmasının devam etmesi gözlendikten sonra hava borusu kapatılır. Enjeksiyon verme işlemine devam edilir, basınç yükseldiği gözlendiğinde kuyuya enjeksiyon basma işi durdurulur ve borusu kapatılır. Diğer uygulamalar SN bulon ile aynıdır.

IBO Bulon: İçi boş en az 6 mm et kalınlığına sahip, dış çapı en az Ø28 olan, dışı nervürlü çelik çubuktur. Delici makinenin üzerine tij gibi takılarak kullanılır ve delgi sonrası dışarı alınmadan delik içerisinde bırakılır. Bulon çubuk içinden enjeksiyon şerbeti verilir. Delik ağzından enjeksiyon gelmesi ve süreklilik göstermesi hâlinde işlem durdurulur. Kuyu ağzı ve bulon ucu kapatılır. Plaka ve somun montaj işlemleri SN bulonlarla aynı şekilde yapılır (Resim 5.21).



Resim 5.21: Bulon delgi ve montaj uygulaması (Kop Dağı Tüneli)

Genellikle aşırı su gelişlerinin yaşandığı ve açılan deliklerde yıkıntılarla karşılaşılan durumlarda IBO bulon uygulaması yapılmaktadır. Kop Dağı Tüneli inşaatında delik stabilitesinin sağlanamadığı durumlarda IBO bulon uygulanmaktadır. Tünel inşaatında kademeli olarak ilerlenirken tekrar kazı yapılır. Bir sonraki adımın çelik hasır ve iksa montajıyla birlikte bu iksanın ikinci kat çelik hasır montajı yapılır.

Süren, kazı işleri için gerekli destek elemanlarıdır. Kazı aşamasında çökme, aşırı sökülme veya malzeme akma riski olan her türlü kaya ve zemin şartlarında uygulanır. Özellikle zayıf ve bloklu kaya koşullarında kazı öncesi bir ön destekleme metodu olarak tercih edilir. İşlerin emniyetini sağlamak ve aşırı sökülmeyi önlemek üzere çelik iksa montajı ile her zaman bağlantılı olan süren, şartların gerektirdiği tarzda farklı şekillerde çelik bağ tahkimatı ile çevresel koşullara bağlı olarak yerel veya sistematik olarak uygulanabilmektedir. Kazı sonrası aşırı sökülmeye meyilli zemin ortamlarında, özellikle suyla etkileşimli bölgelerde, kazıya girmeden önce süren uygulaması yapılır. Sürenler çelik iksa üzerinden yatayla 5-10^0 açı yapacak şekilde çakılır ve adetleri kazı destek türüne göre değişir.

Kop Dağı Tüneli'nde uygulanan süren çeşitleri aşağıda açıklanmıştır.

Çelik Levha Süren (Palplanş): Düşük kohezyonlu zayıf zeminlerde, malzemenin kazı sırasında veya kazıdan sonra yapılacak çalışmalarda çökmeyi önlemek amacı ile kullanılır (Kalınlık: 4-6 mm).

Çelik Boru Süren: İç çapı 30-35 mm, et kalınlığı 3 mm'den az olmayan çelik borular kullanılır. Zemine projesinde belirtilen aralık ve çaplara uygun olarak delgi yapılır. Daha sonra süren borusu deliğe yerleştirilir. Boru içerisinden harç enjeksiyonu verilir ve boşlukların enjeksiyon ile dolduğu anlaşıldığında boru ağzı tıkanarak imalat bitirilmiş olur. Harç enjeksiyonuna kuyu dibinden başlanır.

Güçlendirilmiş Çelik Boru Süren (Umbrella/Şemsiye Süren): Tünel üzerindeki zeminin et kalınlığının az olduğu yerlerde ve düşük kohezyonlu zayıf zeminlerde (kumlu, çakıllı) bu tarz süren uygulanır. Genellikle 3'' ve daha büyük çapta çelik borular kullanılır. Projede belirtilen aralık, boy ve eğimde delgi yapılır. Zemin koşullarına göre delgiler, kuyuların birbirleri ile etkileşip delik stabilitesinin bozulmaması için atlanılarak yapılırsa daha uygun olur. Sürenler yerlerine yerleştirilip enjeksiyon ve hava borusu yerleştirilerek kuyu ve boru ağzı tıkaçla kapatılır. Enjeksiyon borusundan harç enjeksiyonu verilerek hava borusundan enjeksiyon geldikten sonra hava borusu tıkanarak kapatılır. Bir müddet daha enjeksiyona devam edilir. Basıncın yükseldiği görüldüğünde enjeksiyon durdurulur ve boru kapatılır. Kop Dağı tünel inşaatında yer yer umbrella süren uygulanmaktadır.

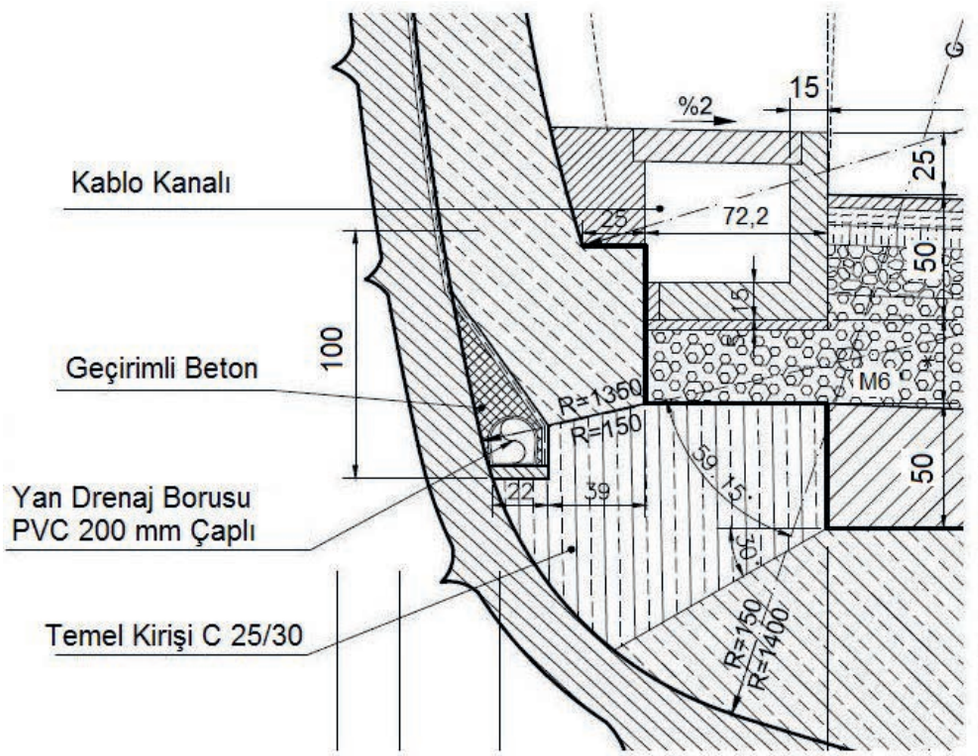
Nervürlü Çelik Çubuktan Süren: Çelik boru süren imalatı gibidir. Sadece kuyu delindikten sonra kuyu enjeksiyon ile doldurulur ve daha sonra nervürlü çelik çubuk süren kuyuya yerleştirilir. Çelik iksalar yine destek sistemi elemanlarıdır ve kazıdan hemen sonra ön destek elamanı, püskürtme beton kaplamasının donatısı ve yük dağıtan elaman olarak çalışır (Resim 5.22).

Resim 5.22: Tünel çelik iksa çalışmaları (Kop Dağı Tüneli)

Kop Dağı Tüneli Temel Kirişi İmalatı: Tünellerde, taban kazısı ve destekleme imalatının üstüne veya taban kazı desteklemesi olmayan yerlerde doğrudan alt yarı kesitinin en alt yüzeyinde tünel sağında ve solunda yapılan beton imalatına temel kirişi denir. Kop Dağı Tüneli temel kirişlerinde C25/30 beton uygulanmaktadır. Temel kirişi üzerine, tünelin sağına ve soluna tünel hattı boyunca membran arkasında toplanabilecek şekilde, yer altı suyunu tahliye etmek için yan drenaj yapılmıştır. Bunun için çapı 200 mm'lik PVC veya perfore yan drenaj borusu, proje ölçülerine uygun olarak yerleştirilmiştir.

Geçirimli beton, drenaj borusunu yerleştirmek için genellikle 37,5 mm'lik agrega ve çimentonun karıştırılması ile elde edilen bir beton olarak kullanılır. Karışım hesabında agreganın çimentoya oranı, 8/1 ve ağırlık olarak 10/1 olacak şekilde yapılır. Bu uygulamalardan sonra membran ve keçe imalatından önce betonun sivri yüzeylerini tolere etmek amacıyla agregası ince malzemeden oluşan (0-5 mm) püskürtme beton (düzeltme betonu) uygulanır. Uygulanan bu düzeltme püskürtme beton üzerine önce keçe ve onun üstüne de membran serilir. Böylece su yalıtımı, projesine uygun olarak tamamlanmış olur. Bu işlemlerin ardından, püskürtme beton ile zemin arasında, bazen oluşan boşlukların doldurulması için veya nihai beton ile membran arasında var olan boşlukların giderilmesi amacıyla yine enjeksiyon şeklinde beton uygulaması imalatı, tünelde kontak enjeksiyonu imalatı olarak adlandırılır.

Nihai beton kaplama ise Kop Dağı Tüneli inşaatında uygulanan bir iç beton kaplamasıdır. Projesine göre donatılı veya donatısız olarak uygulanabilir. Uygulamada taban kirişi üzerine raylar yerleştirilmekte ve bu raylar üzerinde hareket eden nihai beton kalıp düzeneği kurulmaktadır. Kalıp düzeneği sayesinde beton uygulaması anolar yardımı ile nihai beton imalatı olarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.36).



Şekil 5.36: Kop Dağı Tüneli temel kiriş proje detayı

SIRA SİZDE

Şekil 5.36'da verilen Kop Dağı Tüneli temel kiriş proje detayını serbest el ile aşağıda verilen boşluğa çiziniz.

5.4 UYGULAMA

9 (9) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ VE YÖNTEMLERİ

Bu çalışmanın amacı, tünel açma makineleri ve yöntemlerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Tünel açma makineleri ve yöntemlerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetimi ve rehberliğinde **uygulama ödevi** şeklinde yerine getiriniz.

Verilenler

2016 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Avrasya Tüneli.

İstenenler

2016 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Avrasya Tüneli projelendirmesi ve inşası kapsamında yapılan çalışmaları tespit ediniz. Tünel projelendirmesi ve inşası kapsamında yürütülen çalışmalara ait raporu hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda resmi kurum kuruluşların ve üniversitelerin kaynaklarından yararlanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızda rapor hazırlama kurallarına dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Avrasya Tüneli plan, kesit ve detayları, tünel projesi hazırlık çalışmaları, tünel güzergâhı jeolojik-jeoteknik yapısı, geoteknik modelleme çalışmaları, kullanılan tünel yapım teknikleri, kazı-destek çalışmaları ve yöntemleri, tünel açma yöntemleri ve kullanılan makineler tespit edilir.
2. Avrasya Tüneli plan, kesit ve detay proje çizim ve modellemeleri incelenir.
3. Avrasya Tüneli inşa çalışmalarına başlamak için yapılan hazırlık çalışmaları incelenir.
4. Avrasya Tüneli güzergâhı jeolojik-jeoteknik yapısına yönelik yapılan çalışmalar incelenir.
5. Avrasya Tüneli geoteknik modellemelere yönelik çalışmalar incelenir.
6. Avrasya Tüneli'nde kullanılan inşa teknikleri incelenir.
7. Avrasya Tüneli'nde kullanılan kazı yöntemleri incelenir.
8. Avrasya Tüneli kazı destek projelendirme ve yapım çalışmaları incelenir.
9. Avrasya Tüneli'nde kullanılan tünel açma yöntemleri ve tünel açmada kullanılan makineler incelenir.
10. Avrasya Tüneli inşa çalışmalarında karşılaşılan sorunlar ve çözümler incelenir.
11. Avrasya Tüneli proje, inşa hazırlık ve tünel inşa çalışmalarını içeren rapor hazırlanır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Avrasya Tüneli projelendirme ve inşa çalışmaları kapsamında yapılanları tespit ettiniz mi?		
2	Avrasya Tüneli plan, kesit ve detaylarına ait proje çizim ve modellemeleri incelemelerini yaptınız mı?		
3	Avrasya Tüneli inşa çalışmalarına başlamak için yapılan hazırlık çalışmalarını incelediniz mi?		
4	Avrasya Tüneli güzergâhı jeolojik-jeoteknik yapısına yönelik yapılan çalışmaları incelediniz mi?		
5	Avrasya Tüneli geoteknik modellemelere yönelik çalışmaları incelediniz mi?		
6	Avrasya Tüneli'nde kullanılan inşa tekniklerini incelediniz mi?		
7	Avrasya Tüneli'nde kullanılan kazı yöntemlerini incelediniz mi?		
8	Avrasya Tüneli kazı destek projelendirme ve yapım çalışmalarını incelediniz mi?		
9	Avrasya Tüneli'nde kullanılan tünel açma yöntemleri ve tünel açmada kullanılan makineleri incelediniz mi?		
10	Avrasya Tüneli inşa çalışmalarında karşılaşılan sorunları ve çözümlerini incelediniz mi?		
11	Avrasya Tüneli proje, inşa hazırlık ve tünel inşa çalışmalarını içeren raporu hazırladınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Tünel/tünellerde güvenlik amacıyla alınan yapısal ve yapısal olmayan tedbirleri gözlemleyiniz, bunları sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

5.5. TÜNEL GALERİLERİ VE TÜNELLERDE GÜVENLİK YOLLARI

Tünellerde güvenlik tedbirleri, inşa çalışmaları ve işletilmesi sırasında olmak üzere iki grupta ele alınır. Tünel inşası için yüklenici firma tünel projesinin yeterliliğini inşaata başlamadan önce gözden geçirerek yarma veya açık tünel ile geçilebilir yerlerin kesinleştirilmesi, tünel ile gereken baca ve galerilerde kazılacak zeminin jeolojik, jeofizik, mekanik ve kimyasal özelliklerinin yeterince tespiti sonucunda uygulanacak kazı ve iksa sistemlerini belirler.

Kısmi veya tam gabaride kazı seçenekleri, zeminin seçilmiş bir malzeme enjeksiyonuyla takviyesi ve drenajı gereken yerlerde uygulanabilecek enjeksiyon ve drenaj metotları, tünel kaplama cinsleri ve hesaplanmış kalınlıkları ile zeminin çimentoya etkisi dikkate alınarak uygulanacak imalat yöntemleri, inşaat ve işletme dönemlerinin güvenlik, aydınlatma ve havalandırmalarının nasıl sağlanacağı ile ilgili hususlarının belirlenmesiyle gerekli proje ve detayların bir rapora bağlı olarak yapılıp idarenin onayının alınması gereklidir. Kullanılacak tüm makine, ekipman, malzeme ve patlayıcı madde hazırlıkları tamamlanarak tünelin inşasına başlanılması esastır.

Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğine göre; kazı işleri, kuyular, yer altı işleri ile tünel ve kanal çalışmalarında aşağıda belirtilen hususlara uyulur.

- Çalışmalar, işveren tarafından görevlendirilen ehil kişi gözetiminde yapılır.
- Çalışma alanına giriş ve çıkış için güvenli yollar sağlanır.
- Kazılarda zemin yapısı, iklim koşulları, kazı alanı yakınlarında meydana gelebilecek sarsıntılar, çevredeki su kaynakları ve fazla yük kuvvetleri göz önüne alınarak uygun şev açıları belirlenir ve/veya statik hesabı yapılmış uygun destek ve setler kullanılır. Kazı yüzeyleri, şevlerin eğimi ve yüksekliği zeminin yapısına, sağlamlığına ve çalışma yöntemlerine uygun seçilir.
- Malzeme veya cisim düşmesine, su baskını tehlikesine ve insanların düşmesine karşı uygun tedbirler alınır.
- Tehlikeli veya zararlı olmayan özellikte solunabilir hava sağlamak için bütün çalışma yerlerinde gerekli tedbirler alınır.
- Yangın, parlama, patlama, su baskını veya göçük gibi durumlarda çalışanların güvenli bir yere ulaşmaları sağlanır.

Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğine göre; patlayıcı kullanılarak çalışılan kazı, tünel ve galeri gibi yer altı kazı işlerinde aşağıdaki hususlara uyulur.

- Patlayıcı maddeler üretici tarafından belirtilen koşullarda saklanır ve depolanır.
- Yapılan işin niteliğine uygun patlayıcı maddeler ve kapsüller kullanılır. Patlayıcı maddeleri yeterlik belgesine sahip çalışanlardan başkasının almasına ve ateşlemesine izin verilmez.
- Patlayıcı maddelerin ve kapsüllerin depolanması, taşınması ve kullanılması, sadece bu konuda yetkili ve uzman kişiler tarafından yapılır. Bu işler, çalışanlar için risk oluşturmayacak şekilde organize edilir ve yürütülür.
- Patlayıcı maddeler özel sandıklar içinde taşınır ve bu sandıkların içine başka bir madde konulamaz. Kapsüllerle diğer patlayıcı maddeler, aynı kap içinde bir arada bulundurulamaz ve taşınamaz.
- Patlatma yapılacak alanın etrafında uygun güvenlik tedbirleri alınmadan patlatma yapılmaz.

5.5.1. Tünel ve Galeri İnşasında Alınması Gereken Güvenlik Önlemleri

Tünel ve galeri inşa çalışmaları sırasında alınması gereken güvenlik önlemleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Sorumlu yetkililer, çalışanların tünele kişisel koruyucu donanım olmadan (baret, yelek, iş ayakkabısı, toz maskesi) girmesine izin vermemeli ve işin niteliğine göre diğer kişisel koruyucu donanımlarını (kulaklık, eldiven, emniyet kemeri, gözlük, yüz siperi) kontrol etmelidirler.
2. Tünel ağızlarına uyarı amacıyla konulan iş güvenliği uyarı ikaz levhalarının sürekliliği sağlanmalıdır.
3. Tünel çalışmaları sırasında oluşacak taş düşmeleri, fay kopma ve kaymalarına karşı gerekli tahkimat için uygun ve yeterli malzeme tünel ağzında bulundurulmalıdır. Bunların stok seviyesinin korunması daimi nezaretçi tarafından yürütülür.
4. Bütün yer altı çalışmalarında faylı ve blok düşmesi ihtimali olan yerlerde gerektiğinde tahkimat sistemi yapılır.
5. Tünel ve her türlü yer altı çalışma alanlarının, daimi nezaretçi ve tünel mühendisleri tarafından tavan kontrolü yaptırılır ve gerekli önlemler alınır.
6. Tünel çalışmalarında ateşten sonra en az 15 metre geriden aynaya doğru çatlak kavlak kontrolü yapılır. Bu çalışma gözetleyici ve ışık tutucu olmak üzere en az iki kişi tarafından yapılır.
7. Tünel idaresi tarafından kabul edilen tahkimat sistemi şekli ne olursa olsun herhangi bir arazi hareketi ve basınç artışı dolayısıyla tahkimat gerektiği, yapılmış tahkimatın zayıfladığı ve bozulduğu takdirde tehlike giderilinceye kadar durumun gerektirdiği herhangi bir tahkimat şekli görevlilerce ivedi olarak uygulanır ve şantiye şefliği ile tünel idare kontrolörlüğüne bildirilir.
8. Çalışanların sürekli kullandığı meyilli ve düz galerilerin haftanın belirli günlerine tünel mühendisi veya daimi nezaretçi tarafından görevlendirilecek bir ekip tarafından çatlak ve kavlak kontrolün yaptırılarak yere düşen parçalar ve su kanalları temizletilir ve tahkimat defterine yazılır.
9. Çalışanların ulaşım için kullandıkları tünele ait galerilerde, arazi hareketi ve basınç artışları tespit edildiğinde tünel kontrol teşkilatına ve sürveyanına sözlü ve yazılı olarak bildirilir.
10. Ocakta yapılacak daimi tahkimat; çelik iksa, hasır çelikli shot-create, beton ve betonarme olmalıdır.
11. Yapılacak çelik iksalar arası mesafe aralıkları tünel mühendisi daimi nezaretçi, sorumlu yetkili tarafından tespit edilir ve durum tünel idaresine bildirilir.
12. Her türlü tahkimat, çatlak, kavlak kontrolü için yapılan çalışmalar sonuçları ile birlikte rapor defterine veya tahkimat defterine sorumluları tarafından yazılır.
13. Tünel inşa çalışmalarında hiçbir şekilde tek işçi çalıştırılamaz.
14. İş makineleri olan yükleyiciler personel nakil vasıtası olarak kullanılamaz.
15. Çalışma aralarında ve her türlü duruşlarda yükleyicilerin içerisinde, altında ve yakınında istirahat edilemez.
16. Yer altı çalışmaları ile ilgili bütün işlerde görevli bulunan nezaretçiler (vardiya çavuşu, daimi nezaretçi, tünel mühendisi) görevlendirildikleri iş yerleri ve her türlü işle ilgili makineleri kontrol etmek, işin devamı için bakımlarını yaptırmak, tehlike gördükleri hâllerde tehlike giderilinceye kadar çalışma durdurularak gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamakla yükümlüdürler.
17. Yetki ve sorumlulukları yaptıkları işle sınırlı olan kimseler bunun dışındaki herhangi bir işe, işle ilgili makineye veya bu makinelerle ilgili elektrik ve basınçlı hava hatlarına müdahale edemezler.
18. Tünel içerisinde ve tehlike olması muhtemel yerlerde; yeme-içme, oturma, dinlenme ve uyuma gibi hâl ve hareketlerin yapılması yasaktır.
19. Tünelde çalışan personelin koruyucu malzemelerini kullanmaları, yazılı ve sözlü olarak belirtilen emniyet tedbirlerini almaları zorunludur.
20. Tünel çalışmasında farları yanmayan veya tek farla çalışan yükleyici ve kamyonlar, sorumlusu tarafından ivedi olarak tamir ettirilir. Tamiri yapılmayan makine ve araç gereç kullanılamaz.
21. İş makinesi operatörleri ve kamyon şoförleri tünel içinde, dışında trafik kural ve kaidelerine uymak zorundadırlar. Ehliyetsiz kişilerce kamyon ve iş makinesi kullanılması yasaktır.
22. Her türlü iş makinelerini ve nakliye araçlarını kullananların çalışma anında yeme-içme, başkaları ile konuşma, şakalaşma, kitap veya gazete okuma, direksiyon ve kumanda levyelerini bırakma gibi hareketlerde bulunmaları yasaktır.
23. Nakliye kamyonlarının damperleri kalkık vaziyette hareket ettirilmesi yasaktır.

24. Yükleyici ve nakliye araçlarının tekerlek gibi dönen veya hareket eden parçalarını tutan cıvatalar küçük duruşlarda kontrol edilip gerektiğinde sıkılır ve sıkılaştırır. Lastiklerindeki havanın istenen seviyede olması sağlanır.
25. Yükleyici ve kamyonların operatör ve şoförleri, tünel içerisinde meydana gelen duraklamalardan sonra meydana gelecek tehlikelere karşı makinelerin civarında herhangi bir şahsın veya engelin bulunmadığını, tünel içerisinde kayma, yuvarlanma, çökme gibi bir durum olup olmadığını kontrol ettikten sonra hareket ederler.
26. Yükleyicilerin bomları ani hareket ve kuvvetle karşı karşıya gelecek şekilde kullanılamaz.
27. Her ne sebeple olursa olsun yükleyiciyi terk etmek isteyen operatörler yükleyicinin kovasını yere indirmeden, kontrol levyelerini stop duruma getirmeden, frenlerini sıkmadan, gerekli emniyet tedbirlerini almadan yükleyiciyi terk edemezler. Aynı şekilde şoförler de araçları bulundukları yerin durumuna göre uygun şekilde park etmeden kamyonlarını terk edemezler.
28. Yükleme sırasında kamyon şoförleri araçlarını terk edemezler.
29. Yükleme araçları ve kamyonlar çalışılan yerin durumuna uygun emniyet sınırları içerisinde bir hızdan fazla hız yapamazlar.
30. Dışarıdan asılmak suretiyle nakliye araçlarına binmek yasaktır. Bu husus şoförlerin denetimi altındadır.
31. Operatörler ve şoförler söz konusu yukarıdaki talimatlar ve ehliyetleri gereği lüzumlu kontrolleri yapmadan hareket etmezler.
32. Pasa döküm alanının yolun en virajlı kesiminde bulunmasından dolayı yolun sağına geçip trafiği kontrol etmeden, işaretçilerin verdiği uyarıya göre en kısa mesafede yolun karşısına geçerek döküm alanına girerler.
33. Çalışma vardiyaları değişimi tünel içerisinde, çalışma aynasında yapılır.

5.5.2. Tünel ve Tünel Galerilerinin Güvenli İnşası

Tünel kazısı, iksa, kaplama işleri sırasında ve sonrasında tünelin kaplamasına daha fazla basınç gelmesi, tünel tabanında basınç etkisiyle kabarma oluşması, tünelin üstündeki zemin yüzeyinde ve bu zemine oturan yapılarda çatlama ve çökmelerin meydana gelmesi gibi olumsuz durumlarla karşılaşılmaması için zemin özelliklerinin tespitinde ve projelendirmede eksiklik olmamasına özen gösterilir. Tünel inşaatında, güzergâh istikametinde olabilecek hata ve düzeltmelerden, ani su boşalması ve grizu olmasından meydana gelecek zarar ve ziyan, tünel inşaatında herhangi bir başarısızlık, hasar, neticenin istenen kaliteden düşük olmasının sorumluluğu yüklenicilere aittir. Yüklenici, tünel inşaatında çalıştıracağı işe göre kalifiye işçi ve teknik personelin yeterliliğinden, zehirli gaz ve iş kazalarına karşı gerekli güvenlik tedbirlerinin alınmasından, inşaatın güvenli şekilde yapılmasından sorumludur. Tünel başlangıcına kadar gerekli yarma kazıları ve güvenlik tedbirleri tamamlanarak tünel kazı ve iksa işlerine başlanır.

Tünel kazı ve iksa işleri ilerledikçe tünel ekseninin taban zeminine tatbiki ve nivelman işleri ile inşaat işlerinin doğruluğunun kontrolü için aliyman kısımlarda 20 metre, kurplarda 10 metre ara ile gerekli kazık çakılarak röperlere bağlanır. Tünel açılacak zeminin tespit olunmuş durumuna göre uygun inşa sistemi uygulanır ve seçilen sisteme uygun en iyi el ve mekanik aletler ile araçları kullanılır. Buna göre sağlam ve aktif itki vermeyen kaya zeminde Belçika Yöntemi kullanılır. İçine tünel açılacak zeminin genel stabilitesinden şüphe edilen ve aktif itki veren yerlerde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi kullanılır. Taşıma gücü çok düşük ve akıcı zeminlerde İtalyan sistemi veya idarenin uygun göreceği özel sistemler kullanılabilir. Tünel inşası devam ederken gerek zeminin cinsi ve özellikleri bakımından ve gerekse inşaatın hızlandırılması için idare lüzum görerek sistemin değiştirilmesini, tünele diğer uçtan ve ortadan baca veya yan galeriden girilerek tünel inşaatına devam edilmesini isterse yüklenici bu şartlara uymak zorundadır.

Tünel kaplamasına lüzum görülmeyen sağlam zemini olan kısımlarda kazı 35-50 cm kaplama olacağı kabulü ile yapılır. Yüklenici, tünel kazısı ile oluşan iç kesitin mümkün olduğu kadar düzgün bir şekil alması için kazıya özen göstermeli ve patlatmalı kazıda bunun gerçekleşmesini temin açısından lağım deliği sayısının fazla ve derinliğinin az olması kuralına dikkat ederek uygun teknolojiler kullanmalıdır. Tünel kazısıyla oluşan iç kesit yüzeyinin tünelde yapılacak iksa ve kaplama kalınlıkları, varsa birim fiyat tarifelerindeki kazı ve ödeme hattı ölçü şartları dikkate alınır ve eksenden uzaklıkları önceden belirlendiği gibi yapılır. Kazı sırasında oluşan erime boşlukları, mağara ve önemli aralıkları bulunan çatlaklarda rölöveye dayalı olarak ve idarenin onayı ile gereken güvenlik imalatları yaptırılır.

Tünel ve yarma kazı malzemesinin inşaatın dolgularında kullanılması esas olup artan kazı malzemesi tesise zarar vermeyecek yerlerde depolanır. Tünel ve yarma kazı malzemelerinin taşıma işleri temel dışında varsa Brükner eğrisine, bu mümkün olmuyorsa idarenin talimatına göre düzenlenir. Tünel kazısı sırasında rastlanılacak maden cevheri vb. kıymetli eserler idarenin göstereceği yerde depo edilerek tutanakla teslim edilir.

Zemin özelliklerine uygun olarak projesinde belirlenmiş kazı ve iksa sistemleri gereği, iksa tatbiki gereken kısımlarda kazı aynasının mevcut iksa kaburgasından itibaren güvenli kabul edilen uzaklığa erişince araya bir iksa kaburgası yerleştirilecek şekilde tedbir alınır. Gecikmeden gerekli bağlantı ve ankrajlar yapılacak kazı iç yüzeyi ile iksa tam olarak temas ettirilip yük alabilmesi sağlanır. İksa elemanlarının tünel kaplama kalınlığının azaltıcı şekilde olmaması nedeniyle bu durum yerleştirme, birleştirme ve ankraj işlemleri sırasında alınan tedbirlerle giderilir. İksa arkasında boşluk kalan yerler, üniform yüklenmeyi sağlamak için uygun beton veya kâgir imalatla doldurulur. Boyuna bağlantı kuşakları da kaburga şeklinde yapılmadıkça devam ettirilir.

İksa uygulaması yapılacak kısımlarda zorunluluk hâlinde donatılı ve donatısız, ankrajlı veya ankrajsız püskürtme betonla sabitleştirmeler de yapılır. İksanın çelik malzemeden yapılması tercih edilir. Önce kazı yapılıp arkasından iksa tatbikine zeminin taşıma gücü yeterli olamıyorsa önce zeminin uygun malzeme enjeksiyonuyla takviyesi uygun teknoloji ve yöntem seçilerek yapılacak bu enjeksiyonlu zemin içerisinde tünel kazısı ve iksa işleri yapılır. İksa gerektirmeyecek derecede sağlam kaya kesimlerinde idarenin izni ile iksa uygulaması yapılmayabilir. Bu tür yerlerde, gerekmesi hâlinde, püskürtme betonlu sabitleştirmeler yer yer yapılabilir. Ayrıca içine tünel açılan kayaçların jeolojik ve mekanik özellikleri, hava ile temas sonucu veya sızıntı sularının etkisiyle bozulup dökülme ve çökmeler yapabileceği durumlarda, tünel kaplamasının hemen yapılması mümkün değilse iksa veya püskürtme beton yapımı seçenekleri uygulanabilir.

İksa işlerinde, tünelde eksene dik yönlerde, uygulanacak enjeksiyon veya drenajlar için projesine göre barbakan yerleri bırakılır. Tünel ve galerilerin kaplama yapılacak bölümü ile tünel kazısının devam ettiği bölüm arasındaki uzaklık; kazının en kesit üst yarısı ile alt yarısında yapılması hâllerinde 200 m'den, tam kesitte yapılması hâlinde 400 m'den veya idarenin zemin özelliklerine bağlı olarak vereceği ölçüden fazla olmayacak şekilde yapılır.

Tünel ve galerilerin en az 25 m'lik bir kısmı kontrol mühendisince incelenip uygun görülmedikçe kaplama inşasına başlanamaz. Yapılan inceleme sırasında açılmış tünel kısmı, proje eksen kazıklarına ve röperlerine göre kontrolü yapılarak rölövesi çıkarılır. Kazı yüzeylerinde kaplama içinde kalabilecek fazlalıklar ile zararlı ve yerinden oynamış parçalardan temizlenerek durum tutanak altına alınır.

Tünel kaplama anoları, kemer imalatının birbirini takip ederek ve hiçbir şekilde ara vermeden yapılması şarttır. Birbirini takip eden anoların uzunlukları zemin cinsine göre 3-10 m olmalıdır. Anolar arasında 2-4 cm derz bırakılmalı ve tünelin kullanım amacına göre gerekli olması hâlinde uygun derz bağlantıları yapılmalıdır. Kaplamanın kenar ayak imalatı da kemerlerde olduğu gibi tünelin açılmış yüzlerinde şişkinlik, kayma, çökme ve dağılmasına meydan vermemek için hızla yapılmalıdır.

Tünelin kemer ve ayak imalatının zeminle arada boşluk bırakılmadan tamamıyla sıkıştırılmış şekilde teması sağlanmalıdır. Boşluk kalan yerler, sağlam ve dengeli zeminlerde sıkıştırılmış harçlı veya kuru kâgirle, taşıma gücü düşük ve dengesiz zeminlerde ise özel ekipmanlarıyla üç atmosfer basınçlı, uygun kıvamda beton enjekte edilerek doldurulmalıdır.

Projesinde belirlenmiş tünel kaplama kalınlığının yeterliliği, kaplama imalatı yapılırken karşılaşılmış zemin özelliklerine göre kontrollükçe tahkik edilir, gerekirse idarenin onayı sağlanarak kaplama yapılır. İksanın kaplama kalınlığını azaltacak konumda olmaması için tedbir alınır.

Tünel ve galerilerinin en kesit büyüklüklerine bağlı olarak zeminden gelecek yüklerin standartlarına göre taşıma gücü yeterli bulunacak beton, betonarme, doğal taş ve beton taş kâgir cinsi kaplamalarla taşınması sağlanmalıdır. Kaplama imalatlarının zemin ve zemin suyunun zararlı etkilerine karşı gerekli tespitler yapılarak zarar önleyici tedbirler alınmalıdır.

Kaplama imalatları idarenin ayrıntılı teknik şartnamelerine göre yapılır. Tünel kemer kısmının betonu her iki tarafa eşit yük gelecek şekilde ve ara vermeden sürekli olarak dökülür. Demir imalatların korozyona karşı korunmasına uygun kalitelerde beton dökülmelidir. Kaplama yapılırken projesine göre gereken enjeksiyon ve drenaj delikleri detayına uygun olarak bırakılır. Zorunluluk hâlinde tünel kaplamasına gelen zemin basıncının azaltılması ve uygun kemerlenmeyi temin için projesi doğrultusunda enjeksiyonla zemin takviyesi yapılır.

Sızıntı sularının kaplama imalatına girişini ve zararlı olmasını veya basınç yaparak yüklemesini önlemek için tünel kaplamasının dış yüzeyine (zeminle temasta olan yüz) uygun malzeme kullanılarak su yalıtımı, sızıntıları toplayarak tünel tabanında tertiplenecek kanala indirebilecek toplama drenajları, projesine uygun olarak ve uygun malzeme ile yaptırılır. Ayrıca olabilecek su basıncının düşürülmesi için tünel eksenine dik yönde, kaplamadan dışa doğru yatay ve eğik drenler de yapılabilir. Ancak bu tür drenlerde gelen suların tünel içine girdiği noktadan tabandaki su kanalına yönlendirilmesi gerekir.

Tünel tabanında toplanan sular uygun kesitte ve beton kaplamalı bir kanal ile tünel dışına akıtılır. Bu kanal üzerinde uygun aralıklarla çökelme çukurları yapılır. Tünelin aydınlatma ve havalandırma tesisatları elektrik, mekanik ve metal aksamları ıslanmaya ve rutubetlenmeye karşı korunmuş olacaktır. Kaplama yapıldıktan sonra tünelin normal iç gabarisinde daralma veya şekil değiştirme olmaması için yüklenici gerekli önlemleri alır. Kaplaması yapılmış bölümlerde tünel gabarisi geçirilerek tünel boşluğunun projesine uygunluğu kontrol edilir. Tünel iç yüz eğrisinde hiçbir değişiklik, tünel boşluğunda tünel eksenine göre eninde ve yüksekliğinde 5 cm'den fazla daralma kabul edilmez.

5.5.3. Tünel Galeri ve Tünel Güvenlik Yollarının Belirlenmesi

Tünellerin işletme amacına uygun olarak bakım-onarım, kurtarma ve diğer ihtiyaçlara cevap verecek ünitelerin tünel projesinde yerleri, boyutları, kullanım ve güvenlik ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde dışa çıkış galerileri, baca ve merdivenleri; tünelin kazı, iksa, kaplama inşaatı sırasında birlikte yapılır.

İnşa sırasında zemin durumunun elverişsiz olması durumunda proje değişikliği ve koruma hücre yerleri yetkili idarece değiştirilebilir. Tünellerin işletilmesi sırasında yangın, su baskınları vb. afetler karşısında insanların güvenli bir şekilde tünel yapısını terk etmeleri için gerekli güvenli acil çıkış yolları ve güvenlik galerileri projesine uygun olarak yapılır (Resim 5.23).

Resim 5.23: Tünel güvenlik ve acil durum çıkış galerisi

Tünellerin işletilmesinde dikkat edilecek hususlarla ilgili "Trans-Avrupa Karayolu Tünellerinde Minimum Güvenlik Kriterleri" yayımlanmıştır. AB tarafından hazırlamış olan karayolu tünellerine ilişkin güvenlik direktiflerinin amacı güvenliği sağlamak için minimum teknik gereklerin, işletme yönetim ve örgüt yapısının tanımlanmasını içermektedir. Trans-Avrupa Karayolu Tünellerinde Minimum Güvenlik Kriterlerinde; teknik gerekler tüp sayısı, eğim, yaya yolları, acil çıkışlar, acil servisler, cepler ve yapının yangına dayanıklılığına kadar yapısal özellikler ile aydınlatma, güvenlik aydınlatması, havalandırma, acil durum istasyonları, su temini, işaretlemeler ve kontrol merkezi konularını kapsamaktadır. 100 m'den daha küçük aralıklarla taşıt garajları oluşturmalıdır. Havalandırma, 1000 m'den uzun ve trafiği şerit başına 2000 taşıtı geçen tünellerde mekanik olarak sağlanmalıdır.

Ayrıca iki yönlü tünellerde, tek yönlü ve tıkanan tünellerde boyuna yönde değil enine yönde havalandırma sağlanmalıdır. Güvenlik çıkışlarında her 100 m'de bir ışıklandırma ve 25 m'de bir işaret tabelaları bulunmalıdır. Trans-Avrupa Karayolu Tünellerinde Minimum Güvenlik Kriterleri; tasarım aşamasından yapıma, işletmeye, olaylara müdahale etmeye, kriterlere uyulup uyulmadığının denetlenmesini içerir. Ayrıca tünel işletme yönetimiyle ilgili olarak yönetim otoritesi, tünel yöneticisi, güvenlik sorumlusu, denetim (test) kurumu gibi bir örgüt yapısı oluşturulması durumlarını içermektedir. Tünellerinin güvenli, konforlu ve verimli bir şekilde işletilmesini sağlamak amacıyla bir gözlem ve kontrol merkezi oluşturulur. Tünellerin 7/24 dinamik bir şekilde gözlem, kontrol ve yönetimini sağlamak amacıyla Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) sunmuş olduğu bütün olanaklardan yararlanılır.

Karayolu, metro ve demiryolu tünellerinde, güvenli kullanımı ve işletilebilmesi için tesis edilen yapısal önlemler ve akıllı ulaşım sistemlerine ait bileşenler aşağıda açıklanmıştır.

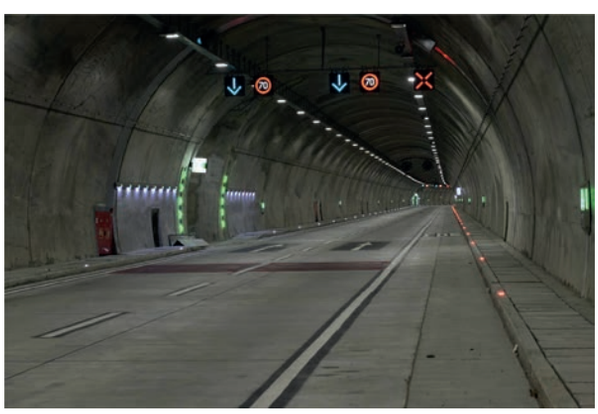
Tünel Aydınlatma ve Aydınlatma Kontrol Sistemleri: Gün ışığına adapte olan insan gözünün, karanlık bir ortama (tünele) girilmesi sırasında meydana gelen kısmi körlük etkisini gidermek, tünel içerisindeki nesnelerin uzak mesafelerden algılanabilmelerini sağlamak amacıyla tünellerde aydınlatma sistemleri tesis edilir.

Gün içinde değişen ışık şiddetine bağlı olarak aydınlatma sistemi kendi kademesini otomatik olarak belirlemektedir. Bu da tünel giriş ve çıkışlarında oluşabilecek geçici körlükleri engellemektedir (Resim 5.24).

Resim 5.24: Tünelde aydınlatma

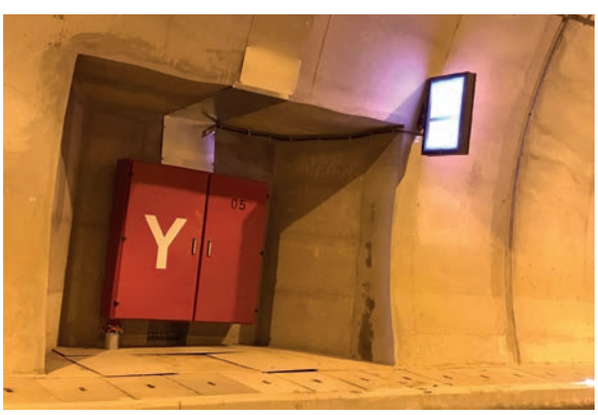
Acil Durum Çıkış Sistemleri: Işıklarla ve işaretlerle net bir şekilde gösterilmiştir. Yangın durumunda sürücülerin aracını derhal terk ederek acil çıkışı gösteren ışıkları takip etmesi gerekmektedir. Acil çıkışlarda yanmaz ve duman geçirmez kapılar vardır (Resim 5.25, Resim 5.26).

Resim 5.25: Tünel acil çıkış yön levhası



Resim 5.26: Tünel acil çıkış ışıklandırması, hız uyarı levhaları, yön işaretleri ve aydınlatma

Sulu Yangın Söndürme Sistemleri: Tünel içinde belirli aralıklara ulusal/uluslararası standartlara uygun şekilde bir yangınla mücadele dolapları tesis edilir. Bu dolaplarda yangın tüpü, itfaiye bağlantı ağzı ve standartlara uygun uzunluk ve özelliklerde hortumlar bulunur (Resim 5.27).



Resim 5.27: Tünelde sulu yangın söndürme dolabı

Trafik Kontrol Sistemleri: Trafik kontrol sistemleri ile tünel ve tünel yaklaşım yollarındaki sürücülere hız limitleri, plaka okuma sistemleri, şerit kullanım bilgileri ve yönlendirmeler hakkında bilgi verilir. Tünele yüksekliği izin verilen sınırdan yüksek bir taşıt geldiğinde araç sistem tarafından otomatik olarak algılanır. Ayrıca tünel dışında sürücüleri bilgilendirmek amacıyla değişken mesaj sistemleri de kullanılır.

Emniyet Şeritleri: Taşıtların seyirleri sırasında meydana gelebilecek kaza, teknik veya mekanik arıza ve benzeri durumlarda trafik akışını aksatmadan emniyetli bir şekilde gerekli yardım ve destek hizmetini beklemek veya almak amacı ile kullanılır.

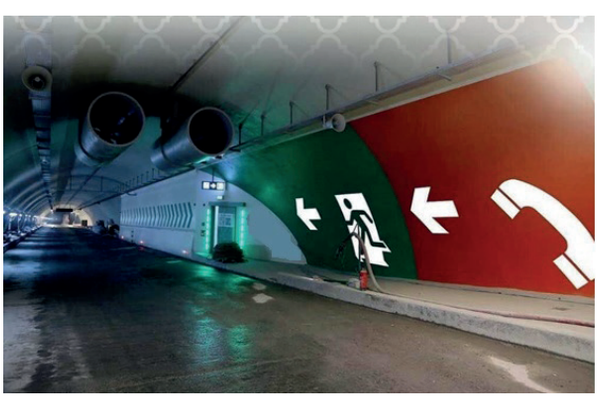
Tünel Radyo ve Telsiz Sistemleri: Radyo sistemi ile tünel içerisine çok sayıda kanaldan yayın yapılır. Bu yayınlarda sürücülere tünel sistemleri ve ekipmanları ile ilgili bilgi verilir. Tünellerde bulunan telsiz sistemi de acil durum ekiplerinin haberleşmesi amacı ile tesis edilir.

Tünel Havalandırma ve Havalandırma Kontrol Sistemleri: Tünel gibi kapalı yapılarda araçlardan salınan karbonmonoksit vb. gazların konsantrasyonunun azaltılması ve tozdan kaynaklı görüş mesafesinin azalmasını önlemek için tünellerde havalandırma sistemleri tesis edilir. Tünel içinde karbonmonoksit ve toz partikül seviyeleri anlık olarak ölçülür. Bu ölçümler bilgisayar yazılımı tarafından değerlendirilir ve belirli sınır değerlere yaklaşıldığında fanlar devreye otomatik olarak girer. Ayrıca tünel içinde bulunan jetfanlar ile yangın esnasında oluşacak dumanın tahliyesi gerçekleştirir.

Kapalı Devre Kamera Sistemleri: Tüneller, tünel işletim merkezindeki operatörler tarafından trafik kameralarıyla 7/24 izlenerek kontrol edilir. Tünel içinde bulunan olay algılama sistemi ile yangın, kaza, duman, yaya vb. tespiti yapılabilmektedir.

Kamu Anons Sistemi: Güvenliğinizi sağlamak için düzenli aralıklarla yerleştirilir. Acil durumlarda tünel içerisine anons yapılabilmektedir.

Acil Durum İstasyonları ve Güvenli Geçiş Yolları: Tünellerde olası bir acil durumda kullanılmak üzere düzenli aralıklarla acil durum istasyonları, çıkış ve geçiş güvenlik yolları yer alır. Bu istasyonlarda tünel işletim merkezi bağlantılı bir acil durum telefonu, yangın söndürücüler ve bir alarm düğmesi yer alır (Resim 5.28, Resim 5.29).



Resim 5.28: Acil durum telefonu ve acil çıkış yönlerini gösteren işaretler

Resim 5.29: Tünellerde enine çıkış ve güvenli geçiş yolu

Enerji Temini, Besleme ve Dağıtım Sistemleri: Tünel sistemlerinin kesintisiz bir şekilde çalışmasının sürekliliğini sağlamak amacıyla tünellerde jeneratörler ve kesintisiz güç kaynakları tesis edilir.

SIRA SİZDE

Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'ne göre kazı işleri, kuyular, yer altı işleri ile tünel ve kanal çalışmalarında hangi hususlara dikkat edilmelidir? Aşağıda verilen boşluğa yazınız.

5.6 UYGULAMA

3 (3) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TÜNEL GALERİLERİ VE TÜNELLERDE GÜVENLİK YOLLARI

Bu çalışmanın amacı, tünel galerileri ve tünellerde güvenlik yollarının incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Tünel galerileri ve tünellerde güvenlik yollarının incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetimi ve rehberliğinde **uygulama ödevi** şeklinde yerine getiriniz.

Verilenler

2007 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Bolu Tüneli.

İstenenler

2007 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Bolu Tüneli galerilerinde ve tünelde, yapım sırasında ve işletmeye alınması kapsamında alınan güvenlik önlemlerini tespit ediniz. Tünel galerilerinde ve tünelde, yapım sırasında ve işletmeye alınması kapsamında alınan güvenlik önlemlerine ait raporu hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda resmi kurum, kuruluşların ve üniversitelerin kaynaklarından yararlanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızda rapor hazırlama kurallarına dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri tespit edilir.
2. Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında tünel kazı güvenliği kapsamında alınan tedbirler incelenir.
3. Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında aydınlatma ve havalandırma kapsamında alınan güvenlik tedbirleri incelenir.
4. Bolu Tüneli tünel kontrol merkezi sistemleri incelenir.
5. Bolu Tüneli şüpheli araç takibi ve hız ihlali plaka okuma sistemi incelenir.
6. Bolu Tüneli aydınlatma ve aydınlatma kontrol sistemleri incelenir.
7. Bolu Tüneli acil durum çıkış sistemleri incelenir.
8. Bolu Tüneli yangın söndürme sistemleri incelenir.
9. Bolu Tüneli trafik kontrol sistemleri incelenir.
10. Bolu Tüneli emniyet şeritleri incelenir.
11. Bolu Tüneli buzlanmayı önleyici emniyet tedbirleri incelenir.
12. Bolu Tüneli sis uyarı sistemleri incelenir.
13. Bolu Tüneli radyo ve telsiz gibi haberleşme sistemleri incelenir.
14. Bolu Tüneli havalandırma kontrol sistemleri incelenir.
15. Bolu Tüneli kapalı devre kamera ve anons sistemleri incelenir.
16. Bolu Tüneli acil durum istasyonları ve güvenli geçiş yolları incelenir.
17. Bolu Tüneli enerji besleme ve dağıtım sistemleri incelenir.
18. Bolu Tüneli inşası sırasında ve işletmeye alınması kapsamında alınan güvenlik tedbirlerini içeren rapor hazırlanır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini tespit ettiniz mi?		
2	Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında tünel kazı güvenliği kapsamında alınan tedbirleri incelediniz mi?		
3	Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında aydınlatma ve havalandırma kapsamında alınan güvenlik tedbirlerini incelediniz mi?		
4	Bolu Tüneli tünel kontrol merkezi sistemlerini incelediniz mi?		
5	Bolu Tüneli şüpheli araç takibi ve hız ihlali plaka okuma sistemini incelediniz mi?		
6	Bolu Tüneli aydınlatma ve aydınlatma kontrol sistemlerini incelediniz mi?		
7	Bolu Tüneli acil durum çıkış sistemlerini incelediniz mi?		
8	Bolu Tüneli yangın söndürme sistemlerini incelediniz mi?		
9	Bolu Tüneli trafik kontrol sistemlerini incelediniz mi?		
10	Bolu Tüneli emniyet şeritlerini incelediniz mi?		
11	Bolu Tüneli buzlanmayı önleyici emniyet tedbirlerini incelediniz mi?		
12	Bolu Tüneli sis uyarı sistemlerini incelediniz mi?		
13	Bolu Tüneli radyo ve telsiz gibi haberleşme sistemlerini incelediniz mi?		
14	Bolu Tüneli havalandırma kontrol sistemlerini incelediniz mi?		
15	Bolu Tüneli kapalı devre kamera ve anons sistemlerini incelediniz mi?		
16	Bolu Tüneli acil durum istasyonları ve güvenli geçiş yollarını incelediniz mi?		
17	Bolu Tüneli enerji besleme ve dağıtım sistemlerini incelediniz mi?		
18	Bolu Tüneli inşası sırasında ve işletmeye alınması kapsamında alınan güvenlik tedbirlerini içeren raporu hazırladınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Tünellerde kullanılan havalandırma sistemlerini inceleyiniz ve bunları sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

5.7. TÜNELLERDE HAVALANDIRMA

Uzunluğu 300 metreyi geçen tünellerin inşası için havalandırma tesisatı yapılması zorunludur. Vardiyalı olarak sürekli çalışılan, uzunluğu daha az tünellerde havalandırma yapılması zorunlu olmamakla birlikte yapılması önerilmektedir. Havalandırma tesisatının tünelde kazı aynası önünde çalışan personelin sağlığı açısından yeterli havayı, kazı ve patlatmalarda oluşan tozlar ile akaryakıtlı makinelerin kirletici zararlı gazlarını uzaklaştıracak kapasitede ve sağlayacak güçte olması şarttır.

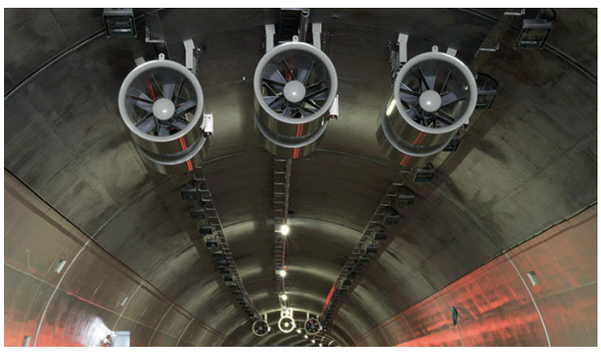
Ayrıca tünellerde işçi sağlığı ve güvenliği ile ilgili yönetmelik ve şartnamelere uyulması zorunludur. Havalandırma tesisatı projesine uygun şekilde arıza, zehirli gaz, beklenmedik aşırı sıcaklıklarla karşılaşılması hâllerine göre havalandırma kapasitesinin artırılması tedbirleri alınmalı ve yedek ekipman bulundurulmalıdır. Havalandırma yapılan tünellerde aydınlatma elektrikli yapılır. Galeri kısımlarında ise diğer aydınlatma araçları kullanılabilir.

5.7.1. Tünel Havalandırmaları

Tünellerin inşası sırasında kullanılan makinelerin ürettiği kirliliği azaltmak, gereken taze havayı sağlamak ve çalışanlara güvenli bir çalışma ortamı sağlamak için havalandırma sistemi yapılır (Resim 5.30).

Resim 5.30: Kop Dağı Tüneli inşa çalışmaları sırasında havalandırma sistemi

Karayollarında tünellerin güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için uluslararası standartlarda, belirtilen şartlara uygun günlük ve acil durum (yangın durumu) havalandırmasını sağlayacak sistemler kurulur. Bu havalandırma sistemleri, günlük havalandırmada tüneli kullanan araçların zehirli egzoz gazlarının tünel içerisinden uzaklaştırılması için kullanılırken acil durumda yangın sebebiyle oluşacak dumanı ve sıcak havanın tahliyesini sağlar (Resim 5.31, Resim 5.32).

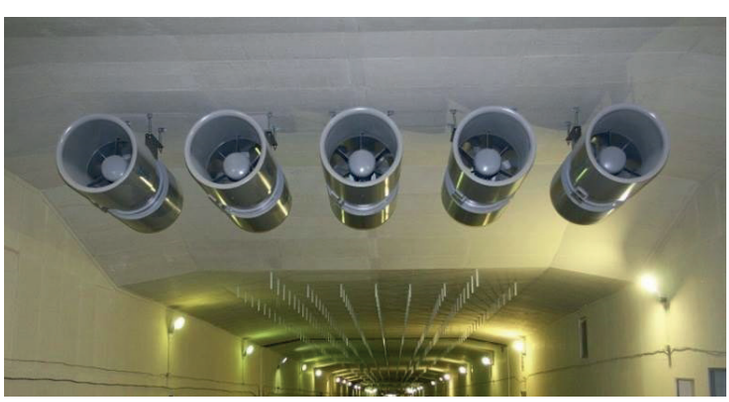


Resim 5.31: Karayolu tünellerinde jet fan havalandırma sistemi

Resim 5.32: Tünellerde aksiyal havalandırma sistemi

Tren, metro vb. raylı sistemlerin istasyon/tünel içerisinde hareketsiz kalarak yanma vb. durumlarda, yolcuların en kısa zamanda tahliyesine ve güvenli bir bölgeye ulaşmalarının sağlanması tünellerde acil durum olarak tanımlanır.

Acil durumlarda, yer altı toplu taşıma sistemlerine bağlı olan tünel havalandırma fanları devreye girerek hem dumanın tahliyesini, istasyonun/tünelin soğutulmasını hem de dumanı belirli bir yöne iterek yangına müdahale edecek itfaiyeye ve kaçan yolculara dumansız temiz bir alan olanağı sağlamalıdır. Başka bir ifadeyle yer altı toplu taşıma sistemlerinde yer alan acil durum havalandırma sistemleri, bir yangın durumunda istasyon içerisinde yayılan sıcak ve zehirli gazları bir yönde sürerek diğer öngörülen fanların kapasiteleri de istasyon ve tünel içerisinde sağlaması gereken hava hızlarını sağlayacak şekilde seçilmelidir (Resim 5.33).



Resim 5.33: Metro ve demiryolu tünellerinde jet fan havalandırma sistemi

5.7.2. Tünel Havalandırma Planlaması

Tünel işlerinin uygunluğu projesine göre tünelin kazı, enjeksiyon, iksa ve kaplaması, güzergahın zemine tatbiki, deformasyon ve hareketlerin, yanıcı ve zehirleyici gazlar ile tozların ve gürültünün ölçümü ve havalandırma işlerinde deneyimli ve bilgi birikimi olan mühendislerin sorumluluğu ve denetimi tedbirleri, yer altı inşaatıyla ilgili iş güvenliği ve işçi sağlığı tüzük ve yönetmelik tedbirleri, makine kullanımında özel güvenlik tedbirleri, ilgili standart ve şartnamelerle belirlenmiş projelendirme ve uygulama tedbirleri, ilgili Türk ve/veya Avrupa Birliği standartları ile getirilen tedbirler çerçevesinde değerlendirilir.

Tünel içerisinde kaza veya farklı bir sebeple oluşacak bir araç yangını durumunda ortaya çıkan sıcak dumanın tünelden tahliye edilmesi ve insan hayatını tehlikeye atmayacak hava koşullarının sağlanması amaçları ile yapılan havalandırmaya ise **acil durum havalandırması** adı verilir. Karayolları tünellerinin havalandırması hem doğal havalandırma hem de tünel havalandırma fanları kullanılması yolu ile mekanik sistemlerle yapılabilir. Bu yöntemlerden hangisinin tercih edileceği çeşitli ülkelerin yayınlamış olduğu standart ve yönergelerde farklılık göstermektedir.

Karayolları tünellerinde mekanik havalandırma farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Mekanik havalandırma yöntemlerini boyuna havalandırma, yarı enine havalandırma ve enine havalandırma olmak üzere 3 ana grupta toplanabilir (Resim 5.34).

Resim 5.34: Karayolu tünellerinde jet fan havalandırma sistemi

1. Boyuna Havalandırma: Tünel boyunca üniform bir akış sağlanması yolu ile gerçekleştirilen bir havalandırma yöntemidir. Özellikle tek yönlü tünellerde daha etkin olmaktadır.

Boyuna havalandırma aşağıda verilen dört şekilde uygulanmaktadır.

Taze hava enjekte etme, tünelin bir ucundan şaftlar vasıtasıyla tünel içerisine taze hava enjekte edilmesi metoduna göre yapılan havalandırmadır.

Fan ile duman tahliyesi, tünel ortasından bir şaft vasıtasıyla duman tahliyesi metoduna göre yapılan havalandırmadır.

Jet fan kullanımı, tünel boyunca yerleştirilmiş jet fanlar kullanılması metoduna göre yapılan havalandırmadır.

İki şaft ve jet enjekte, taze hava şaftı vasıtasıyla tünelin bir bölgesine taze hava basılıp tünelin bir girişinden egzoz yapılması ve tünelin diğer bölgesinden egzoz şaftı vasıtasıyla tahliye yapılıp tünelin bir girişinden taze hava temin edilmesi metoduna göre yapılan havalandırmadır.

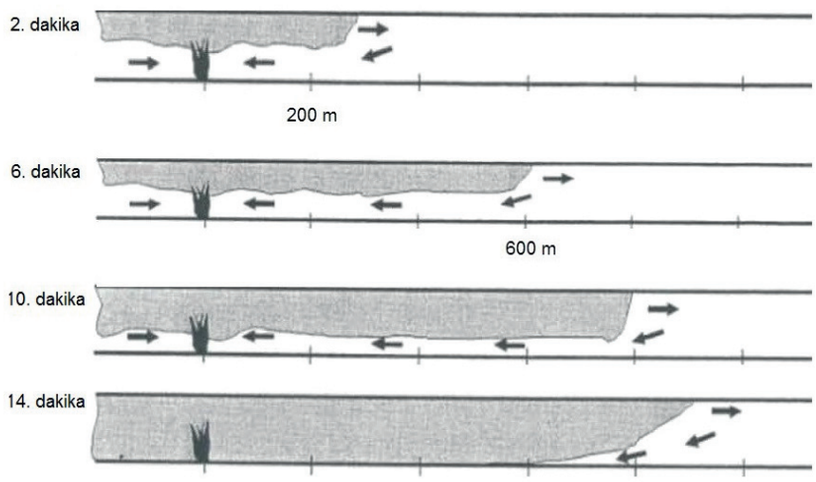
2. Yarı Enine Havalandırma: Yarı enine havalandırma, taze hava şaftı veya duman egzoz şaftı ile tasarlanabilir. Bu sistemde fanlar vasıtasıyla tünele taze hava verilmesi veya duman egzozu yapılması, tünel boyunca homojen olarak yapılmaktadır.

3. Enine Havalandırma: Bu sistemde hem taze hava şaftı hem de egzoz şaftı bulunmaktadır. Tünel boyunca taze hava kanalı vasıtasıyla tünele taze hava verilirken egzoz kanalı vasıtasıyla tünel içinde duman tahliye edilmektedir. Böylece tünel boyunca homojen basınç dağılımı sağlanmış olup piston etkisi dışında tünelde boylamasına hava akışı gerçekleşmez.

Acil durum havalandırması yapılırken öncelikle tünel içerisinde oluşabilecek yangının büyüklüğüne karar verilmelidir. Belirlenen yangın yükü, tünel geometri özellikleri, hava koşul değerleri vb. değerleri kullanılarak bir kritik hız hesabı yapılmaktadır. Kritik hızın belirlenmesinin amacı, tünel içerisinde yangın çıkması durumunda dumanın hava akış yönünün tersine hareket etmesinin (geri katmanlaşmanın) engellenmek istenmesidir.

Mekanik havalandırma sistemlerinde temel amaç, yangın bölgesinde oluşan dumanın fan kullanılarak uzaklaştırılması prensibine dayanır. Boyuna mekanik havalandırma sisteminde tünel bir hava kanalı olarak kullanılır ve havalandırma sistemi için ayrıca bir boşluk bırakılmaz. Havalandırma ya tünel boyunca döşenen jet fanlar ya da tünel dışına kurulan bacalara bağlanan fanlar kullanılarak yapılır.

Tünellerde doğal havalandırma sonucundaki duman katmanı modellemesi 4 m^2 petrol yangını için 2. dakika ile 14. dakika arasında meydana gelen durum modellemesi Şekil 5.37'de verilmiştir.



Şekil 5.37: Tünellerde doğal havalandırma sonucundaki duman katmanı modellemesi

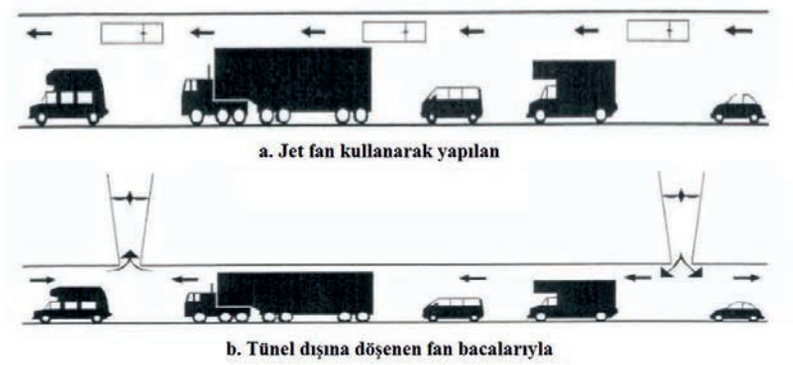
Tünel boyunca döşenen jet fanlarla etkili bir havalandırma yapılmak istendiğinde jet fanlar tünel portal ağızlarından en az 80-100 metre içeri yerleştirilmelidir. Jet fanlar arasındaki mesafeler birbirinin akışını etkilemeyecek şekilde yerleştirilmelidir.

Tünelde yangın çıkması durumunda yangın sonucu oluşan duman bu sistemle bir yöne doğru yönlendirilerek hattın diğer tarafında dumansız bir bölge oluşturulur. Jet fan tipi havalandırma fanlarının yerleştirilmesi için bir yapı yapılmasına ihtiyaç duyulmaz. Jet fanların montajı kolay ve maliyeti daha azdır. Ancak jet fanların montajı için tünel yapısının yüksekliğinin ve genişliğinin uygun olması gereklidir. Çok sayıda jet fan kullanılması bakım ve işletme maliyetlerini arttırır. Jet fanların havalandırma için kullanılması tünel uzunluğu ve trafiğin tek veya çift yönlü olmasına göre farklılık gösterir.

SIRA SİZDE

Tünellerde enine havalandırma çeşitlerini yazarak aşağıda verilen boşluğa yazınız ve açıklayınız.

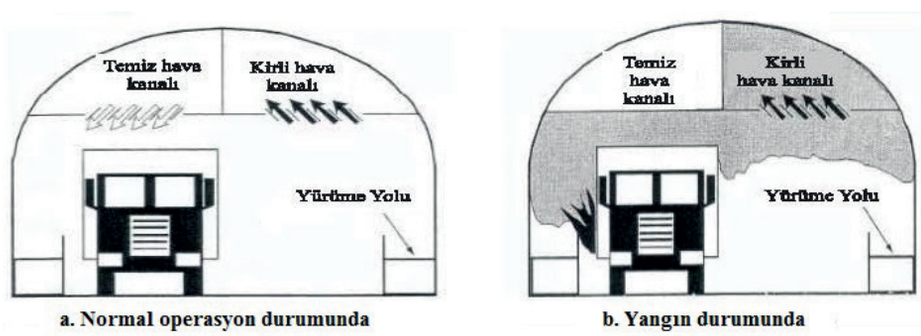
Yer altı raylı toplu taşıma sistemlerinde kullanılan acil havalandırma sistemleri, genellikle basma çekme prensibini kullanarak boyuna havalandırma şeklinde duman tahliyesini sağlar. Basma çekme prensibinde yangının bir tarafındaki istasyonda veya tünelde bulunan acil durum havalandırma fanları emme, diğer taraftaki fanlar ise basma durumunda çalıştırılır. Tünel yangınlarında dumanı istenen yönde tahliye edebilmek ve insanlara güvenli bir kaçış yönü sağlamak amacıyla istasyonların çevresinde yer alan acil durum havalandırma fanları kullanılır [Şekil 5.38(a, b), Şekil 5.39(a, b)]



Şekil 5.38(a, b): Boyuna havalandırma sistemleri modellemesi

Şekil 5.39(a, b): Yangın durumunda boyuna havalandırma sistemleri modellemesi

Tam dikine havalandırma sistemi tünel boyunca montajı yapılan iki farklı havalandırma kanalının menfezlerin birinden tünele temiz hava sağlanırken diğerinden ise tünel içindeki hava emilir. Bu iki kanaldan gelen hava debileri eşit ve iki kanaldaki akış tünel ekseninin dikine bir havalandırma sağlar. Yangın olması durumunda tünele temiz hava sağlayan kısım kapatılır ve sistemdeki duman emme kanallarından dışarı atılır Şekil 5.40(a, b).

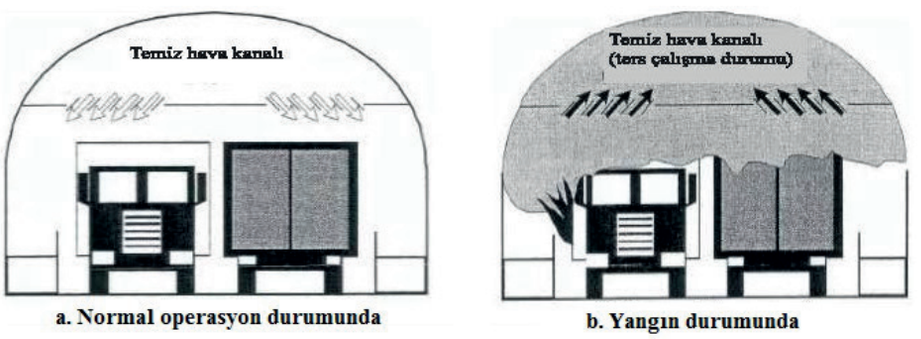


Şekil 5.40(a, b): Tam dikine havalandırma sistemi çalışma durumları

Yan dikine havalandırma sistemi, tam dikine havalandırma sistemine benzer; fakat bu sistemde sadece tünel boyunca döşenen tek bir havalandırma kanalı bulunur.

Normal çalışma durumunda tünele temiz hava bu kanallardan verilmekte, kirli hava ise tünel giriş ve çıkışlarından atılmaktadır. Yangın durumunda ise duman emişi bu kanallardan yapılarak duman tünelden uzaklaştırılır. Dikine hava sistemlerinde duman, yangın bölgesinin yakınındaki emme kanalından atılır. Boyuna havalandırmada ise yerel olarak duman tahliyesi yapılamaz. Boyuna havalandırma sisteminde duman bir yöne doğru yönlendirilerek dumansız tahliye yolu oluşturulur. Bu şekilde güvenli bir kaçış sağlanır ve itfaiyenin müdahalesi kolaylaştırılmış olur.

Demiryolu tünellerinde jet fanlar, tünel uzunluğuna göre tek havalandırma sistemi olarak da kullanılabilir. Uzun yer altı demiryolu hatlarında makas bölgelerinde ve büyük alan değişimleri görülen bölgelerde yangın meydana gelmesi durumlarında tasarım kriteri olan kritik hıza ulaşmak çok zor olur. Bu nedenle bu tür bölgelerde en uygun havalandırma sistemi, mevcut tünel havalandırma fanlarıyla birlikte bu bölgelerde hava akışını yönlendirmek ve dumanın ters katmanlaşmasını önlemek için jet fanların kullanılmasıdır. Yangın bölgesinden geçen hava hızı daima kritik hız değerinden büyük veya eşit olmalıdır Şekil 5.41(a, b).



a. Normal operasyon durumunda

b. Yangın durumunda

Şekil 5.41(a, b): Yan dikine havalandırma sistemi çalışma durumları

SIRA SİZDE

Tünellerde boyuna havalandırma sistemi çeşitlerini aşağıdaki verilen boşluğa yazınız ve açıklayınız.

5.8 UYGULAMA

3 (3) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TÜNELLERDE HAVALANDIRMA

Bu çalışmanın amacı, tünellerde havalandırma sistemlerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Tünellerde havalandırma sistemlerinin incelenmesi uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetimi ve rehberliğinde **uygulama ödevi** şeklinde yerine getiriniz.

Verilenler

2007 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Bolu Tüneli.

İstenenler

2007 yılında yapımı tamamlanarak işletmeye alınan Bolu Tüneli yapım çalışmaları sırasında ve işletmeye alınması kapsamında yapılan havalandırma çalışmalarını tespit ediniz. Tünel yapım çalışmaları ve işletmeye alınması kapsamında yapılan havalandırma sistemlerine ait raporu hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda resmi kurum, kuruluşların ve üniversitelerin kaynaklarından yararlanmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızda rapor hazırlama kurallarına dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında ve işletmeye alınması kapsamında yapılan havalandırma sistemleri tespit edilir.
2. Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında kullanılan doğal ve mekanik havalandırma sistemleri incelenir.
3. Bolu Tüneli işletmeye alınması kapsamındaki doğal havalandırma sistemleri incelenir.
4. Bolu Tüneli'nin işletmeye alınması kapsamındaki enine havalandırma sistemleri incelenir.
5. Bolu Tüneli'nin işletmeye alınması kapsamındaki yarı enine havalandırma sistemleri incelenir.
6. Bolu Tüneli'nin işletmeye alınması kapsamındaki boyuna havalandırma sistemleri incelenir.
7. Bolu Tüneli havalandırma sistemlerini içeren rapor hazırlanır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında ve işletmeye alınması kapsamında yapılan havalandırma sistemlerini tespit ettiniz mi?		
2	Bolu Tüneli inşa çalışmaları sırasında kullanılan doğal ve mekanik havalandırma sistemlerini incelediniz mi?		
3	Bolu Tüneli işletmeye alınması kapsamındaki doğal havalandırma sistemlerini incelediniz mi?		
4	Bolu Tüneli'nin işletmeye alınması kapsamındaki enine havalandırma sistemlerini incelediniz mi?		
5	Bolu Tüneli'nin işletmeye alınması kapsamındaki yarı enine havalandırma sistemlerini incelediniz mi?		
6	Bolu Tüneli'nin işletmeye alınması kapsamındaki boyuna havalandırma sistemlerini incelediniz mi?		
7	Bolu Tüneli havalandırma sistemlerini içeren raporu hazırladınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. Tünellerde yer altında bekleme veya sığınma amaçlı inşa edilen boşluklara ne ad verilir?

A) Baş aşağı **B)** Cep **C)** Galeri **D)** Pasa **E)** Şaft

2. Tünellerde üzengi çizgisinin üstünde kalan kısma ne ad verilir?

A) Ano **B)** Duvar **C)** Kalot **D)** Kemer **E)** Radye

3. I. Derinde açılan tünel ve maden ocaklarında kaya patlamaları, birikmiş hâlde bulunan gerilmelerin sonucudur.

II. Tünel ve galeriler yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde inşa edilen yapılardır.

III. Deneysel araştırmalara göre yerkabuğunun herhangi bir noktasındaki gerilmelerin örtü basıncına, tektonik hareketlere, magmatik intrüzyon olaylarına, metamorfizma olaylarına bağlı olduğunu göstermiştir.

Tünellerle ilgili yukarıda verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

4. Projelendirilen tünellerin inşa yöntemi belirlenirken dikkat edilecek hususlardan hangisi yanlıştır?

A) Tünel yer altı yapısı için ihtiyaca cevap verebilecek geometri belirlenir.

B) Tünel yapılacak ortamın jeotermal kaynak araştırması yapılır.

C) Tünel geomekanik ve geoteknik modeli belirlenir.

D) Tünel ortamı davranışını belirleyen jeolojik birimlerin sınırları ve türleri belirlenir.

E) Tünel yapılacak ortamların yer altı suyunun durumu, niteliği ve değişimi araştırılır.

5. Kaya mekaniği açısından süreksizliklerin tanımlanmasında aşağıda verilen parametrelerin sayısal olarak hangisinin saptaması yapılmaz?

A) Tünel yer altı yapısı için ihtiyaca cevap verebilecek geometri belirlenir.

B) Tünel yapılacak ortamın jeotermal kaynak araştırması yapılır.

C) Tünel geomekanik ve geoteknik modeli belirlenir.

D) Tünel ortamı davranışını belirleyen jeolojik birimlerin sınırları ve türleri belirlenir.

E) Tünel yapılacak ortamların yer altı suyunun durumu, niteliği ve değişimi araştırılır.

6. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi ÖNORM B2203'te tanımlanan kaya sınıfları arasında yer alan "sonradan az sökülen kaya kütlesi" olarak adlandırılan destek sınıfı aşağıdakilerden hangisidir?

A) A1 **B)** A2 **C)** B1 **D)** B2 **E)** C1

7. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi ÖNORM B2203'te tanımlanan kaya sınıfları arasında yer alan "baskılı kaya kütlesi" olarak adlandırılan destek sınıfı aşağıdakilerden hangisidir?

A) B1 **B)** B2 **C)** C1 **D)** C2 **E)** C3

8. Tünel desteklerinin ve kazı aşamalarının projelendirilmesinde kullanılan nümerik ve analitik hesaplamalarda göz önünde bulundurulması gereken hususlardan hangisi yanlıştır?

A) Kaplama betonunda basınç bölgesi 10 cm'den daha küçük olmamalıdır.

B) Kaplama betonu, 30 cm'den küçük olmayacak şekilde geçirimsiz beton olmalı ve aksi gerekmedikçe kesit alanının en az %0,15'i kadar donatı içermelidir.

C) Tipik ölçüm kesitleri, kaya sınıflarına bağlı olarak gereken sayıda ve noktada ölçüm işlemlerini belirtecek gerekli detaylar verilir.

D) Tünellerde su taşıyıcı zemin/kaya tabakalarıyla karşılaşılması beklenen kesimler için özel kazı ve destekleme projeleri hazırlanmalıdır.

E) Yapım sırasında projelendirmede göz önüne alınan deformasyon, oturmalar, gerilme artışlarının kontrol edilebilmesi için geoteknik ölçüm programı ve tipik ölçüm kesitleri proje aşamasında hazırlanır.

9. Tünel güzergâhı üzerinde yapılan sondajlar ve sondaj numuneleri üzerinde, yerinde ve laboratuvarda yapılan testler sonucunda elde edilen verilerin ışığında ÖNORM B 2203'e göre tünel tanımı kapsamında yapılan çeşitli kaya sınıflarına ayrılır. Her biri kaya sınıfı için kazı sistemi birincil ve ikincil destek elemanlarının tasarımı gerçekleştirilir.

Buna göre aşağıda verilenlerden hangisi bu kapsamda tasarlanan ikincil destek elemanıdır?

A) Çelik hasır

B) Çelik iksa

C) Kaplama betonu

D) Püskürtme beton

E) Süren

10. I. Portal kazıları plan, en kesit, boy kesit ve görünüşleri

II. Portal ayna ve yan şevlerinin destekleme detayları

III. Portal yapılarının en kesit, kalıp ve donatı detayları

IV. Kanopi yapısına ait detaylar ve portal bölgesinin özelliklerinden kaynaklanabilecek başka yapılara ait detaylar

Tünel portal projeleri kapsamında yukarıda verilen detay çizim paftalarından hangileri hazırlanır?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** II ve III **D)** I, III ve IV **E)** I,II,III ve IV

11. I. Maksimum hız

II. Minimum hız

III. Tünel boyu

IV. Tren boyu

Demiryolu tünel içi serbest alan hesabında yukarıda verilen girdi parametrelerden hangileri kullanılır?

A) I ve II **B)** II ve III **C)** I,II ve IV **D)** I, III ve IV **E)** I,II,III ve IV

12. Tünel portal bölümlerinde tünel kazısına başlamak için oluşturulan, ilk tünel aynasında alınacak destekleme önlemlerine göre yapılan çalışmalartasarlanır ve bu bölümlerde yapım sırasındaki güvenliği sağlamak için geçici ..... (kanopi) yapıları projelendirilir.

Yukarıdaki paragrafta verilen boşluğa aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?

A) Koruyucu kemer

B) Kazıklı duvar

C) Püskürtme betonu

D) Şev koruyucu

E) Yan porta şev betonu

13. **RQD değeri 50-75 aralığında olan kaya kalite göstergesi aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Çok iyi **B)** İyi **C)** Orta **D)** Zayıf **E)** Çok zayıf

14. I. Q-Barton

II. RQD-Deere

III. RMR-Bieniawski

Yukarıda verilen tünel inşaatları sırasında kullanılan kaya sınıflama yöntemlerinden hangileri tercih edilir?

A) Yalnız II **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I,II ve III

15. İkincil (Sekonder) gerilme durumu, kayalarda kazı sırasında doğal gerilmelerin yön, yer ve şiddet değiştirmesiyle oluşan gerilme dağılımıdır. İkincil gerilmelerin dağılımı sırasında boşluk çevresinde oluşan yeni gerilmelerin şiddetlerine ve kayanın dokusuna bağlı olarak ..... adı verilen yüklerin yoğunlaştığı bölgeler meydana gelir.

Buna göre paragrafta verilen boşluğa aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?

A) Fülüt

B) Kemerlenme

C) Portal

D) Pasa

E) Sedimant

16. Bolu Tüneli, Elmalık tarafında karşılaşılan filiş serileri tektonizmaya uğramış birimlerden oluşmuştur.

Bu filiş serileri aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?

A) Kiltaşı, çakıltaşı ve kireçtaşı

B) Kiltaşı, silttaşı ve alçıtaşı

C) Kiltaşı, evaporit ve kireçtaşı

D) Kiltaşı, silttaşı ve kireçtaşı

E) Kiltaşı, silttaşı ve kumtaşı

17. **Bolu Tüneli aşağıda verilen tünel açma yöntemlerinden hangisine göre projelendirilmiştir?**

A) Belçika

B) Alman

C) Eski Avusturya

D) İngiliz

E) Yeni Avusturya

18. **Tünel açılırken planlanan kesitten daha fazla yapılmış olan kazılara ne ad verilir?**

A) Aşırı sökülme

B) Dokusal kemerlenme

C) Galeri

D) Kemerlenme

E) Yarma

19. **Dış basıncı daha düşük olan aç-kapa veya menfez türü tünel kesitleri hangi şekilde yapılır?**

A) Atnalı

B) Daire

C) Eliptik

D) Kutu

E) Yumurta

20. I. Püskürtme beton

II. Kaya bulonu

III. Umbrella Arch

IV. Hasır çelik

NATM yönteminde kullanılan tünel destekleme (tahkimat) elemanları aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?

A) I ve II

B) II ve IV

C) III ve IV

D) II, III ve IV

E) I, II, III ve IV

21. **Aşağıdakilerden hangisi işlevlerine göre tünel sınıflarından biri değildir?**

A) Demiryolu tünelleri

B) Kanalizasyon tünelleri

C) Maden galerileri

D) Metro tünelleri

E) Su altında yapılan tüneller

22. **Zemin basınç dengeleyici TBM'lerde helezonik konveyör, pistonların, motorların, enjeksiyon sistemi, köpük sistem bileşenlerinin yer aldığı ve betonarme segmentlerin yerleştirildiği bölüm aşağıdakilerden hangisi dir?**

A) Baş

B) Gövde

C) Kafa ünitesi

D) Kuyruk

E) Segman ünitesi

23. I. Ekskavatör

II. Kollu tünel açma makinesi

III. Ekskavatör ve hidrolik kırıcılar

IV. TBM ve kalkanlı makineler

V. Kollu tünel açma makinesi ve hidrolik kırıcılar

Yukarıda verilenlerin hangilerinde parçalı kesit kazı yöntemlerinde kullanılan makineler bir arada verilmiştir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız IV **C)** I ve V **D)** II ve IIII **E)** IV ve V

24. **Şehir içi raylı sistem, hidroelektrik santral projeleri olmak üzere uzun güzergâh boyunca sürekli ve yüksek performans gerektiren tünel açma işlerinde kullanılan makineler aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Burgulu kazıcılar

B) Ekskavatörler

C) Hidrolik kırıcılar

D) Kollu kazıcılar

E) Tam cepheli TBM

25. **Çapı 8 m'den küçük olan ve iyi kalite kayaçlarda açılacak olan tüneller, delme - patlatma yöntemiyle tek aşamada aşağıda verilen hangi kesitte açılabilir?**

A) Enine kesit

B) Boyuna kesit

C) Tam kesit

D) Yarım kesit

E) Zemin

26. I. Uzun zaman alır ve ilerleme yavaş olur.

II. Hassasiyet gösterilirse de patlamanın sebep olduğu gevşemelerden kaçınılmaz.

III. Her türlü kaya şartlarında uygulanabilir.

Delme - patlama yönteminin dezavantajları ile ilgili yukarıda verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** I, II ve III

27. **Umbrella Arch uygulaması <u>ilk</u> olarak Türkiye'de hangi tünel çalışmasında kullanılmış ve başarıya ulaşmıştır?**

A) İstanbul Metrosu Yenikapı Şaftı Tünelleri

B) İstanbul Metrosu Kabataş Tüneli

C) Marmaray Karayolu Projesi Tüneli

D) Melen Sistemi Boğaziçi Tüneli

E) Taksim Bölgesi Fransız Sarayı Altı Tüneli

28. **Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nde püskürtme beton uygulaması çoğunlukla hangi kalınlıkta yapılır?**

A) 9-10 mm **B)** 5-6 mm **C)** 3-5 cm **D)** 6-7 cm **E)** 7-8 cm

29. **Kop Dağı Tüneli yapım çalışmalarında hangi tünel açma yöntemi kullanılmaktadır?**

A) Alman

B) Belçika

C) Eski Avusturya

D) İngiliz

E) Yeni Avusturya

30. **Tünel ağızlarında inşa edilen sanat yapılarına ne ad verilir?**

A) Ano **B)** Kalot **C)** Pasa **D)** Portal **E)** Stros

31. **Kop Dağı Tüneli temel kirişleri betonlarında hangi beton sınıfı kullanılmaktadır?**

A) C25/30 **B)** C30/37 **C)** C35/45 **D)** C40/50 **E)** C45/55

32. Tünellerde uygulanan içi boş en az 6 mm et kalınlığına sahip, dış çapı en az Ø28 olan dışı nervürlü çelik çubuktur.

Verilen bu bilgi aşağıdaki tünel kaya destek elemanlarından hangisine aittir?

A) Çelik hasır çubuk

B) IBO bulon

C) PG bulon

D) SN bulon

E) Umbrella Arch borusu

33. **Kop Dağı Tüneli temel kiriş proje detayında kullanılan yan drenaj borusu aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Çelik 200 mm

B) Çelik 300 mm

C) PVC 200 mm

D) PVC 250 mm

E) PVC 300 mm

34. Tünel açılacak zeminin tespit olunmuş durumuna göre uygun inşa sistemi uygulanır ve seçilen sisteme uygun en iyi el ve mekanik aletleri ile araçlar kullanılır.

Buna göre sağlam ve aktif itki vermeyen kaya zeminde hangi tünel açma yöntemi kullanılır?

A) Alman

B) Belçika

C) Eski Avusturya

D) İngiliz

E) Yeni Avusturya

35. Tünel kazı ve iksa işleri ilerledikçe tünel ekseninin taban zeminine tatbiki ve nivelman işleri ile inşaat işlerinin doğruluğunun kontrolü için aliyman kısımlarda 20 metre, kurplarda ..... metre ara ile gerekli kazık çakılarak röperlere bağlanır.

Bu paragraftaki boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?

A) 10 **B)** 15 **C)** 20 **D)** 25 **E)** 30

36. **Trans-Avrupa Karayolu Tünellerinde Minimum Güvenlik Kriterlerinde aşağıdakilerden hangisi yer almaz ?**

A) Acil durum istasyonları

B) Acil tünel skotajları

C) Acil çıkışlar

D) Güvenlik aydınlatması

E) Yaya yolları

37. **Tünelin bir ucundan şaftlar vasıtasıyla tünel içerisine taze hava enjekte edilmesi metodu aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Fan ile duman tahliyesi

B) Jet fan kullanımı

C) İki şaft ve jet enjekte

D) Taze hava enjekte etme

E) Yarı enine havalandırma

38. Bu sistemde hem taze hava şaftı hem de egzoz şaftı bulunmaktadır. Tünel boyunca taze hava kanalı vasıtasıyla tünele taze hava verilirken egzoz kanallı vasıtasıyla tünel içinde duman tahliye edilmektedir. Böylece tünel boyunca homojen basınç dağılımı sağlanmış olup piston etkisi dışında tünelde boylamasına hava akışı gerçekleşmez.

Verilen bu bilgi hangi havalandırma sistemine aittir?

A) Boyuna havalandırma

B) Enine havalandırma

C) İki şaft ve jet enjekte havalandırması

D) Taze hava enjekte etme şeklinde havalandırma

E) Yarı enine havalandırma

39. **Tünel boyunca döşenen jet fanlarla etkili bir havalandırma yapılmak istendiğinde jet fanlar tünel portal ağızlarından <u>en az</u> kaç metre içeri yerleştirilmelidir?**

A) 150-200 **B)** 120-160 **C)** 100-130 **D)** 90-120 **E)** 80-100

40. I. Tünelde yangın çıkması durumunda yangın sonucu oluşan duman bu sistemle bir yöne doğru yönlendirilerek hattın diğer tarafında dumansız bir bölge oluşturulur.

II. Jet fan tipi havalandırma fanlarının yerleştirilmesi için bir yapıya mutlaka ihtiyaç duyulur.

III. Jet fanların montajı kolay ve maliyeti daha azdır. Ancak jet fanlar daha yüksek ve geniş tünel yapılarında kullanılır.

IV. Jet fanların havalandırma için kullanılması tünel uzunluğu ve trafiğin tek veya çift yönlü olmasına göre farklılık gösterir.

Tünellerde enine havalandırma ile ilgili yukarıda verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) I ve III

B) II ve IV

C) I, II ve III

D) I, II ve IV

E) I, III ve IV

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

6. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

6.1. YAYA ALT GEÇİTLERİ (TÜNEL TİPİ)
6.2. UYGULAMA: YAYA ALT GEÇİTLERİ (TÜNEL TİPİ)
6.3. YAYA ÜST GEÇİTLERİ (YAYA KÖPRÜLERİ)
6.4. UYGULAMA: YAYA ÜST GEÇİTLERİ (YAYA KÖPRÜLERİ)

KULLANIM AMACINA GÖRE GEÇİTLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Tünel tipi yaya alt geçitlerinin kullanım yerlerini, çeşitlerini ve tasarım esaslarını
- Tünel tipi yaya alt geçitlerinin inşa ve erişim sistemlerinin incelenmesi uygulamasını
- Yaya üst geçitleri/köprüleri kulanım yerlerini, çeşitlerini ve tasarım esaslarını
- Yaya üst geçitleri/köprüleri inşa ve erişim sistemlerinin incelenmesi uygulamasını

Temel Kavramlar

tünel tipi yaya alt geçitleri, yaya geçitleri, yaya alt geçitleri, yaya alt geçit çevresel şartları, yaya üst geçitleri, yaya üst geçit çevresel şartları, yaya alt ve üst geçit asansörleri, yaya alt ve üst geçit merdivenleri, yaya alt ve üst geçit tasarımı

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

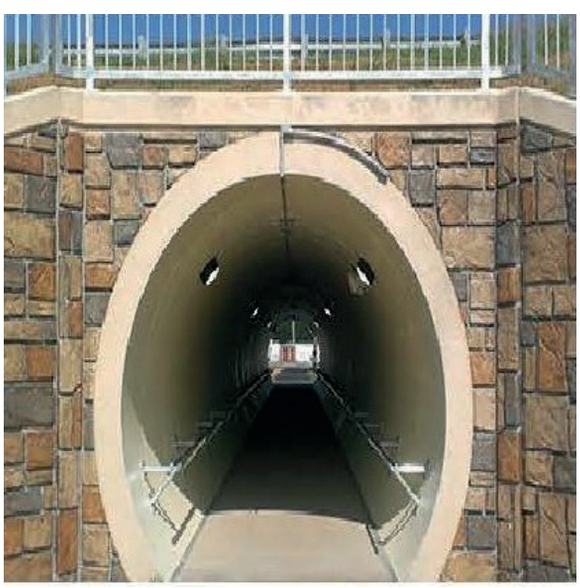
Yaya alt geçitlerini araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

6.1. YAYA ALT GEÇİTLERİ (TÜNEL TİPİ)

Karayolu, demiryolu vb. ulaşım sistemlerinin üstünde ve altında, yayaların trafik akışını kesmeden erişilmesi istenen yere en az enerji kaybıyla ve güvenle ulaşılması için alt geçit ve üst geçit inşa edilir. Günümüz kentsel tasarım yaklaşımlarında yayaların güvenliği esas alınarak düzenlenen yaya alt ve üst geçitleri, genellikle yoğun araç trafiği ve hızlı trafik akışı olan kesimlerde inşa edilmektedir. Nüfus artışı ile birlikte kentlerin büyümesi ve ulaşım sistemlerinde yaşanan gelişmeler doğal ve yapay çevrede sınır ögesi olarak yer alan unsurlar, yaya ve araç sürekliliğinin bozulmasına neden olmuştur. Bu nedenlerle araç veya yayaların kullanımına yönelik alt ve üst geçitler inşa edilmeye başlanmıştır. Kentsel mekânlarda yer alan yaya alt ve üst geçitlerin inşası ile kentsel/kamusal mekânların etkin kullanılabilirliğinde önemli katkılar sunulmaya başlanmıştır.

6.1.1. Yaya Alt Geçitleri ve Kullanım Amaçları

Yayaların bir karayolunun veya demiryolunun altından trafik akışını ve araç trafiğini kesmeden ulaşılması istenen yere gidebilmeleri için inşa edilen sanat yapıları **yaya alt geçidi** olarak adlandırılır. Yaya alt geçitleri, yayaların başka bir yolun altından gitmek istedikleri yere erişimini sağlayan ulaşım sistemi donatı elemanlarından birisidir. Alt geçitler; kare ve dikdörtgen (kutu), eliptik kesitli olarak inşa edilmektedir [Resim 6.1(a, b)].



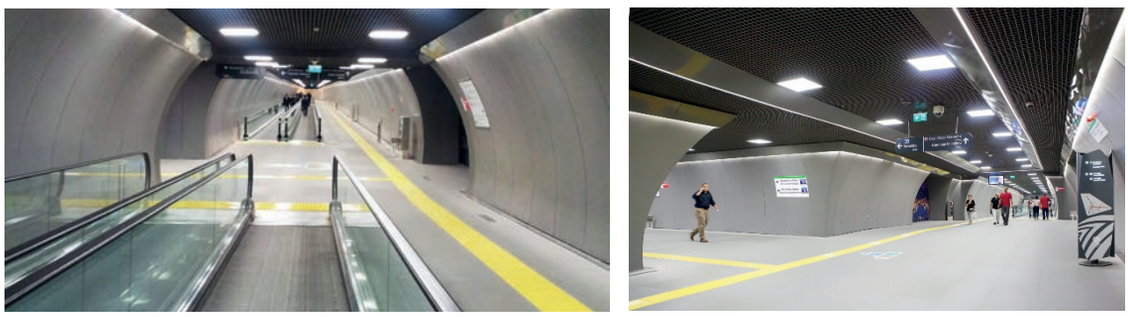
a) Karayolu altı eliptik kesitli yaya alt geçidi

b) Karayolu altı kutu kesitli yaya alt geçidi (bisiklet yollu)

Resim 6.1 (a,b): Karayolu altı yaya alt geçitleri

Ülkelerin yaya geçişleri ve yürüyüş yolları ile ilgili çeşitli standart, tasarım ve güvenlik kriterleri bulunmaktadır. Ülkemizde **TS 12576: Şehir içi yollar kaldırım ve yaya geçitlerinde ulaşılabilirlik için yapısal önlemler ve işaretlemelerin tasarım kuralları** standardı ile tasarım ve ulaşılabilirlik kriterleri ortaya konulmuştur.

Yayaların enerji kaybını en düşük seviyede tutmak ve hareket kısıtlılığı olan bireylerin hareketlerini kolaylaştırmak için yaya geçitlerinde öncelikle hemzemin yaya geçitleri tercih edilmelidir. Yaya geçitleri, hareket kısıtlılığı olanlar dâhil tüm yayalar için güvenli ve kullanılabilir olmalıdır. Tünel tipi yaya alt geçitleri, karayolları ve demiryollarının altından geçirildiği gibi metro bağlantı tünelleri şeklinde de inşa edilmektedir. Yine alışveriş merkezleri ile metro ve otobüs durakları arası bağlantı geçişlerini sağlamak için büyük çaplı tünel tipi yaya alt geçitleri günümüzde pek çok büyükşehrimizde inşa edilmektedir [Resim 6.2(a, b), Resim 6.3(a, b)].



a) b)

Resim 6.2 (a,b): Metro ve otobüs durakları arasına erişim amaçlı inşa edilen tünel tipi alt geçitler

a) b)

Resim 6.3 (a,b): Alışveriş merkezi, hastane vb. mekânlara erişim amaçlı inşa edilen tünel tipi alt geçitler

6.1.2. Yaya Alt Geçitlerinin Çevresel Şartlara ve Planlara Göre İncelenmesi

Taşıt yolundan daha düşük kotta yani taşıt yolunun altında inşa edilen alt geçitler, taşıt ile yaya trafiğini ayırmak için taşıt yolu kotunun altından geçirilerek yaya güvenliğine olumlu katkılar sunan sanat yapılarıdır. Çevresel şartlar ve imar planları doğrultusunda inşa edilen yaya alt geçitleri, şehir planlaması kapsamında ele alınmaktadır. Yayaların taşıt yolunu eş düzey geçmek için gerekli zamanın, alt geçidi geçmek için gereken zamandan en fazla %20 oranında olma sınırı dikkate alınarak yaya alt geçitleri inşası tercih edilir. Yaya alt geçitlerinde gabari, insan boyutu ile ilgilidir ve bu durum alt geçitlerde merdiven basamak sayısının üst geçitlere nazaran daha az olması nedeniyle yayalar açısından daha çok tercih edilmektedir.

Yaya alt geçitleri; yayaların aşırı güneş ve soğuk hava koşullarından korunması, kentin görünümünü bozmaması, mevcut yer altı ulaşım sistemlerine bağlantı olacak şekilde yapılması gibi olumlu özelliklere sahiptir. Güvenlik vb. sorunlar oluşmaması için yaya alt geçitlerinin aydınlatılması, alışveriş birimleri ile bağlantılarının sağlanması kullanım açısından son derece önemlidir. Yine yaya alt geçitlerinde yaya trafiği doğru öngörülerek genişliklerinin belirlenmesi de kullanım açısından son derece önemli bir ölçüttür [Şekil (a, b)].

a) b)

Şekil 6.1(a,b): Hastane, iş merkezleri vb. mekânlara erişim amaçlı tünel tipi yaya alt geçit tasarımları

Yaya Alt ve Üst Geçit Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Yaya alt geçitlerinin tasarımında girişler ve yaya tünelleri; yayalara emniyet hissi verici, ferah, yeterli genişlikte ve aydınlık olmalıdır [Resim 6.4(a, b)].

a)

b)

Resim 6.4(a,b): Yayalara emniyet hissi verecek şekilde aydınlatılmış ferah, geniş yaya alt geçit tünelleri

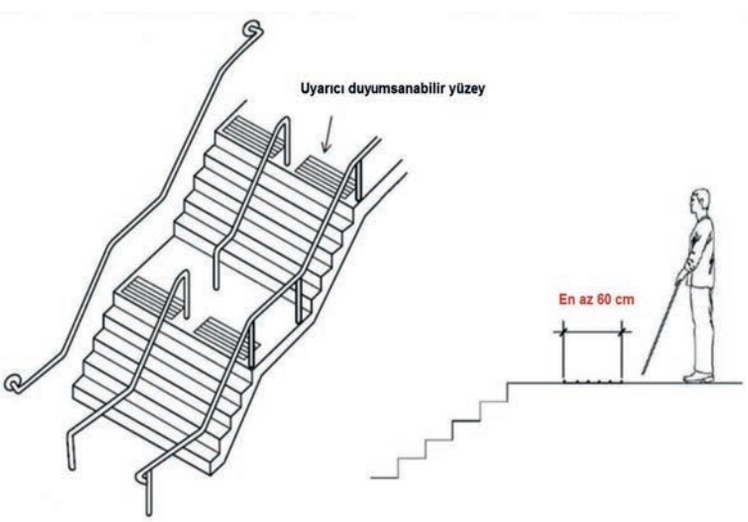
Alt geçit çevresinde yayaların alt geçit yerine yolun yüzeyden geçmesini önlemek için alınması gereken tedbirler kapsamında engeller konulmalı ve işaretlemeler yapılmalıdır. Yaya alt ve üst geçitlerinde erişim mümkün olan en kısa zamanda ve en kolay şekilde yapılmalıdır. Uzun ve karmaşık rampa veya merdiven tasarımlarından kaçınılmalıdır. Rampalar veya merdivenli yaya geçitleri, yayaların gidiş geliş yönlerini ayırmak üzere yaya trafiğini aksatmayacak uygun engellerle bölünmelidir. Yaya alt geçit ve üst geçitlerindeki merdivenlerin iki tarafında **TS 9111: Engelli kişiler ve hareket kısıtlılığı olan kişiler için binalarda erişilebilirlik gereklilikleri** standardına uygun korkuluk veya küpeşteler/tırabzanlar yapılmalı, 8-10 basamakta bir merdivenler arasında en az 150 cm'lik sahanlık yapılmalıdır.

Yaya üst ve alt geçitlerinde (merdiven basamakları dâhil) kaymayı önleyici ve her türlü fiziksel koşula dayanıklı yüzey malzemesi kullanılmalıdır. Merdiven basamaklarının uçlarına yerleştirilecek kaymayı önleyici malzeme, basamak yüzeyi ile düz olacak şekilde monte edilmeli ve basamakla ayırt edici renkte olmalıdır.

Yaya üst ve alt geçitlerinde merdivenler dik ve kavisli olmamalı (örneğin döner merdivenler kullanılmamalı), iniş ve çıkışlar rahat, güvenli ve aydınlık olmalıdır. Rıht yüksekliği (h) ve basamak genişliği (b) parametrelerinden, rıht yüksekliği en fazla 15 cm koşulu ile **2h + b = 63 cm** bağıntısı kullanılmalı ve TS 9111'e uygun olmalıdır.

Merdivenlerin yürüme yüzeylerinde pürüzlü, kaymayı önleyen dokuya sahip algılanabilir kaplama malzemeleri kullanılmalıdır. Gerekli ise merdivenlerin hava etkilerine karşı üzeri kapatılmalıdır. Basamak ve rıhtlar ayrı renkte yapılmalıdır. Basamak ucunda 2,5 cm eninde koruyucu kaymaz şerit bulunmalı; kaymaya karşı koruyucu malzeme takılıp düşmeyi önleyecek, çıkıntı yapmayacak, basamak yüzeyi ile düzayak olacak şekilde döşenmelidir. Merdivenlerin başlangıcında ve sonunda görme engelliler için 120 cm uzunluğunda düz ve farklı dokuda algılanabilir kaplama malzemesi ile döşenmiş sahanlık olmalıdır.

DIN 18024 (Bölüm 1: Sokaklar, meydanlar, patikalar, toplu taşıma ve yeşil alanlar ile oyun alanları; Planlama ilkeleri sokaklar, meydanlar, yollar, toplu taşıma ve yeşil alanların yanı sıra oyun alanlarına yönelik gereksinimleri tanımlar) standardına göre duyumsanabilir yüzey en az 60 cm genişliğinde, renk ve doku bakımından farklı algılanabilir olmalıdır. Görme engelli kişilerin merdivenleri bulabilmeleri ve algılayabilmeleri için duyumsanabilir (hissedilebilir) yüzeylerden faydalanılmalıdır. Duyumsanabilir yüzey ilk basamaktan hemen önce başlamalı, merdiven bitiminde ise merdiven genişliği kadar boşluktan sonra yer almalıdır (Şekil 6.2).



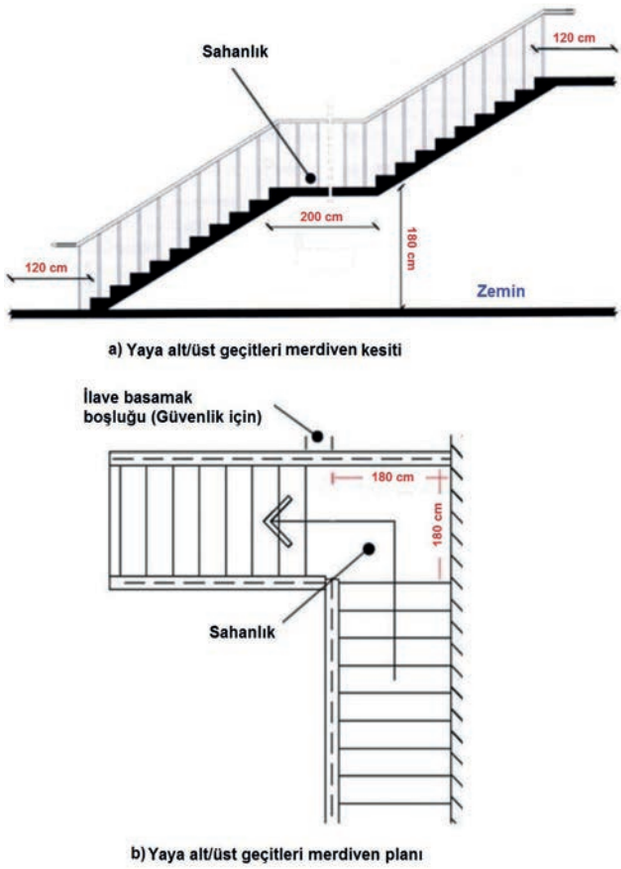
Şekil 6.2: Merdivenlerde duyumsanabilir (hissedilebilir) yüzeyler perspektif krokisi

DIN 18024 standardı Bölüm 1'e göre kaymaz şeritlerin, 3 basamağa kadar olan merdivenlerde tüm basamaklarda, basamak sayısı 3'ten fazla olan merdivenlerde ise ilk ve son basamakta olması gerektiği belirtilmektedir.

Yine standarda göre aynı yönde devam eden merdivenli yollarda;

- Arazinin topoğrafik yapısına bağlı olarak yükseklik farkı 180 cm'den fazla ise merdivenler arasında 200 cm genişliğinde sahanlık yapılmalıdır.
- Merdivenlerin başlangıcında ve sonunda görme engelliler için 120 cm uzunluğunda düz ve değişik dokuda kaplama malzemesi ile döşenmiş sahanlık yapılmalıdır.
- Merdiven sahanlığı yön değiştiriyorsa sahanlık ölçüsü en az 180x180 cm olmalıdır.
- 300 cm'den daha geniş olan merdivenlerin ortasında ilave tırabzan yapılmalıdır.
- Merdivenlerde genişlik, tırabzandan tırabzana en az 180 cm olmalıdır. Merdiven yanlarında su tahliye olukları yapılmalıdır.

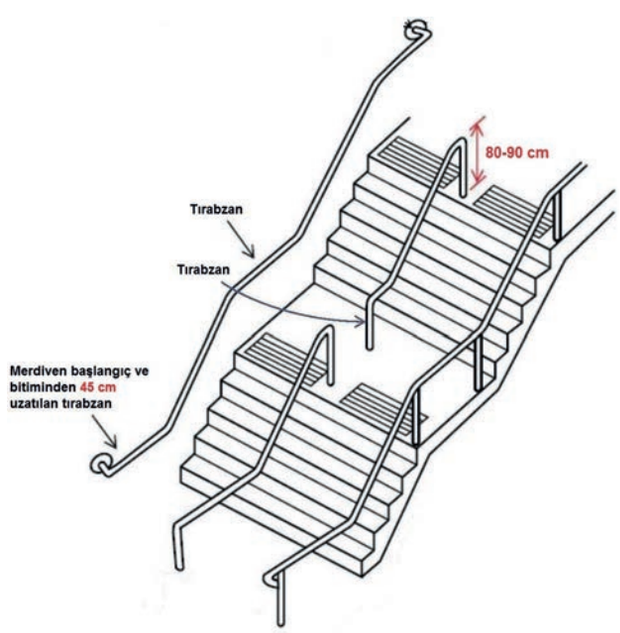
Standartlar doğrultusunda yaya alt ve üst geçitlerinde kullanılan tek kollu merdiven ölçülerini içeren plan ve kesit krokileri [Şekil 6.3(a, b)] 'de verilmiştir. Krokiler üzerinde, merdiven sahanlık ve zeminden yükseklik ölçü sınırları standartlar doğrultusunda gösterilmiştir.



Şekil 6.3(a,b): Yaya alt ve üst geçitlerinde tek kollu merdiven plan ve kesitleri krokisi

Yaya alt ve üst geçit merdivenlerinin her iki tarafına, genişliği ve konumu nasıl olursa olsun mutlaka tırabzan yapılmalıdır. Tırabzanların yapımında aşağıda verilen hususlara dikkat edilmelidir.

- Trabzanlar merdivenin başlangıç ve bitiminde ilk ve son basamaktan 45 cm ilerisine uzatılmalıdır. Tırabzanlardaki bu uzatmaların uç kısmı, herhangi bir sakatlanmayı önlemek için yuvarlaklaştırılmalıdır.
- Tırabzan yüksekliği merdivende en az 80 cm, en çok 90 cm olmalıdır.
- Tırabzanlar sıcağa ve soğuğa karşı dayanıklı, kaymayı önleyen bir malzemeyle kaplanmalıdır.
- Tırabzanlar engellilerin ve çocukların kullanımına uygun olarak iki farklı yükseklikte (55 ve 65 cm) olmalıdır.
- Tırabzanlar, kişinin vücut kütlesine dayanıklı olmalıdır, yere veya duvara güvenli bir şekilde sabitlenmelidir. Düşme tehlikesini azaltmak için açık ve çıkıntılı uçlu basamak tasarımından kaçınılmalıdır (Şekil 6.4).



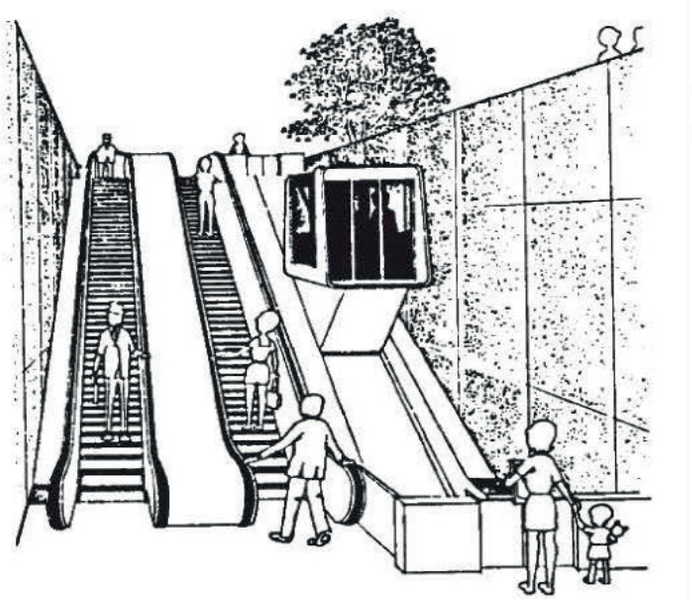
Şekil 6.4: Yaya alt ve üst geçitlerinde tırabzanlar, tırabzan yüksekliği ve tırabzanların uzatılması perspektif krokisi

Engellilerin hareketini kolaylaştırmak için yaya geçişleri, düzayak geçiş sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Yoğun trafik olan taşıt yollarında hemzemin yaya geçitleri yapılamaması hâlinde engellilerin de kullanabileceği şekilde alt ve üst geçit inşa edilmelidir. Yaya alt ve üst geçitlerinde, çevre şartları uygun ise merdiven yerine eğimi %8'i geçmeyen rampalar yapılmalıdır. Dolaşımı güçleştirdiğinden merdiven ve rampalar yorucu olmamalı, tekerlekli sandalyeli engelliler için gerekiyorsa asansör veya merdiven eğiminde hareket eden platform asansörü yapılmalıdır.

Yaya alt ve üst geçitlerinde asansörler;

- **TS ISO 9386-1: Hareket kabiliyeti kısıtlı kişiler için güçle çalıştırılan kaldırma platformları-Güvenlik, boyutlar ve işlevsel çalışmaya ilişkin kurallar-Bölüm 1: Dikey kaldırma platformları,**
- **TS ISO 9386-2: Hareket engelliler için güç tahrikli kaldırma platformları-Emniyet, boyutlar ve işlevsel çalışma ile ilgili kurallar-Bölüm 2: Oturan kullanıcılar, ayakta duran kullanıcılar ve tekerlekli sandalye kullanıcıları için eğik bir düzlemde hareket eden güç tahrikli merdiven tipi asansör,**
- **TS EN 81-70 fiziksel, duyusal ve zihinsel engelli insanları da taşıyan yolcu asansörlerine güvenli ve bağımsız erişilebilirlik ve kullanıma ilişkin asgarî kuralları** standartlarına uygun olmalıdır.

Hareket kısıtlığı (görme ve fiziksel engelliler) olan yayaların kullanımına uygun rampa yapılamaması durumunda ise dikey asansör, yürüyen merdiven veya merdiven eğiminde hareket eden eğik asansör yapılmalıdır. Yaya alt ve üst geçitlerdeki rampa ve merdivenler yanında iki yönlü yürüyen merdivenler yapılmalıdır. Yürüyen merdiven yapılmasını gerektirecek yoğunluktaki şehir merkezlerinde, yaya alt ve üst geçitlerinde dikey veya eğik hareketli asansör, gerekli yer ve eğim varsa yürüyen bant yapılmalıdır. Yürüyen bant eğimi %7-%20 (eğim $\geq 4^0$ ile $\leq 12^0$) arasında ve hızı en fazla 0,5 m/sn olmalıdır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5: TS 12576, yaya alt geçitleri iniş ve çıkışlarında merdiven eğiminde eğik asansör

Yaya trafiği fazla olan yaya alt ve üst geçitlerindeki merdivenlerin yanına, iki yönde hareket edebilen yürüyen merdiven, yeterli yer ve eğim olması hâlinde yürüyen bant yapılmalıdır. Yayaların (hareket kısıtlılığı olanlar dâhil) yolu geçmek için kullandıkları rampalı veya merdivenli yaya geçitleri, taşıt yoluyla dik açı oluşturacak şekilde inşa edilmelidir. Yine yaya trafiği fazla olan alt ve üst geçit rampa ve merdivenleri gidiş ve geliş yönlerini ayırmak için uygun engellerle bölünmelidir.

SIRA SİZDE

Yaya alt ve üst geçitlerinde erişimi sağlamak için tasarlanan sistemleri aşağıdaki boşluğa yazınız.

6.2 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

YAYA ALT GEÇİTLERİ (TÜNEL TİPİ)

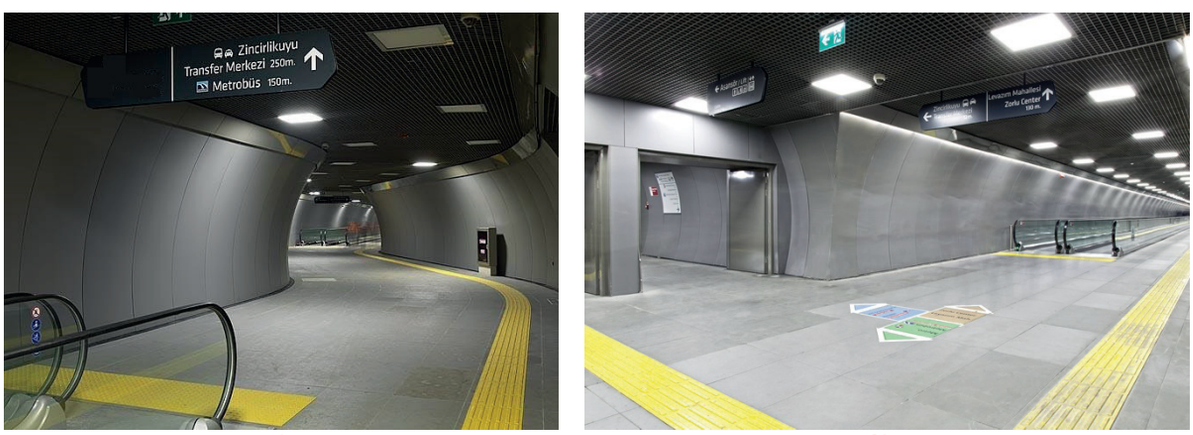
Bu çalışmanın amacı, yaya alt geçitlerinin (tünel tipi) incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Yaya alt geçitlerinin incelenmesi uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

[Resim 6.5(a, b)] 'de tünel tipi yaya alt geçidi bağlantıları verilmiştir.



a) b)

Resim 6.5(a,b): Zincirlikuyu Metro İstasyonu-Metrobüs yaya alt geçit bağlantı tünelleri

İstenenler

[Resim 6.5(a, b)]'de verilen tünel tipi yaya alt geçit bağlantılarında kullanılan sistemleri inceleyiniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda yaya alt geçitlerini yönetmelik ve standartlara uygun incelemeye dikkat ediniz.
- Çalışmanızda yaya alt geçitlerini kullanım amaçlarına uygunluk açısından değerlendirmeye özen gösteriniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Yaya alt geçidi inşa sistemini tesbit edilir.
2. Yaya alt geçidinde kullanılan merdiven sistemlerini tesbit edilir.
3. Yaya alt geçidinde kullanılan asansör sistemini tesbit edilir.
4. Yaya alt geçidinde yürüyüş yolu sistemini tesbit edilir.
5. Yaya alt geçidi aydınlatma düzenlemelerini tesbit edilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Yaya alt geçidi inşa sistemini tespit ettiniz mi?		
2	Yaya alt geçidinde kullanılan merdiven sistemlerini tespit ettiniz mi?		
3	Yaya alt geçidinde kullanılan asansör sistemini tespit ettiniz mi?		
4	Yaya alt geçidinde yürüyüş yolu sistemini tespit ettiniz mi?		
5	Yaya alt geçidi aydınlatma düzenlemelerini tespit ettiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Yaya üst geçitlerini araştırınız, inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

6.3. YAYA ÜST GEÇİTLERİ (YAYA KÖPRÜLERİ)

Yaya üst geçitleri, yoğun trafik alanlarında yayaların güvenliği ve yolların sürekliliği bağlamında bir çözüm olarak tasarlanan sanat yapılarıdır. Estetik yönü de ağır basan kentsel donatı elemanları olarak değerlendirilebilir. Yaya üst geçitleri; işlevsel gereksinimlerinin yanında kent görüntüsünü ve estetiğini etkileyebilen, sayıları diğer kentsel donatılara göre daha az fakat daha büyük ölçekli olmaları nedeniyle dikkat çeken, kentin imgesel ögesi olarak değerlendirilen sanat yapılarıdır.

Yaya üst geçitlerinin işlevsel amaçları; ulaşımda süreklilik, yönlendirme, yaya güvenliği, taşıt trafiğine açık yollarda kesintisiz ulaşım ve estetik kentsel görünüm sağlamaktır [Resim 6.6(a, b)].

a) b)

Resim 6.6(a,b): Estetik formlarla tasarlanmış ve inşa edilmiş yaya üst geçit örnekleri

6.3.1. Yaya Üst Geçitleri ve Kullanım Amaçları

Yayaların bir karayolunun veya demiryolunun üstünde trafik akışını ve araç trafiğini kesmeden ulaşılması istenen yere gidebilmeleri için inşa edilen sanat yapıları **yaya üst geçidi** olarak adlandırılır. Yaya üst geçitleri, yayaların ulaşımlarını rahat ve kolay bir biçimde gerçekleştirmelerini sağlayan sanat yapılarıdır. Karayollarının, demiryollarının, park ve bahçelerin, akarsuların üzerlerinde inşa edilmektedir.

Yaya üst geçitlerinin kiriş, kemer, konsol, asma ve kablo askılı tasarım formları mevcuttur. Mühendislik yapısı olan yaya üst geçitlerine son dönemlerde mimari unsurların da eklenmesiyle estetik özellikler kazandırılmaya başlanmıştır. Yaya üst geçit projeleri, ilk yapılmaya başlandığı dönemlerde işlev öncelikli olarak ele alınmaktaydı. Son dönemlerde özellikle kent siluetlerine estetiklik kazandırmak, halkın estetik bir çevre kapsamındaki yoğun isteklerine cevap verebilmek için mimari unsurlar içeren tasarımlar uygulanarak estetik üst geçit örnekleri ortaya çıkmaya başlamıştır.

Avrupa ülkelerinin genelinde kent merkezlerinden akarsuların geçiyor olması ve bu nedenle ortaya çıkan yaya üst geçit ihtiyacının artması sonucu son yıllarda birçok kentte akarsu üzerlerine de estetik yaya üst geçitleri yapılmaya başlanmıştır.

Ülkemizde de pek çok kentte yaya üst geçitlerinin kent peyzajının ve hatta kent siluetlerinin göze çarpan elemanları hâline geldiği söylenebilir. Yaya üst geçitleri, günümüzde işlev bakımından olduğu gibi sembolik bakımdan da bir değer taşımaktadır. Erişim bakımından yaya köprüleri; merdivenli, rampalı, merdivenli asansörlü, merdivenli rampalı, yürüyen merdivenli yaya köprüleri olarak sınıflandırılabilir [Resim 6.7(a, b)].

a)

b)

Resim 6.7(a,b): Yaya üst geçit (yaya köprüsü) örnekleri

Yaya üst geçitlerine rampa yapılarak ve asansör konularak yaşlıların, engellilerin ve bebek arabalı yayaların rahat geçişinin sağlanması gerekmektedir. Bazı durumlarda rampalı yapılan yaya köprülerinde bisiklet ve motosiklet geçişine imkân sağlanmaktadır (Resim 6.8, Resim 6.9).

Resim 6.8: Asansörlü yaya üst geçidi

Resim 6.9: Rampa çıkışlı yaya üst geçidi

6.3.2. Yaya Üst Geçitlerinin Çevresel Şartlara ve Planlara Göre İncelenmesi

Taşıt yolu kotundan daha yüksekte yani taşıt yolunun üzerinden geçirilerek inşa edilen üst geçitler, taşıt ile yaya trafiğini ayıran ve yaya güvenliğine katkı sağlayan sanat yapılarıdır. Çevresel şartlar ve imar planları doğrultusunda gerçekleştirilen yaya üst geçitleri şehir planlaması kapsamında ele alınmaktadır. Yayaların bir üst geçidi geçme süresinin, taşıt yolunu eş düzey geçmek için gerekli zaman ile bekleme süresinin toplamından daha az olması durumunda yaya üst geçitlerinin inşası tercih edilmektedir.

Yaya üst geçitlerinde gabari, taşıt boyutu ile ilgili olduğundan merdiven basamak sayısının alt geçitlere nazaran daha fazla olması yayalar tarafından kullanımını azaltır. Bu nedenle yaya üst geçitlerinin dik merdiven tasarımı yerine daha yumuşak geçişler sağlayan merdiven ve/veya rampa tipi üst geçit planlaması yayalar tarafından tercih edilme sebebidir.

Yaya üst geçitleri yayalara gözle görülebilir güvenli geçiş sağlamakla birlikte kent içi silueti bozduğundan estetik tasarımlarla ele alınması zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Yaya üst geçitleri tasarımında farklı ve özgün tasarımların oluşmasında form, renk, doku, malzeme gibi tasarım ögeleri etkili olmaktadır. Yaya üst geçitlerine özgün tasarımlarla ana işlevinin yanında manzara seyretme, oturma, dinlenme gibi farklı işlevsel etkinlikler de yüklenebilir.

Asansörlü yaya üst geçitlerinde asansörler, her türlü olumsuz durum ve şartlara dayanıklı olacak şekilde yapılmalıdır. Özellikle gece çalışması sırasında emniyetli ve emniyetsiz çalışmalar dikkate alınmalıdır. Asansör vagonu, tekerlekli sandalye kullananlar için 110-140 cm net derinliğe sahip olmalıdır. Yaya köprülerinin korkulukları, düşme ihtimaline karşı oluşabilecek yatay yükleri taşıyacak şekilde inşa edilmelidir. Korkuluklar, hareket kısıtlılığı olan yayalara destek ve kılavuz olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yayalar için korkuluk yüksekliği 100-120 cm ve bisikletliler için 120 cm olmalıdır. Parmaklık için 80-90 cm'lik uygun yükseklikte ayrı bir tırabzan yapılmalıdır.

Korkuluk dolgusu, yayaların özellikle küçük çocukların kayma veya üzerine tırmanma tehlikesi olmayacak şekilde düzenlemelidir. Bu tür tehlikeleri önlemek için yassı ve kapalı elemanlar takılmalıdır. Yatay veya dikey çubuklar ile tel veya kablo ağları yayaların açık dolgu içerisinden kaymalarını önlemek için yapılır. Dikey dolgu çubuklarına sahip korkuluklarda çubuklar arası mesafe en fazla 12 cm olmalıdır. Yayaların içe eğimli veya düz korkuluklarla yatay dolgu çubuklarına tırmanmalarını önleyecek şekilde yapılmalıdır. Kablo ağ korkuluklarında en fazla 60 mm'lik dar kalınlıklı ızgara kullanmak, yayaların tırmanmasını önlemek için alınması gereken tedbirler arasındadır. Yaya üst geçitleri güvenli, rahat, konforlu ve dayanıklı olacak şekilde yapılmalıdır. Korkuluklar, yükseklik korkusu olan yayaların üst geçit üzerinde tedirginlik hissi oluşturmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Demiryollarının yakınındaki yaya üst geçitlerinde, yayaların elektrikle çalışan parçalar ile temas etmesi sonucunda yaralanma riski ortaya çıkar. Bu tür riskleri önlemek için demiryolu ile üst geçit arasına mesafe ve engeller konularak koruyucu tedbirler alınmalıdır. Engellerin boyutları, temas için erişilebilir olan canlı parçalara yaya tarafından istenmeden dokunulamayacak şekilde yapılmalıdır.

Karşıdan karşıya geçişi sağlayan üst geçitlerde, yaya trafiğinin doğru ön görülerek genişliklerinin belirlenmesi kullanım açısından önemli bir ölçüttür. Genellikle üstü açık olarak inşa edilen yaya üst geçitleri, bölgenin iklim durumu göz önünde bulundurularak olumsuz hava koşullarına karşı koruma sağlamak için üstü kapalı olarak da inşa edilmektedir (Şekil 6.7, Şekil 6.8).

Şekil 6.7: Farklı formda tasarlanmış, üstü kapalı, dikey asansörlü yaya üst geçit modellemesi

Şekil 6.8: Farklı formda tasarlanmış, üstü açık, dikey asansörlü ve yürüyen merdivenli yaya üst geçit modellemesi

SIRA SİZDE

Yaya üst geçitlerinin güvenli ve konforlu kullanımı için hangi hususlara dikkat edilmelidir? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

Engellilerin ve tüm yayaların kullanımına uygun rampa yapılamaması durumunda dikey asansör, yürüyen merdiven ya da merdiven eğiminde hareket eden eğik asansör yapılmalıdır (Şekil 6.9).

Şekil 6.9: Estetik formlarla oluşturulan, yeşillendirme yapılan dikey asansörlü yaya üst geçidi modellemesi-1

Yaya üst geçit tasarımları güvenli, rahat, konforlu, dayanıklı ve sağlam olmalıdır. Özellikle korkuluklar, yükseklik korkusu olan kullanıcılar düşünülerek yapılmalıdır. Korkuluk yükseklik standartları 100 cm'nin altında olmalıdır. Yaya üst geçidi üzerinde tedirginlik hissi duyulmamalıdır (Şekil 6.10).

Şekil 6.10: Estetik formlarla oluşturulan yeşillendirme yapılan dikey asansörlü yaya üst geçidi modellemesi-2

6.4 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

YAYA ÜST GEÇİTLERİ (YAYA KÖPRÜLERİ)

Bu çalışmanın amacı, yaya üst geçitlerinin incelenmesi ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Yaya üst geçitlerinin incelenmesi uygulamasını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Şekil 6.11'de yaya üst geçidi tasarım modellemesi verilmiştir.

Şekil 6.11: Yaya üst geçit modellemesi

İstenenler

Şekil 6.11'deki tasarım modellemesi doğrultusunda yaya üst geçidinde kullanılan sistemleri inceleyiniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda yaya üst geçitlerini yönetmelik ve standartlara uygun incelemeye dikkat ediniz.
- Çalışmanızda yaya üst geçitlerini kullanım amaçlarına uygunluk açısından değerlendirmeye özen gösteriniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Yaya üst geçidi tasarım sistemi tespit edilir.
2. Yaya üst geçidinde tasarlanan merdiven sistemleri tespit edilir.
3. Yaya üst geçidinde kullanılan asansör sistemi tesbit edilir.
4. Yaya üst geçidinde tasarlanan yürüyüş yolu ve korkuluk sistemi tesbit edilir.
5. Yaya üst geçidi için yapılan çevre düzenlemeleri tesbit edilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Yaya üst geçidi tasarım sistemini tespit ettiniz mi?		
2	Yaya üst geçidinde tasarlanan merdiven sistemlerini tespit ettiniz mi?		
3	Yaya üst geçidinde kullanılan asansör sistemini tespit ettiniz mi?		
4	Yaya üst geçidinde tasarlanan yürüyüş yolu ve korkuluk sistemini tespit ettiniz mi?		
5	Yaya üst geçidi için yapılan çevre düzenlemelerini tespit ettiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	40	50	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

6. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. Yayaların enerji kaybını en düşük seviyede tutmak ve hareket kısıtlılığı olan bireylerin hareketlerini kolaylaştırmak için yaya geçitlerinde öncelikle hangi erişim sistemi tercih edilmelidir?

A) Hemzemin yaya geçitleri

B) Eğik asansör yaya geçitleri

C) Dik asansör yaya geçitleri

D) Yürüyen merdiven

E) Yaya rampaları

2. Yaya alt geçitlerinde gabari aşağıdakilerden hangisiyle ilgilidir?

A) Araç boyutu

B) Asansör boyutu

C) İnsan boyutu

D) Merdiven basamak genişliği

E) Merdiven rıht yüksekliği

3. "Engelli ve hareket kısıtlılığı olan kişiler için binalarda erişilebilirlik gereklilikleri" Türk Standardı aşağıdakilerden hangisidir?

A) TS EN 81-70

B) TS 9386

C) TS ISO 9386-1

D) TS ISO 9386-2

E) TS 9111

4. Yürüyen merdiven yapılmasını gerektirecek yoğunluktaki şehir merkezlerinde yaya alt ve üst geçitlerinde yapılan yürüyen bant eğimi oranı aşağıdakilerden hangisidir?

A) %3-%15 **B)** %5-%15 **C)** %5-%20 **D)** %7-%20 **E)** %8-%25

5. Yaya alt ve üst geçitlerinde tırabzanlar, merdivenin başlangıç ve bitiminde ilk ve son basamaktan kaç cm ilerisine uzatılmalıdır?

A) 65 **B)** 60 **C)** 55 **D)** 50 **E)** 45

6. Yaya alt ve üst geçitlerinde, çevre şartları uygun ise merdiven yerine eğim oranı % kaçı geçmeyen rampalar yapılmalıdır?

A) 12 **B)** 10 **C)** 8 **D)** 7 **E)** 5

7. DIN 18024 standardına göre duyumsanabilir yüzeyler renk ve doku bakımından en az kaç cm genişliğinde farklı algılanabilir şekilde yapılmalıdır?

A) 60 **B)** 50 **C)** 40 **D)** 35 **E)** 30

8. I. Duyumsanabilir yüzey ilk basamaktan hemen önce başlamalı, merdiven bitiminde ise merdiven genişliği kadar boşluktan sonra yer almalıdır.

II. Rıht yüksekliği en fazla 15 cm olmak üzere 2h + 2b = 63 cm bağıntısı kullanılmalıdır.

III. Basamak ucunda 2,5 cm eninde koruyucu kaymaz bir şerit bulunmalı; koruyucu malzeme, takılıp düşmeyi önleyecek, çıkıntı yapmayacak, basamak yüzeyi ile düz olacak şekilde monte edilmelidir.

Yaya üst geçitlerinde yapılan merdivenlerle ilgili yukarıda verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I,II ve III

9. **DIN 18024 standardı Bölüm 1'e göre merdiven sahanlığı yön değiştiriyorsa sahanlık ölçüsü <u>en az</u> kaç cm ölçülerinde olmalıdır?**

A) 300x300 **B)** 220x220 **C)** 200x200 **D)** 180x180 **E)** 160x160

10. I. 3 basamağa kadar olan merdivenlerde tüm basamaklarda, basamak sayısı 3'ten fazla olan merdivenlerde ise ilk ve son basamakta olması gerektiği belirtilmektedir.

II. Aynı yönde devam eden merdivenli yollarda arazinin topoğrafik yapısına bağlı olarak yükseklik farkı 180 cm'den fazla ise merdivenler arasında 200 cm genişliğinde sahanlık olmalıdır.

III. Merdivenlerin başlangıcında ve sonunda görme engelliler için 120 cm uzunluğunda düz ve değişik dokuda kaplama malzemesi ile döşenmiş sahanlık olmalıdır.

DIN 18024 standardı Bölüm 1'e göre kaymaz şeritlerle ilgili yukarıda verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız II **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I,II ve III

11. **TS EN 81-70 standardı aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Şehir içi yollar kaldırım ve yaya geçitlerinde ulaşılabilirlik için yapısal önlemler ve işaretlemelerin tasarım kuralları

B) Fiziksel, duyusal ve zihinsel engelli insanları da taşıyan yolcu asansörlerine güvenli ve bağımsız erişilebilirlik ve kullanıma ilişkin asgarî kuralları

C) Hareket kabiliyeti kısıtlı kişiler için güçle çalıştırılan kaldırma platformları-Güvenlik, boyutlar ve işlevsel çalışmaya ilişkin kurallar-Bölüm 1: Dikey kaldırma platformları

D) Hareket engelliler için güç tahrikli kaldırma platformları-Emniyet, boyutlar ve işlevsel çalışma ile ilgili kurallar-Bölüm 2: Oturan kullanıcılar, ayakta duran kullanıcılar ve tekerlekli sandalye kullanıcıları için eğik bir düzlemde hareket eden güç tahrikli merdiven tipi asansör

E) Sokaklar, meydanlar, patikalar, toplu taşıma ve yeşil alanlar ile oyun alanları; Planlama ilkeleri sokaklar, meydanlar, yollar, toplu taşıma ve yeşil alanların yanı sıra oyun alanlarına yönelik gereksinimleri tanımlar

12. **Taşıt yaya trafiğini ayırmak için taşıt yolu kotunun altından geçirilerek yaya güvenliğine katkı sağlayan sanat yapılarına ne ad verilir?**

A) Karayolu geçidi

B) Yaya geçidi

C) Yaya üst geçidi

D) Yaya alt geçidi

E) Yaya hemzemin geçidi

13. **Yaya alt ve üst geçit merdivenlerinde tırabzan yüksekliği <u>en fazla</u> kaç cm olmalıdır?**

A) 100 **B)** 90 **C)** 80 **D)** 70 **E)** 60

14. **Yayaların ve engellilerin yolu geçmek için kullandıkları yerde kurulan rampalı veya merdivenli yaya geçitleri, taşıt yoluyla hangi açıda yapılmalıdır?**

A) Dik

B) Eğik

C) Eğim

D) Yanal

E) Yatay

15. **Aşağıdakilerden hangisi yaya üst geçitleri tasarım formları çeşitlerinden biri değildir?**

A) Asma

B) Kablo askılı

C) Kemer

D) Konsol

E) Öngermeli

16. **Korkuluklar, yükseklik korkusu olan kullanıcılar da düşünülerek kaç cm'nin altında olmalıdır?**

A) 150 **B)** 140 **C)** 120 **D)** 110 **E)** 100

17. **Yaya üst geçitlerinde gabari aşağıdakilerden hangisiyle ilgilidir?**

A) Araç boyutu

B) Asansör boyutu

C) İnsan boyutu

D) Merdiven basamak genişliği

E) Merdiven rıht yüksekliği

18. **Yayaların taşıt yolunu eş düzey geçmek için gerekli zamanın, alt geçidi geçmek için gereken zamandan en fazla % kaç oranda olması tercih edilir?**

A) 25 **B)** 20 **C)** 18 **D)** 16 **E)** 12

19. **Aşağıdakilerden hangisi işlev bakımından yaya köprüleri sınıflarından biri değildir?**

A) Merdivenli

B) Merdivenli asansörlü

C) Merdivenli rampalı

D) Rampalı asansörlü

E) Yürüyen merdivenli

20. **Yaya alt ve üst geçitlerinde basamak ucunda kaç cm eninde koruyucu kaymaz bir şerit bulunmalıdır?**

A) 5 **B)** 3,5 **C)** 3 **D)** 2,5 **E)** 2

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

7. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

7.1. BETONARME ALT GEÇİTLER
7.2. UYGULAMA: BETONARME ALT GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI
7.3. BETONARME ÜST GEÇİTLER
7.4. UYGULAMA: BETONARME ÜST GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI
7.5. ÇELİK ÜST GEÇİTLER
7.6. UYGULAMA: ÇELİK ÜST GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

YAPILDIKLARI MALZEMEYE GÖRE GEÇİTLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Betonarme alt geçit yapım tekniklerini ve planlar doğrultusunda incelenmesini
- Betonarme alt geçitlerin sınıflandırılması uygulamasını
- Betonarme üst geçit yapım tekniklerini ve planlar doğrultusunda incelenmesini
- Betonarme üst geçitlerin sınıflandırılması uygulamasını
- Çelik üst geçit yapım tekniklerini ve planlar doğrultusunda incelenmesini
- Çelik üst geçitlerin sınıflandırılması uygulamasını

Temel Kavramlar

ardgerme, betonarme alt geçitler, betonarme alt geçitlerin sınıflandırılması, betonarme alt geçit yapım teknikleri, betonarme alt geçitlerde planlama, betonarme üst geçitler, betonarme üst geçit yapım teknikleri, betonarme üst geçitlerde planlama, çelik üst geçitler, çelik üst geçitlerin yapım teknikleri, çelik üst geçitlerin sınıflandırılması, çelik üst geçitlerde planlama, öngerme, öngerilmeli, yaya köprüleri, yerinde dökme betonarme alt geçit, yerinde dökme betonarme üst geçit

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Betonarme alt geçitlerin yatay ve düşey taşıyıcı sistemlerini inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

7.1. BETONARME ALT GEÇİTLER

Günümüzde taşıtların ve yayaların kullanımına yönelik inşa edilen alt ve üst geçitler genellikle betonarme, çelik veya karma (betonarme+çelik) malzeme kullanılarak inşa edilmektedir. Betonarme alt ve üst geçitler; Karayolları Teknik Şartnamesi, Karayolları Tasarımı El Kitabı, TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials: Amerika Eyalet Yolları ve Ulaşım Çalışanları Kurumu) standardı, ilgili kanun, yönetmelik, standart ve şartnameler doğrultusunda projelendirilir ve inşa edilir.

7.1.1. Betonarme Alt Geçit Yapım Teknikleri

Betonarme taşıt ve yaya alt geçitlerinin taşıyıcı elemanları; kolonlar+ayaklar ya da perde yan duvarları, mesnetler, döşemeler, kirişlerden oluşur. Betonarme alt geçitler; yerinde dökme betonarme, öngerilmeli (prefabrik) veya yerinde ardgermeli betonarme şeklinde inşa edilebilir.

Öngerilmeli beton, yüksek dayanımlı beton içine yerleştirilen yüksek dayanımlı çelik halatların gerilmesiyle yapılır. Öngerilmeli beton, ardgerme ve öngerme olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılır. Öngerme ile ardgerme yöntemleri arasındaki fark, çelik halatların beton dökümü öncesinde veya sonrasında gerdirilmesidir.

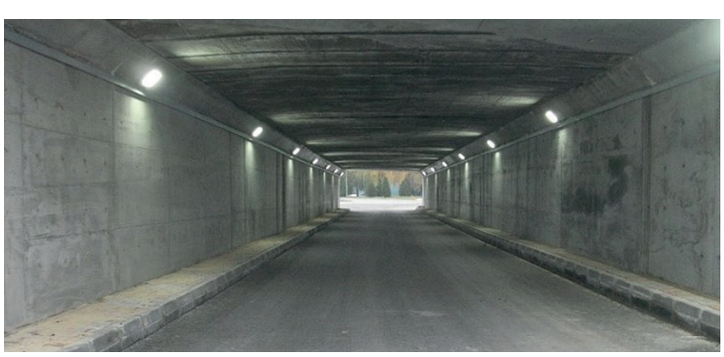
Öngerme; kalıp içerisinde çelik halatların gerdirilmesi ve üzerine beton dökülmesi yöntemidir. Beton, prizini aldıktan sonra iki ucundan çelik halatlar kesilir. Öngerme yöntemi ile tasarlanan yapısal elemanlar, atölye veya fabrikalarda önceden imal edilip sahada tek parça hâlinde yerleştirilir.

Ardgerme; betonu çekme kuvvetlerine karşı kuvvetlendirerek yüksek dayanımlı çelik halatların, beton dökümü işleminden sonra gerdirilmesi yöntemidir. Ardgerme yönteminde yüksek dayanımlı çelik halatlar, beton dökümü işleminden sonra gerdirilir. Germe işleminin yapılabilmesi için betonun belli bir dayanım kazanması gerekir. Ardgerme yöntemi ile tasarlanmış yapısal elemanların öngerme elemanlarından farkı, sahada imal edilmesidir.

Yerinde dökme betonarme alt geçitler; üzerinden karayolu, demiryolu, yaya köprüsü, su yolu veya tesisat hattı geçen kısımlarda kenar ayak ya da kenar perde duvarlara oturtulan sanat yapılarıdır. Betonarme alt geçitlerin plak döşeme şeklinde inşası daha uygun olduğundan kısa açıklıklarda kirişli alt geçitlerin yerine tercih edilir.

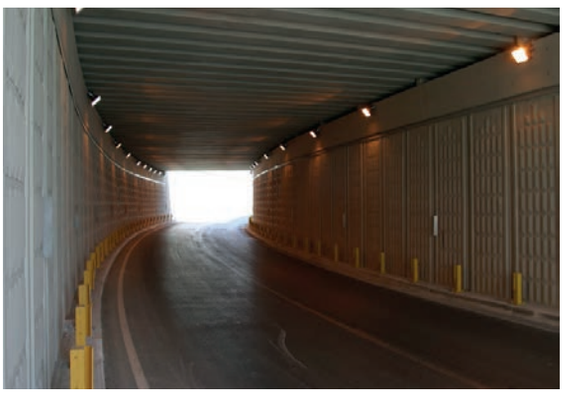
Betonarme alt geçitler, dolu gövdeli ya da boşluklu döşeme altyapısı üzerine oturtulur. Yerinde dökme alt geçitlerin açıklık sınırı, taşınması istenen ağırlığın büyüklüğüne bağlıdır. Yerinde dökme betonarme plak döşemeler, mesnet elemanları ile birlikte yekpare (tek parça) olarak dökülür.

Yerinde dökme alt geçitlerin kısa açıklıklarda sığ derinlik, geometrik esneklik, uygun yük dağıtma sistemi, gerilme ve burulma rijitliği ile az bakım gerektirmesi gibi olumlu yönleri vardır (Resim 7.1).



Resim 7.1: Yerinde dökme betonarme perde duvarlı taşıt alt geçit köprüsü iç görünümü

Betonarme alt geçit köprü elemanlarının atölye veya fabrikalarda öngerme yöntemiyle üretilerek sahada montajının yapılması ile oluşturulan alt geçitler betonarme prefabrik alt geçit köprüleri olarak adlandırılır (Resim 7.2, Resim 7.3).



Resim 7.2: Prefabrik betonarme perde yan duvarlı taşıt alt geçit köprüsü iç görünümü

Resim 7.2: Prefabrik betonarme kiriş ve kolon+ ayaklı taşıt alt geçit köprüsü görünümü

Yerinde dökme ardgerme; uzun açıklıklı alt geçit, üst geçit, köprü, viyadük vb. sanat yapılarında yaygın olarak kullanılır. Alt geçit köprü döşemesinin uzunluğuna, çevresel etkilere göre yekpare ya da parçalar hâlinde, standart kalıp ve iskeleler kullanılarak betonarme donatıların projesine uygun şekilde yerleştirilmesi ve betonun dökülmesiyle inşa edilir. Alt geçit köprü döşemesi ardgerme yönteminde genellikle genleşme derzi bırakılmadan yekpare yapılabilir. Böylece oluşturulan hiperstatik sistem ile beton ve ardgerme halatları verimli kullanılır.

Ardgerme yönteminde uygulama aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılır.

1. Beton dökülmeden önce donatıların içerisine koruyucu kılıflar yerleştirilir.
2. Beton döküldükten sonra ardgerme halatları koruyucu kılıfların içerisine sürülür.
3. Hidrolik krikolar kullanılarak proje aşamasında hesaplanan basınç kuvvetleri altında çelik halatlar gerilir.
4. Gerilme işleminin ardından ardgerme halatları kesilir.
5. Kılıflara daha önce yerleştirilen hortumlardan özel çimento şerbeti basınçla yerleştirilir.

Ardgerme yönteminde kılıflara özel çimento şerbetinin yerleştirilmesi korozyona ve dış etkenlere karşı direnci çok yükseltir. Alt geçit yapı elemanlarının kesitlerini azaltacağından ekonomik olur. Ardgerme yöntemi aynı zamanda alt geçit köprü yapısının depreme karşı dayanıklılığını arttırır. Ardgerme, köprülerde çok büyük açıklıkların geçilmesini ve kiriş sürekliliğini sağlar. Ardgerme yöntemiyle estetik ve daha uzun açıklıklı viyadük, köprü vb. sanat yapıları yapılabilmektedir.

7.1.2. Betonarme Alt Geçitlerin Planlar Doğrultusunda İncelenmesi

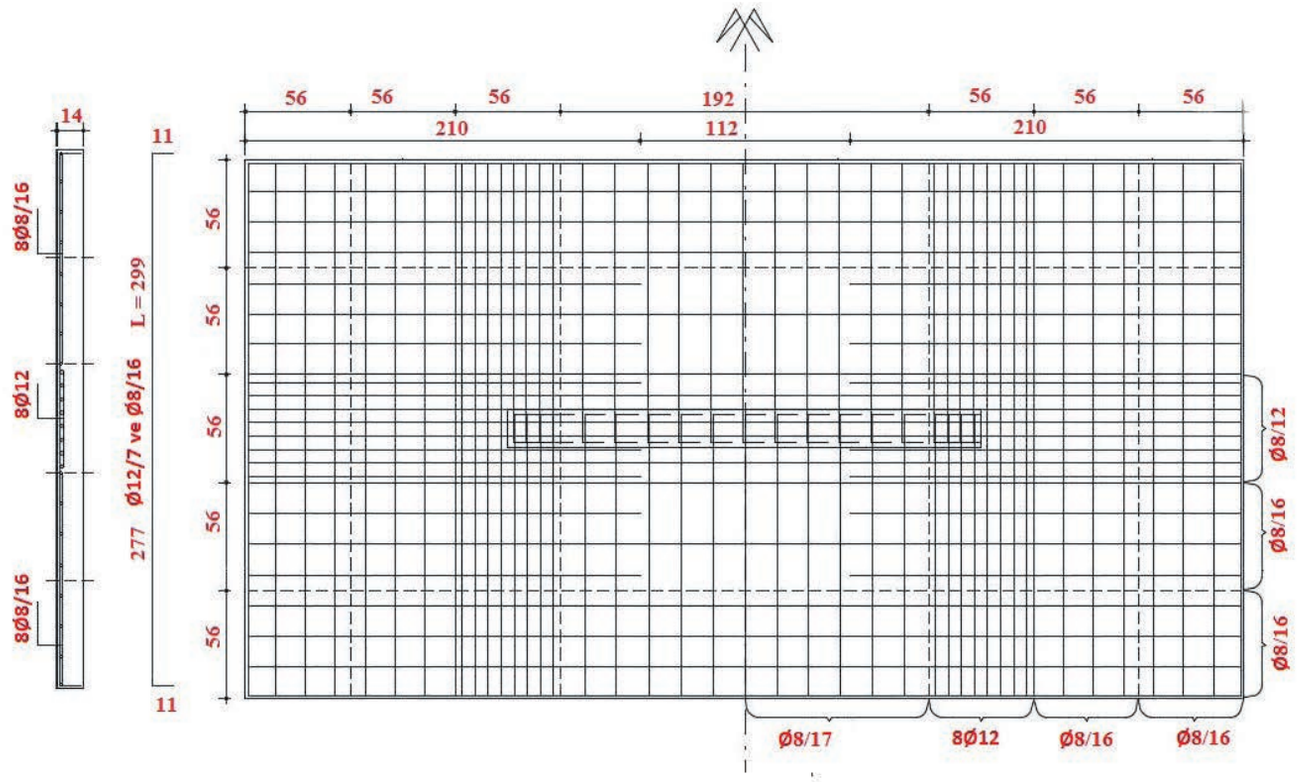
Betonarme taşıt ve yaya alt geçit köprülerinin planlama prensipleri genel olarak aynıdır. Tek farkı, alt geçit döşemesinin üzerinden yaya veya taşıt trafiğinden hangisinin geçeceği durumudur. Her iki durumda da alt geçit yüksekliği, açıklığı, düşey taşıyıcılara ve yatay taşıyıcılara etki eden hareketli yükler, sabit yükler, deprem vb. yanal etkiler dikkate alınarak statik ve betonarme hesapları yapılır. Hesaplamalar ile betonarme alt geçit köprü elemanlarında kullanılması gereken donatılar ve köprü elemanlarının boyutları belirlenir.

Yerinde dökme betonarme alt geçit köprülerinin döşemeleri 5-30 m arası açıklıkta yapılabilir. 10 m'ye kadar açıklıkta yerinde dökme betonarme alt geçit köprü döşemeleri; sabit derinlikli, dolu gövdeli betonarme plak şeklinde yapılır.

Açıklıklarına göre betonarme alt geçit köprülerinde;

- 8 m'nin üzerinde betonarme dolu gövdeli plaklarda 0,60 m,
- 10-20 m'ye kadar açıklıktaki boşluklu betonarme plaklarda 1,20 m,
- 15-30 m boşluklu öngerilmeli plaklarda 1,50 m'ye kadar plak kalınlığı yapılabilir.

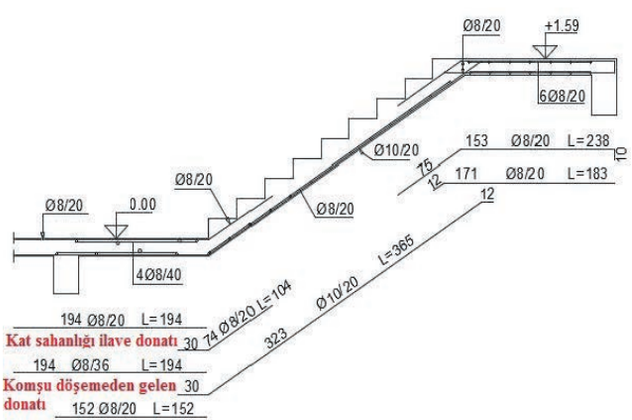
Sabit derinlikli dolu gövdeli betonarme yaya alt geçit köprü plak döşeme donatı planı örneği Şekil 7.1'de verilmiştir.



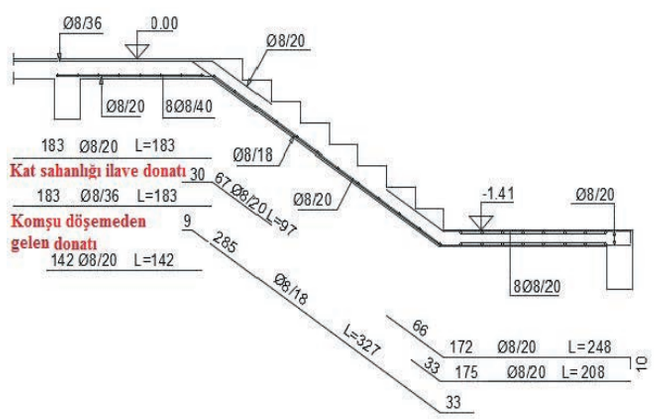
Şekil 7.1: Betonarme yaya alt geçit köprüsü plak döşeme donatı planı

Boşluklu betonarme plak ve boşluklu öngerilmeli plaklarda boşluklar, genelde dairesel veya dikdörtgen kesitlidir. Boşlukların derinliği, plak derinliğinin %60-%80 arasında alınması uygun olur ve plak tek bir levha gibi davranır. Boşluklar bu sınırı aşınca plak hücresel döşeme davranışı gösterir. Boşluklar, açıklık boyunca yapılabildiği gibi sadece açıklık ortası boyunca da yapılabilir. Bu durumda mesnetlere yakın kesimlerde, kesme kuvvetlerini karşılamak ve yükü taşımak için plak döşeme dolu gövdeli yapılır.

Betonarme yaya alt geçit köprü merdivenine ait sıfır kotu üstü ve sıfır kotu altı merdiven sahanlık, merdiven kirişi ve alt geçit köprü döşemesi bağlantısına ait donatı açılım örnekleri Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.2: Betonarme yaya alt geçit köprü merdiveni donatı açılımı (sıfır kotu üstünde kalan kesit)



Şekil 7.3: Betonarme yaya alt geçit köprü merdiveni donatı açılımı (sıfır kotu altında kalan kesit)

SIRA SİZDE

Betonarme yapı elemanlarının inşasında uygulanan öngerme yöntemi ile ardgerme yöntemi arasındaki farklıkları aşağıdaki boşluğa yazınız.

BİLGİ KUTUSU

Betonarme yaya alt geçit köprülerinin yatay taşıyıcı (döşeme, kiriş, merdiven kirişleri) ve düşey taşıyıcı (kolon, ayak, perde duvar vb.) elemanlarının donatı aralıkları, donatıların kalıba yerleştirilip bağlanması ve beton kalitesinin projesine uygun şekilde yapılmasına özen gösterilmelidir. Projesine uygun şekilde inşa edilen betonarme yapı elemanlarının deprem, sel vb. afetler karşısında zarar görmeden ayakta kalacağının, mal ve can kayıplarının önüne geçilebileceğinin bilincinde olunmalıdır.

SIRA SİZDE

Yerinde dökme betonarme alt geçitlerin olumlu yönlerini aşağıdaki boşluğa yazınız.

SIRA SİZDE

Betonarme alt geçit köprü elemanlarının imalatında kullanılan ardgerme yöntemi uygulaması işlem sırasını aşağıdaki boşluğa yazınız.

7.2 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BETONARME ALT GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bu çalışmanın amacı, betonarme alt geçitlerin sınıflandırılması ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Betonarme alt geçitlerin sınıflandırılması ile ilgili uygulamaları, işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Betonarme alt geçit (Resim 7.4).

Resim 7.4: Betonarme alt geçit

İstenenler

Resim 7.4'te verilen betonarme alt geçidi inceleyerek sınıfını, yapım yöntemini, yapılış amacını, taşıyıcı sistemlerini, tasarım formunu belirleyiniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda verilen betonarme alt geçit inşa sistemine dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Betonarme alt geçidin sınıfı belirlenir.
2. Betonarme alt geçidin yapım yöntemleri belirlenir.
3. Betonarme alt geçidin yapılış amacı belirlenir.
4. Betonarme alt geçidin yatay ve düşey taşıyıcı sitemleri belirlenir.
5. Betonarme alt geçidin tasarım formu belirlenir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Betonarme alt geçidin sınıfını belirlediniz mi?		
2	Betonarme alt geçidin yapım yöntemlerini belirlediniz mi?		
3	Betonarme alt geçidin yapılış amacını belirlediniz mi?		
4	Betonarme alt geçidin yatay ve düşey taşıyıcı sitemlerini belirlediniz mi?		
5	Betonarme alt geçidin tasarım formunu belirlediniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	45	45	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Betonarme üst geçitlerin taşıyıcı sistemlerini inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

7.3. BETONARME ÜST GEÇİTLER

Betonarme üst geçit taşıyıcı elemanları, beton ve betonarme çelikleri ile oluşturulur. Betonarme üst geçit sistemlerinde basınç kuvvetlerini beton, çekme kuvvetlerini betonarme çeliği karşılar.

Betonarme üst geçit yapı elemanları imalat şekline göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

Yerinde dökme sistemler; üst geçit yapı elemanlarının tamamının kalıplarının yapılması, donatıların yerleştirilmesi ve betonunun yerinde dökülmesi şeklinde inşa edilir.

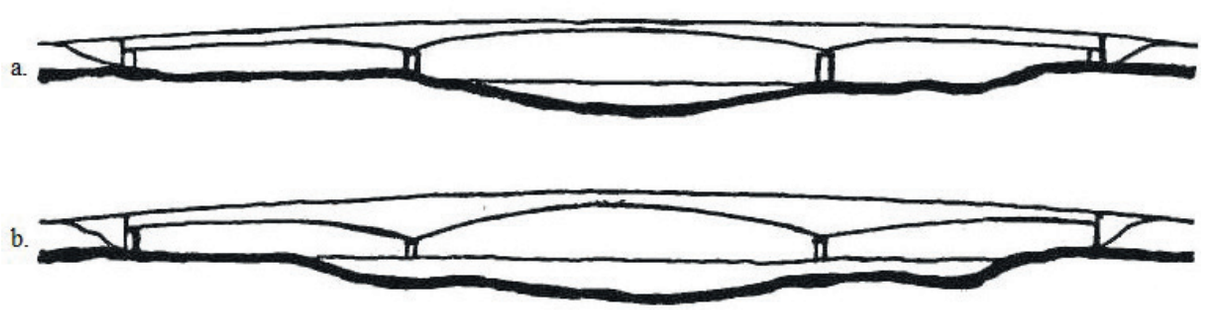
Prefabrik sistemler; üst geçit taşıyıcı elemanlarının fabrikalarda projesine uygun şekilde hazırlandığı, montaj sahasına nakledildiği ve montajının gerçekleştirildiği sistemlerdir.

Karma sistemler; üst geçit yapı elemanları olan kolon ve kirişlerin çelik ve/veya metal malzeme, döşeme sisteminin betonarme yerinde dökme veya prefabrik olarak inşa edildiği sitemlerdir.

7.3.1. Betonarme Üst Geçit (Yaya Köprüsü) Yapım Teknikleri

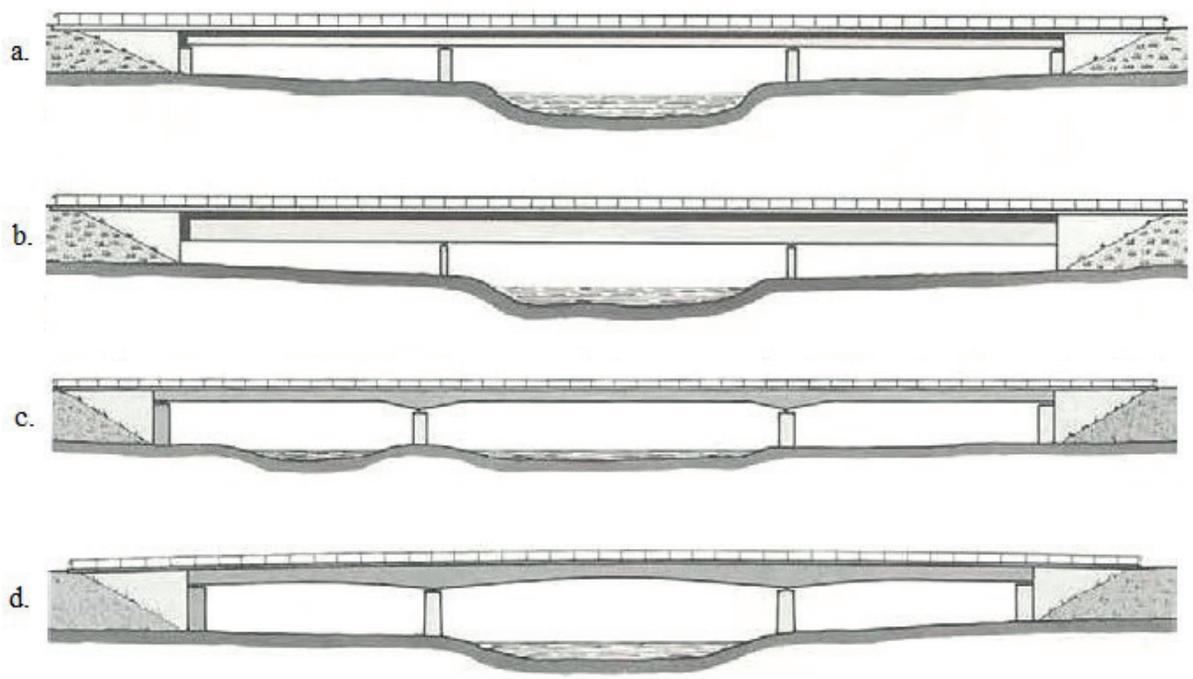
Betonarme üst geçit taşıyıcı sistemleri; kirişli, çerçeve, kemerli ve karma taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılır. Betonarme kirişli üst geçit sistemlerinde, açıklık büyüdükçe ağırlık artacağından gerekli olan çekme malzemesinin yerleştirildiği kiriş gövdesi geniş tutulur. Ağırlığın artmasıyla çekme kuvvetlerini karşılayan betonarme çeliklerinin miktarı da artacağından kiriş gövdesinde çatlaklar oluşur. Bu tür olumsuzlukları ortadan kaldırmak için çelik halatlarla ilkel gerilme yöntemi kullanılır. İlkel gerilme yönteminde açıklıklar iki katına kadar çıkarılabilmektedir.

Guseli kirişli yaya köprülerinin ayaklarına doğru kiriş üçgenler şeklinde takviye edilerek yüklerin aktarılması kolaylaştırılır. Döşemenin yatay çizgisi düz ise kiriş düz çizgilerle, eğrisel ise eğrisel çizgilerle biçimlendirilir. Köprü kenarlarında kiriş boyutunda büyüme olmamaktadır. Kirişin köprü ayağının üzerindeki kalınlığı, açıklığın ortasındaki kalınlığın iki katından fazla yapılmamalı ve taşıyıcı ayakların ebatları uygun şekilde boyutlandırılmalıdır [Şekil 7.4(a, b)].



Şekil 7.4(a, b): Kirişli yaya köprüsü krokileri

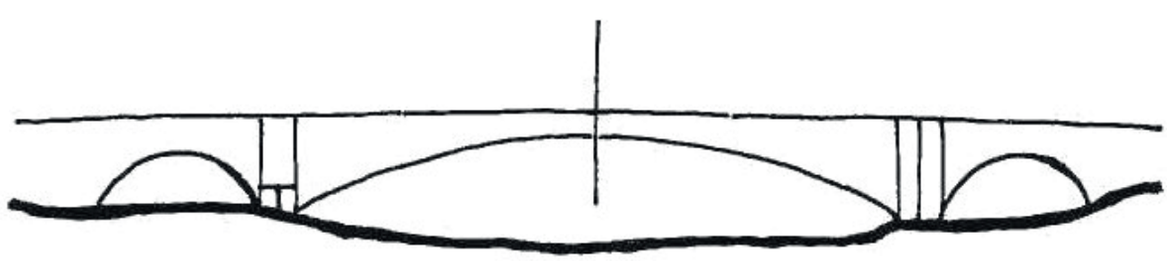
Betonarme düşey taşıyıcı kolonları olan çerçeve üst geçit sistemlerinde, sürekli kirişlerden bağımsız mesnetlerindeki ankastreler daha sağlam olacak şekilde yapılır. Çerçeve üst geçit sistemlerinin tek sakıncası, kirişlerin taşıyıcı kolonlara rijit olarak bağlanmasından dolayı rötre ve hava ısısı sonucunda eğilme momentlerinin oluşmasıdır. Bu nedenle sürekli kirişler yerine çerçeveler oluşturulduğunda daha fazla açıklıklar elde edilir. Yerinde dökme betonarmeye nazaran öngerilmeli betonarme elemanlarla açıklıkları daha fazla yaya köprüleri inşa edilir [Şekil 7.5(a, b, c, d)].



Şekil 7.5(a, b, c, d): Betonarme çerçeve sistemlerinde yaya köprüsü krokileri

Öngerilmeli betonarme elemanlarında betonarme çeliği atölye veya fabrikalarda önceden çekilerek uzatılır ve daha sonra serbest bırakılarak oluşan yükler betona aktarılır. Böylece çeliğin bünyesinde çekme sonucu oluşan yükler aderans nedeniyle betona aktarılarak basınç ile yüklenmektedir. Öngerilmeli elemanların gerçek emniyet faktörü, standart betonarme elemanlara oranla daha fazladır.

Kemer köprüler tasarlanırken taş kemerlerin güçlü masif etkileri göz önünde tutulur. Kemer üzerindeki örgü ince ise taş parapet kullanılarak istenen doluluk sağlanır. Kemerler arasındaki ayakların yeterli kalınlıkta, açıklık genişliklerinin ve yüksekliklerinin orantılı olması gerekir. Kemer ayaklarının betonarme ile yapılan türleri de bulunmaktadır. Tekrarlanan aynı boyuttaki kemerler arasındaki ayaklar, genellikle kemer eğrisinin başladığı yere kadar yükselir. Ana açıklık kemeri söz konusu ise formun getirdiği itme kuvvetini karşılayabilmek için ayaklar yüzeyden dışarı çıkıntı yapar. Bazen ayaklar tamamen döşemeye kadar yükselir (Şekil 7.6).

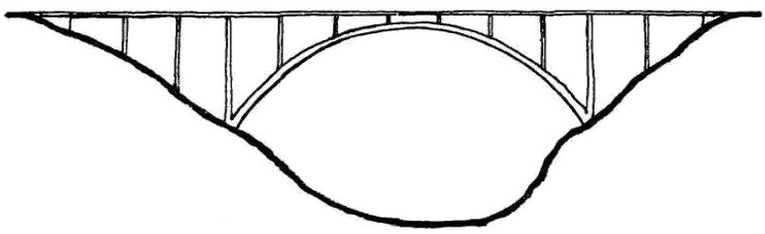


Şekil 7.6: Kemer yaya köprüsü krokisi

Kemer köprüsünün temeli sağlam ise kemer yüksekliğinin açıklığına oranı 1/11'den az seçilmelidir. 35-40 m'nin üzerindeki açıklıklarda bu oran 1/7'den fazla olduğunda kemerin duvar yüzeyleri aşırı görüneceğinden kemerler açılarak yükselir.

Kemer tipi üst geçit sistemlerinde, betonarme ve çelik konstrüksiyonla yapılan ilk örnekler form olarak taş kemer köprülerle benzer özelliklerdedir. Strüktürdeki genişlik, açıklığın 20-40 m arasında olduğu durumlarda daha kolay ve gerçek kemerden daha az maliyetli olan kemer biçimli düşey duvarlar karşılıklı olacak şekilde inşa edilir.

Kemer açıklığı 30 m'den fazla olduğunda, kemer yüksekliği arttıkça kapalı duvar yüzeylerinin görünümü ağır olur. Yaya köprüsünün döşemesi, kemerler üzerinden enine duvarlar veya kolonlarla taşınır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7: Destekli kemer yaya köprüsü krokisi

Kemer yüksekliği fazla ise döşemeyi taşıyan destek elemanları, kemerin tepe noktasının üstünden devam ettirilir. Aksi hâlde döşeme ile kemer teğet konumda birleşir. Bu durumlarda kemer basıklaştıkça formun etkisi belirginleşir. Düz yerlerde tercih edilen kemerin döşeme seviyesinin üzerine çıkarak üst geçidin yükü asma kablolarla taşıttırılır. Kemer konumu, üst geçit yapılacak yerin özelliklerine ve tasarımına bağlı olarak ayarlanır. Kemer, tamamen döşemenin üzerinde yer alabileceği gibi kısmen de döşeme seviyesinin altında olacak şekilde inşa edilebilir.

Karma üst geçit sistemleri; ahşap, taş, beton ve çeliğin birlikte kullanılmasıyla yapılan karma malzemeli yaya üst geçit köprülerdir. Köprü ayak, kiriş ve döşemesinin farklı malzemelerden yapıldığı köprülerde; düşey taşıyıcı elemanları çelik konstrüksiyon, betonarme veya taş malzemeyle, yatay taşıyıcı elamanları ise çelik konstrüksiyon, ahşap veya betonarme malzemeyle yapılabilir.

7.3.2. Betonarme Yaya Köprüleri (Yaya Üst Geçitleri) Farklı Tasarım Örnekleri ve Yapım Teknikleri

Vatan Caddesi Fındıkzade Yaya Üst Geçidi: İstanbul Vatan Caddesi üzerinde Fındıkzade'de yapılan yaya üst geçidi taşıyıcı sistemi, betonarme kolonlar üzerine oturan boyutları yükseklikleri yerine uygun şekilde montajı yapılmış çelik kirişler bulunmaktadır. Bu çelik kirişler, betonarme döşeme plağını taşıyacak şekilde inşa edilmiştir. Betonarme döşeme plağının oturduğu betonarme kolonların konumları dağınık bir düzendedir. Kolon başlarına merkez etrafında ışınsal olarak bağlanan kirişlerin uzunlukları, kolon yerlerine ve açıklıklarına göre farklılaşmaktadır.

Yaya üst geçidinin betonarme döşeme plağının çeperleri ve üst geçit çevresindeki yükseklikler çelik kafes kirişlerden oluşturulmuştur. Bu kafes kirişler, yol boyunca geçişi ve geniş döşeme plağının stabilitesini sağlamaktadır. Asansörlerin çevresindeki çelik örgüler, düşey taşıyıcılara destek olacak şekilde yapılmıştır.

Yaya üst geçidinde öncelikle düşey taşıyıcılar, asansörler ve merdivenleri taşıyacak yapısal elemanlar inşa edilmiştir. Daha sonra yapının Vatan Caddesi ve tramvay yolu üzerine denk gelmeyen bölümleri geçici iskeleler kurularak inşa edilmiştir. Çevre kafes kirişlerinin Vatan Caddesi üzerine denk gelen kısımları, araç trafiğini işgal etmemek amacıyla prefabrik olarak montajı yapılmıştır. Son aşamada ise betonarme döşeme plağı yerinde dökme şeklinde yapılmıştır (Resim 7.5).

Resim 7.5: İstanbul, Vatan Caddesi Fındıkzade yaya üst geçidi (yaya köprüsü) iç görünüm

Yaya trafiğinin yoğunlaştığı noktalar, kaldırım kotunda düz kollu merdivenler ile havaya kaldırılarak üst meydana girişler verilmiştir. Yaya üst geçidi formu yaya aksları baz alınarak oluşturulmuştur. Keskin köşeler, yaya hareketlerinin birbirleriyle çakışmasını ve kendi aralarındaki geçişleri kolaylaştırmak amacıyla yumuşak geçişlerle sağlanmıştır (Resim 7.6).

Resim 7.6: İstanbul, Vatan Caddesi Fındıkzade yaya üst geçidi (yaya köprüsü) dış görünüm

Meydan dış ve iç cepheleri, bir peyzaj çeperi oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Bu peyzaj çeperi birçok noktada şeffaflaştırılarak meydanın çevre alt kot ve kentsel derinlik ile ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Cephenin etrafında bulunan taşıyıcı sistemin iç kısmında, bitkilerin ekilebileceği kesintisiz bir saksı sistemi oluşturulmuştur. Peyzaj cephelerde asma, sarmaşık ve benzeri bitkiler bulunmaktadır. Meydan üzerinde açılan deliklere, alt kotta bulunan tramvay istasyonuna inen merdivenler asılmıştır.

Caddenin iki yakası ve orta alanda bulunan peronlara varmak isteyen engelli yayalar için farklı noktalarda asansörler konumlandırılmıştır. Aydınlatma elemanları peyzaj düzenlemesi içinde gömülü olarak düşünülmüştür. Meydanın alt kısmındaki kolon başlarına aydınlatmalar entegre edilmiştir. Ayrıca noktasal olarak peron üzerinde direkt aydınlatmalar planlanmıştır.

HolKa Yaya Köprüsü: Prag kentinde, Vltava Nehri üzerinde taşıyıcı sistemi betonarmeden ve kaplaması mermerden yapılan estetik bir formla inşa edilmiştir. Köprü, Prag kentinin Holešovice, Karlín yerleşim yerlerine olan kıyılarla ve Štvanice adasına bağlantıyı sağlamaktadır. HolKa olarak adlandırılan Štvanice Footbridge minimalist bir tasarım ile şehir yaşamına dâhil edilmiştir. Farklı karakteristik özelliklere sahip karşılıklı iki kıyı ve nehirdeki ada arasında bir sirkülasyon ağı oluşturulmuştur (Resim 7.7).

Resim 7.7: Prag, HolKa Yaya Köprüsü genel görünüm

Betonarme yaya köprüsü, yekpare bir mermer yapıya benzetilmiştir. Üç ana ayaktan oluşan, yaya ve bisikletliler için yapılan köprü; Vltava Nehri üzerindeki Štvanice Adası ile nehrin ayırdığı Holešovice ve Karlín semtlerini birbirine bağlamaktadır (Resim 7.8).

Köprü, yayalar ve bisikletliler için yumuşak bir eğimle tasarlanmıştır. Yaya hareketinin dinamiklerine bağlı olarak engelsiz düzgün bir yol geliştirilmiştir. Düz hatlara sahip köprü, Prag kentinin genel görünümüne dikkat çekmeden dâhil olmaktadır. Diğer yandan işlevi ile şehrin iki farklı karaktere sahip semtleri arasında etkili bir rol üstlenmektedir (Resim 7.9).

Köprünün yol kısmı "H" şeklinde kesintisiz betonarme kiriş ve plak döşeme ile inşa edilmiştir. Yaya köprüsünde parlak yüzeye sahip ultra yüksek performanslı, fiber takviyeli beton kullanılmıştır. "H" şeklindeki kiriş aynı zamanda köprünün iki kenarı boyunca parapet oluşturmuştur. Köprünün kiriş kısmı 57 adet prefabrik yapısal parçadan oluşmaktadır (Resim 7.10).

Resim 7.9: Prag, HolKa Yaya Köprüsü kolonları kısmi görünüm

Resim 7.8: Prag, HolKa Yaya Köprüsü döşemesi kısmi görünüm

Resim 7.10: Prag, HolKa Yaya Köprüsü

Ormanya Parkı Yaya Üst Geçidi: Kocaeli Ormanya Parkı'na, D-100 Karayolu üzerinden güvenli yaya ulaşımını sağlayan üst geçit tasarımıyla dikkat çekmektedir. Ormanya Parkı yaya üst geçidi, 45 metre uzunluk ve 4 metre genişlikte betonarme ve çelik malzeme kullanılarak karma bir yaya üst geçidi olarak planlanmıştır (Şekil 7.8).

Şekil 7.8: Kocaeli, Ormanya Parkı yaya üst geçidi (yaya köprüsü) ve D-100 Karayolu genel görünüm

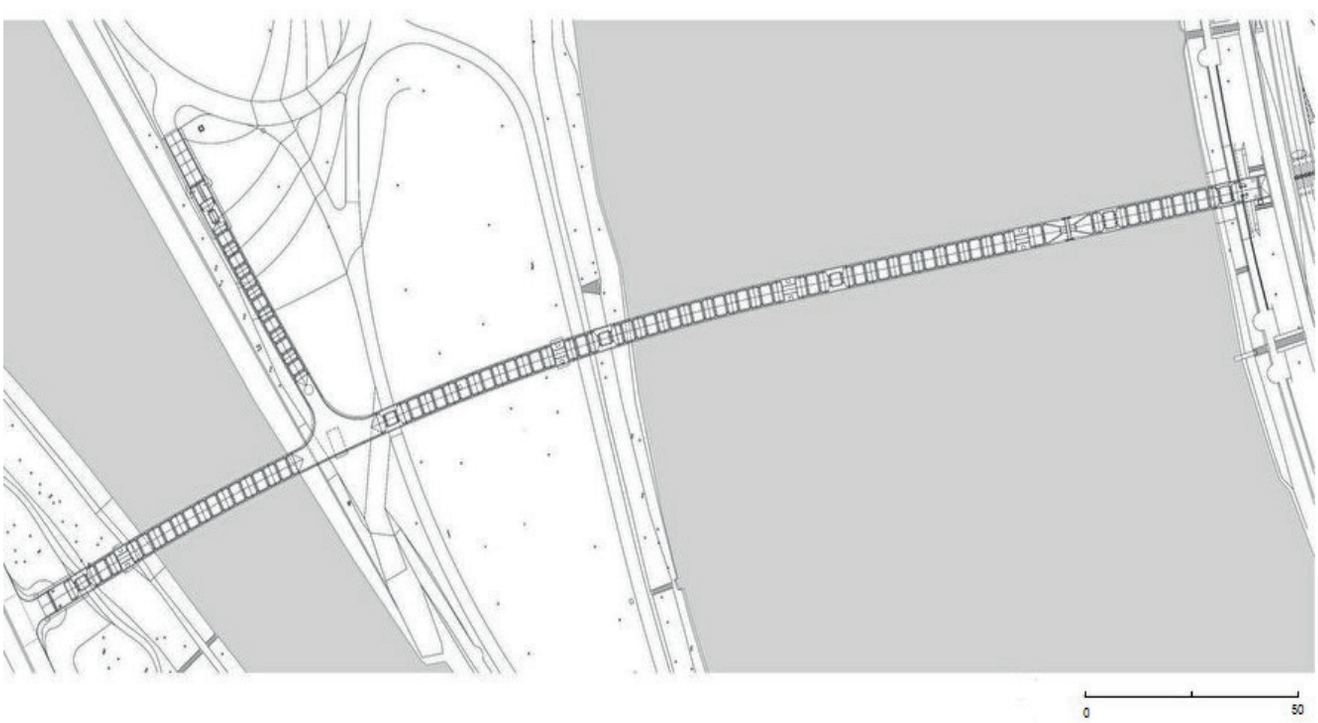
Ormanya Parkı yaya üst geçidi merdivenleri betonarmeden ve üzeri granit kaplamadan yapılmıştır. Merdiven saksılıkları, merdiven basamağı ve merdiven saksılık parapetleri beton malzemeden yapılmıştır. 3 adet betonarme kolon üzerine oturan çelik döşeme kirişleri bulunmaktadır. Ağaç desenli, yüzey kaplamalı üst geçidin çelik döşeme kirişlerinin korozyona karşı koruma tedbirleri alınmıştır. Üst geçit döşemesi betonarmeden, üzeri ise granit kaplama yapılmıştır. Üst geçidin kolonları beton, ana kirişleri çelik malzeme ve döşemesi betonarme olarak inşa edilmiştir.

Yaya üst geçidinin iki kenar ve orta bölümündeki ayakları ağaç şeklinde tasarlanarak betonarme yapı olarak inşa edilmiştir. Oluşturulan bu tasarım formu ile görsel zenginlik sağlanan üst geçidin üstündeki saksılar ise mevsimlere uygun bitkisel süslemeler için yapılmıştır (Şekil 7.9).

Şekil 7.9: Kocaeli, Ormanya yaya üst geçidi D-100 Karayolu üzeri geçiş modellemesi

7.3.3. Betonarme Üst Geçitlerin Planlar Doğrultusunda İncelenmesi

Şekil 7.10'da Prag, HolKa Yaya Köprüsü genel vaziyet planı verilmiştir. Planda nehir ve kolları üzerinde betonarme strüktürle inşa edilen üst geçit, estetik formlarla tasarlanarak yerleşim yerleri kıyıları ile ada bağlantısını sağlamak amacıyla planlanmıştır.

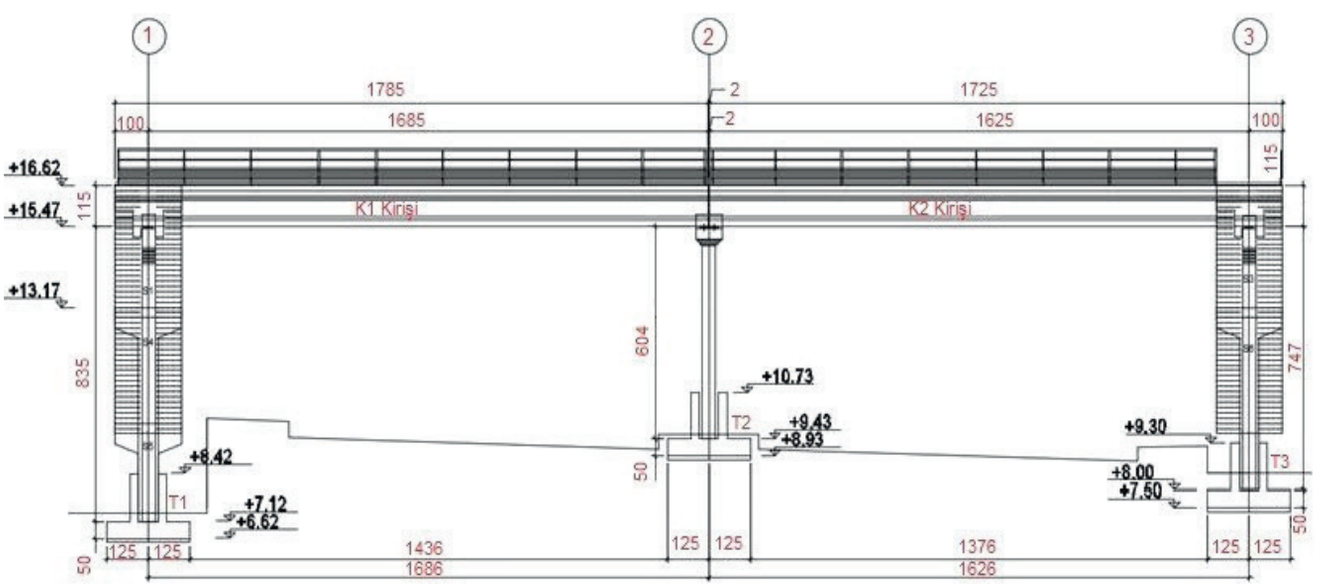


Şekil 7.10: Prag, HolKa Yaya Köprüsü vaziyet planı krokisi

Resim 7.11'de taşıyıcı sistemi betonarme malzeme ile inşa edilen Prag, HolKa Yaya Köprüsü genel görünümü verilmiştir.

Resim 7.11: Prag, HolKa Yaya Köprüsü inşa sonrası genel görünümü

Betonarme üst geçitler, alt geçit, köprü ve viyadüklerde olduğu gibi yükseklik ve açıklık, yaya sirkülasyonu, sabit yükler, yanal yükler olan deprem, rüzgâr yükleri gibi parametreler dikkate alınarak tasarlanır ve üst geçitlerin statik betonarme hesapları yapılır. Hesaplamalar sonucu üst geçit kolon+ayak, kiriş, plak döşeme, merdiven donatıları ve boyutları belirlenir. Betonarme prefabrik üst geçit planı x-x yönü kesit örneği Şekil 7.11'de verilmiştir. Kesitte üst geçit kolon+ayak yükseklik ve kesit yönü boyutları, aks mesafeleri ile üst geçit kirişleri, döşemesi, merdiven, korkuluk elemanlarının kotlu ölçülendirmeleri, kesit ve görünüş kısımları verilmiştir.



Şekil 7.11: Betonarme prefabrik üst geçit planı x-x yönü üst geçit kesiti

BİLGİ KUTUSU

Betonarme yaya üst geçitlerin tasarımı sadece bir tasarım ögesi olarak ele alınmamalı ve üst geçidin yerleştirildiği mekân, mekânın çevresi ve diğer kent mobilyaları ile bir bütünlük sağlamasına dikkat edilmelidir. Yaya üst geçitlerinin tasarımında özgünlük ve farklı tasarım anlayışı ön planda tutulmalıdır.

Betonarme üst geçitlerin yapısal tasarım sürecinde mühendisler; zemin taşıyıcı sistem ilişkisini, inşa edilecek üst geçidin çevreyle uyumu ve doğal yıpranmaya karşı dayanıklılığını göz önüne alarak plan yaparlar. Mimarlar ise üst geçitlerin yapısal tasarımını esas alarak kentin siluetine sanatsal, estetik formlarla eser kazandırmayı amaçlarlar.

7.4 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BETONARME ÜST GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bu çalışmanın amacı, betonarme üst geçitlerin sınıflandırılması ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

Betonarme üst geçitlerin sınıflandırılması uygulamasını, işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Betonarme üst geçit modellemesi (Şekil 7.12).

Şekil 7.12: Betonarme üst geçit modellemesi

İstenenler

Şekil 7.12'de tasarım modellemesi verilen betonarme üst geçidin sınıfını, inşasında kullanılması gereken yöntemleri, yapılış amacını, taşıyıcı sistemlerini, kullanılan erişim sistemlerini ve tasarım formunu belirleyiniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda şekilde verilen betonarme üst geçit modellemesini teknik planlamalar doğrultusunda incelemeye dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Betonarme üst geçidin sınıfı belirlenir.
2. Betonarme üst geçidin inşasında kullanılabilecek yöntemler listelenir.
3. Betonarme üst geçidin yapılış amacı belirlenir.
4. Betonarme üst geçidin yatay ve düşey taşıyıcı sistemleri listelenir.
5. Betonarme üst geçitte tasarlanan erişim sistemleri listelenir.
6. Betonarme üst geçit tasarım formu belirlenir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Betonarme üst geçidin sınıfını belirlediniz mi?		
2	Betonarme üst geçidin inşasında kullanılabilecek yöntemleri sıraladınız mı?		
3	Betonarme üst geçidin yapılış amacını belirlediniz mi?		
4	Betonarme üst geçidin yatay ve düşey taşıyıcı sistemlerini listelediniz mi?		
5	Betonarme üst geçitte tasarlanan erişim sistemlerini listelediniz mi?		
6	Betonarme üst geçit tasarım formunu belirlediniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	45	45	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Çelik üst geçitlerin taşıyıcı sistemlerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

7.5. ÇELİK ÜST GEÇİTLER

Yayaların karşıdan karşıya geçişini sağlayan, çelik strüktür kullanılarak inşa edilen geçitler **çelik yaya üst geçidi** ya da **çelik yaya üst geçit köprüsü** olarak adlandırılır. Çelik yaya köprüleri; çeşitli strüktürlerin, malzemelerin ve birleştirme elemanlarının bir arada kullanılmasıyla tasarlanır.

Çelik üst geçit elemanlarında birleşimler; boy uzatmak, en kesiti büyütmek veya düğüm noktalarını düzenlemek amacıyla birleşim araçları kullanılarak yapılır. Çelik elemanların birleşimleri; perçinli, bulonlu (cıvatalı) ve kaynaklı olmak üzere üç şekilde yapılır. Sökülemeyen birleşimler, perçin veya kaynakla; sökülebilen birleşimler ise bulonlarla düzenlenir.[Şekil 7.4(a, b)]'de bulonlu ve kaynaklı birleşim örnekleri verilmiştir.

a) Bulonlu birleşim

b) Kaynaklı birleşim

Resim 7.12(a, b): Çelik yapı elemanlarında bulonlu ve kaynaklı birleşim

Yüksek dayanımlı çelik konstrüksiyon malzemesinin üretimi ve kaynak yapım niteliklerinin gelişmesiyle perçinli birleştirmelerin yerini dayanımı yüksek, kaynaklı ve bulonlu birleştirmeler almıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda eğik ayaklı çerçeve, kafes kirişli ve kirişli üst geçit biçimlerinin tasarımı gerçekleştirilebilmektedir. Teknolojik üstünlükleri nedeniyle çelik yaya üst geçit köprüleri ülkemizde ve dünyada en fazla uygulaması yapılan yaya köprüleridir.

7.5.1. Çelik Üst Geçit Yapım Teknikleri

Çelik konstrüksiyonla inşa edilen üst geçitler, betonarme üst geçitlere göre üst düzey avantajlara sahiptir. Çelik malzeme ile yapılan üst geçit sistemleri yapısı gereği yüksek güvenlik, kolay kurulum ve dayanıklılık gibi avantajlar sağlar. İnşa öncesi yapılan yük, ağırlık gibi hesaplamalar ve malzeme testleri ile güvenlik yüksek seviyeye çıkarılırken çevresel koşullar da göz önünde bulundurulur.

Çelik konstrüksiyonlu üst geçitler herhangi bir olumsuzluk oluşturmayacak ve uzun yıllar varlığını sürdürecek şekilde inşa edilir. Son yıllarda çelik köprülerin inşasında kullanılan sistemler benzer şekilde çelik yaya üst geçitlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Çelik üst geçitlerin eğik ayaklı çerçeve, kafes kirişli, kirişli, plak döşeme, asma sistem gibi türleri bulunmaktadır (Resim 7.13).

Resim 7.13: Çelik üst geçit (kirişli sistem)

SIRA SİZDE

Çelik üst geçit elemanlarında birleşimler hangi amaçlar için yapılır? Aşağıdaki boşluğa yazınız.

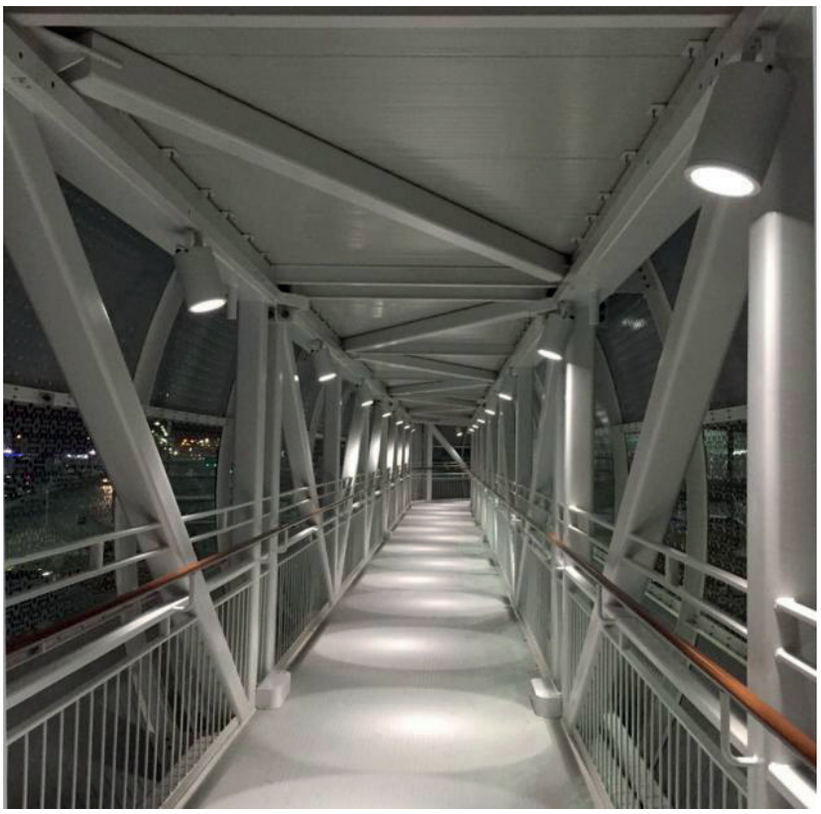
Çelik kirişli sistemlerde düşey taşıyıcı kolonlar, yatay taşıyıcı ana ve ara kirişler çelik malzemeden yapılır. Yatay taşıyıcı döşeme sistemi ise açıklık mesafesine göre çelik, betonarme plak veya ahşap malzeme kullanılarak yapılabilmektedir (Resim 7.14).

Resim 7.14: Çelik yaya köprüsü (rampalı çelik plak döşeme sistemi)

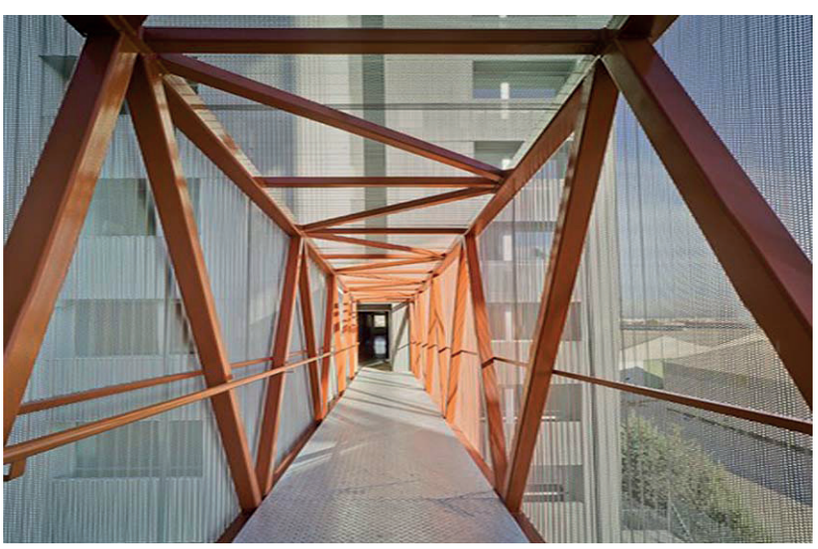
Hastane, alışveriş merkezi, iş merkezi, yapı blokları gibi büyük yapılar ve şantiye alanlarında geçici olarak hızlı, güvenli bir geçiş için kirişli plak döşeme çelik yaya köprüleri inşa edilmektedir (Resim 7.15).

Resim 7.15: Çelik yaya köprüsü (binalar arası geçiş için yapılan kirişli ve plak döşeme sistemi)

Çelik kirişlerin üçgenlere bölünmesiyle oluşturulan kafes kirişli yaya köprüleri daha büyük mesafelerin geçilmesinde tercih edilir. Eğik ayaklı çerçeve sistemlerde, taşıyıcı çerçevenin ayakları çelik diyagonal ve yatay taşıyıcıları kirişlerden oluşturulur. Eğik ayaklı çerçeve sistemler karayolu, akarsu vb. üzerine yapılabildiği gibi binalar arası geçişlerin sağlanması amacıyla da inşa edilmektedir (Resim 7.16, Resim 7.17).



Resim 7.16: Çelik yaya köprüsü
(binalar arası geçiş için yapılan eğik ayaklı çerçeve sistem)



Resim 7.17: Çelik yaya köprüsü
(binalar arası geçiş için yapılan eğik ayaklı çerçeve sistem)

Özellikle 300 m'nin üstünde açıklıkların geçilmesinde tercih edilmekle birlikte günümüzde daha küçük açıklıklı yaya üst geçitlerinde de asma sistem köprüleri yapılmaktadır. Asma köprü taşıyıcı sistemleri, asma ve kablo askılı olmak üzere iki gruba ayrılır. Ayrıca iki sistemin bir arada kullanıldığı karma sistemle de inşa edilmektedir. İki sistemin birlikte kullanıldığı köprü sistemlerinde döşeme, ana taşıyıcı kabloya askılarla bağlanır ve ışınsal olarak taşınan kablolarla desteklenecek şekilde inşa edilir.

Asma yaya köprü sistemi, döşemenin ana taşıyıcı kabloya askı çubukları ya da kablolarla taşınarak yapılır (Resim 7.18). Ana taşıyıcı kablonun köprünün ayakları üzerinden gerilerek ankraj bloklarına bağlanmasıyla sistem oluşturulur. Köprü döşemesi, rijitlik kirişi olan kafes kiriş şeklinde iki yan kirişe bağlanır ya da bir bütün oluşturacak şekilde rijitlik kirişi, kutu kesitli ve hareketli bir sistem oluşturularak yapılır.

Resim 7.18: Çelik yaya köprüsü (asma kablo sistemi ve kuleye bağlanan kabloların görünümü)

Yaya köprüsü döşemesindeki kirişlerin görevi, hareketli yük etkisi altındaki köprünün deformasyonlarını sınırlandırmaktır. Ayrıca kablo-kiriş sisteminin salınım periyodunu da azaltır. Köprü sisteminde esas taşıyıcı eleman ana kablodur. Sistemde ana taşıyıcı kabloyu döşemeye bağlayan askılar düşey ya da eğimli tasarlanır. Asma köprülerin enine kesitinde kablo düzlemleri çeşitli şekillerde oluşturulur. En yaygın uygulama, iki ana taşıyıcı kabloya bağlı olan çift asma düzleminin kullanılmasıdır.

Asma yaya köprülerinde ve kablo askılı yaya köprülerinde stabilitenin sağlanması daha kolay olduğundan genellikle iki asma düzlemli sistemler kullanılır. Kablo düzlemleri, döşemenin dışında yer alabilir. Merkeze doğru bulunmaları, sistemin burulmaya karşı etkisini azaltır. Tasarımların çoğunda ana taşıyıcı kablo sayısı iki ve daha fazladır.

Tek ana taşıyıcı kablolu asma sistemlerde, döşemenin iki yanındaki eğimli askı düzlemleri tepeye doğru yükselir. Asma yaya köprülerde tercih edilen kule tipi basit portal çerçevelerdir. Kablo askılı üst geçit köprülerinin temel özelliği, kirişin köprü ayaklarının yanı sıra kuleden dağılan kablolarla desteklenmesidir. Kablolar çelik tellerden oluşan halatlardır. Kablo sayısı değişkendir. Genel açılım çok kablo kullanılması şeklindedir. Kablo tespitlerinin aralığı 6-12 m'ye kadar azaldığında, eğilme momenti çok önemsiz olacağından döşemenin kesiti incelir.

Kablo askılı yaya köprülerinde, açıklık düzenlemeleri 2, 3 veya çok açıklıklı sistemler şeklinde kullanılır. 2 açıklık simetrik olabileceği gibi asimetrik de düzenlenebilir. 3 açıklıklı düzenlemelerde ise genellikle merkez açıklık toplam açıklığın %55'ini oluşturur ve kalan kenar açıklıklara eşit olarak paylaştırılır (Resim 7.19).

Resim 7.19: Çelik yaya köprüsü (asma kablolu sistemi taşıyıcı ayakları, kule ve kablo bağlantıları)

Kabloların düzenlenmesi, strüktür tipi ve kulelerin şekli bulunduğu yerin verilerine göre ayarlanır. Köprünün görsel etkisini belirleyen en önemli karar, kabloların döşemedeki dağılımıyla ilgilidir. Döşemenin uzunluğu boyunca kablolar; **ışınsal, arp, yelpaze** ve **yıldız** tipte dağılır.

Işınsal sistemde, tüm kablolar kulenin tepesinden dağılır ve yatayla maksimum eğim sağlanarak başarılı bir strüktür oluşturulur. Ancak bu sistemde özellikle çok sayıda kablo kullanıldığından kabloların aynı yerden çıkmaları zorlaşır ve bu da kulenin tepesi için özel tasarımlar yapılmasına neden olur.

Arp sisteminde; kablolar kuleye farklı yüksekliklerde ve eşit aralıklarda, birbirine paralel olacak şekilde bağlanır. İki düşey düzlem kullanıldığında ışınsal sistem yerine arp şeklindeki düzenleme tercih edilir.

Yelpaze sistem, değiştirilmiş ışınsal sistem veya değiştirilmiş arp sistemi olup bu iki düzenlemenin karışımıdır.

Yıldız sistemde, kule üzerinde eşit aralıklarla yer alan kablolar döşemeye aynı noktada bağlanır. Kablo düzlemleri pilonun iki yanında tamamen simetrik konumda döşemeye açıldıkları gibi bazı durumlarda aynı ya da farklı açıklığı farklı sistemlerle geçilir.

Çelik yaya köprüsü döşemesinin enine düzenlenmesinde, kablolar tek veya çift düzlemlerde düşey veya eğimli olarak yapılır. Tek düzlemde köprü genellikle yolu ikiye böler. Bant genişliği, yol genişliğinin az da olsa artmasına yol açar. Yeterli genişlikte bir bant ayrılmayan durumlarda kuleler için yer ayrılması gereklidir. Tek düzlemsel kablo sistemli yaya köprülerinde, orta aksta en az yer tutacak kule veya pilon seçilir.

Çift düzlem, düşey olarak yolun iki kenarında yer alır ya da düzlemler eğimli olarak içe doğru yükselerek pilonun tepesinde toplanır. Kablolar, yaya köprüsü döşemesi düzleminin üstüne veya dışına bağlanır. İki eğimli düzlem "A" şeklinde kulenin çok yüksek olduğu ve fazla açıklıklı olması durumlarında önerilir. Kurulan üçgen rüzgâr salınımlarına karşı çerçeve etkisi yapar. Kule formları; bir kablo düzlemi varsa tek pilon, iki düzlem olması hâlinde çift pilon ya da portal veya "A" çerçeve kullanılır (Resim 7.20, Resim 7.21).

Resim 7.20: Çelik yaya köprüsü (asma kablolu sistemi döşeme, taşıyıcı ayak, kablolar ve kule)

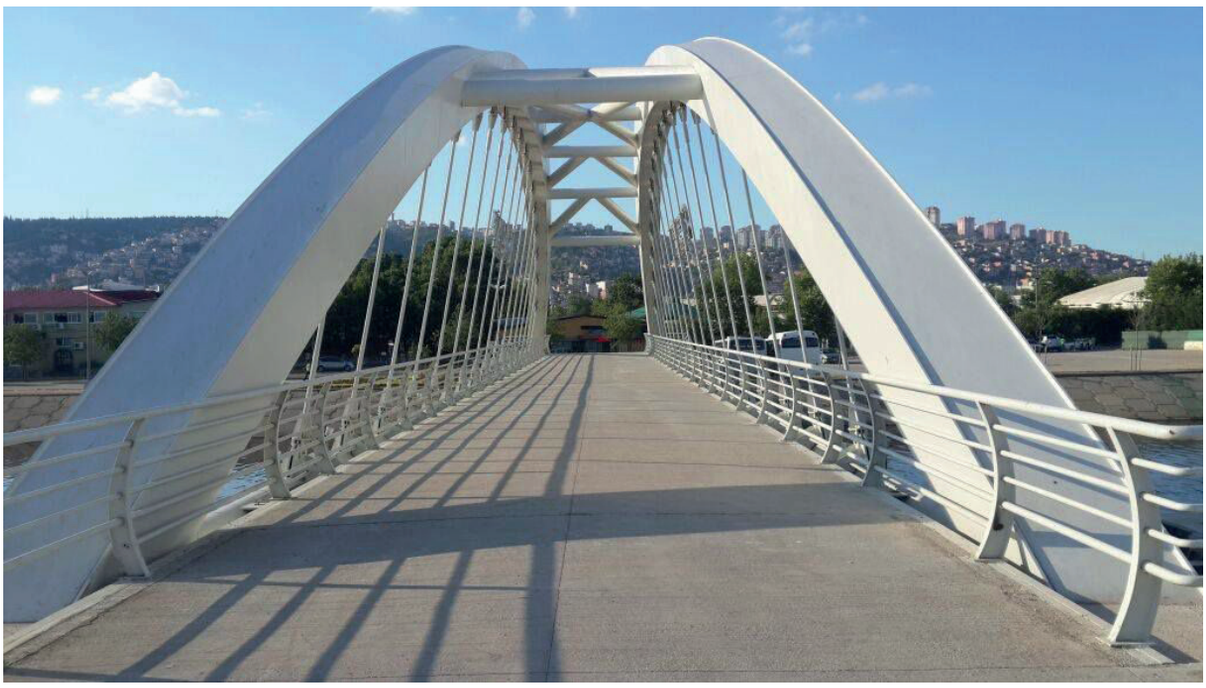
Resim 7.21: Çelik yaya köprüsü (asma tek kule kablo sistemi genel görünümü)

Kablo düzlemleri çift pilon paralel değilse karşılıklı iki pilon yukardan başlanarak çerçeve oluşturur. Büyük açıklıklı ve yüksek seviyedeki köprülerde ise "A" biçimli kuleler kullanılır. Yüklerin küçük bir temele aktarılması için bazen kulenin ayakları döşemenin altında içe doğru ters bir açıyla kırılarak devam eder (Resim 7.22).

Resim 7.22: Çelik yaya köprüsü (asma çift kule kablolu sistem genel görünümü)

Çelik yaya köprüleri ile ilgili farklı tasarımlardan bazı örnekler Resim 7.23, Resim 7.24 ve Resim 7.25'te verilmiştir.

Resim 7.23: Çelik yaya köprüsü (ayaklı halatlı sistem)



Resim 7.24: Çelik yaya köprüsü (kemer formlu kiriş ve askılı sistem)

Resim 7.25: Çelik yaya köprüsü (kiriş ve plak döşeme sistem)

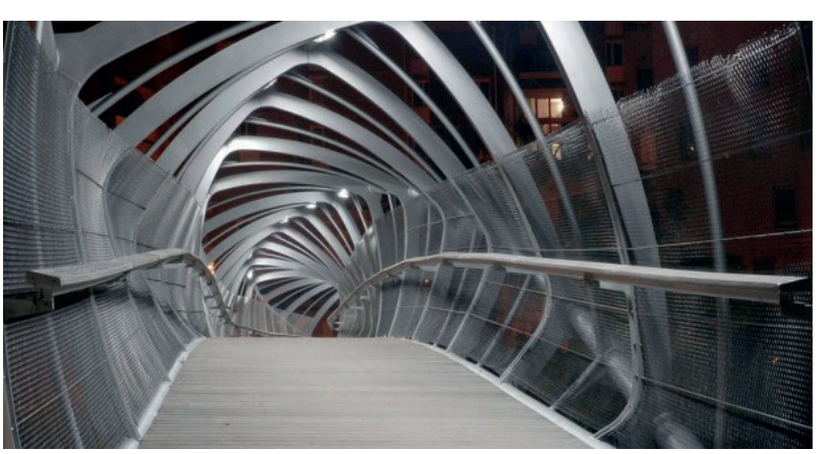
7.5.2. Çelik Üst Geçitlerin Planlar Doğrultusunda İncelenmesi

Kullanıcı sayısının çokluğu ve teknoloji seviyesine göre çelik strüktür malzemesinin gelişmiş olması, yaya üst geçitlerinin tasarımlarının farklı formlarda yapılması olanağı sağlamaktadır. Karayolları, akarsular, demiryolları, binalar arası, park ve bahçelerin geçişinde hizmet veren çelik yaya üst geçit köprüleri konumlarına göre farklı form ve sistemlerde planlanmaktadır.

Şekil 7.13'te farklı formla tasarlanmış çelik yaya üst geçidi görülmektedir. Tasarımı yapılan üst geçidin inşası sonrası dış genel görünümü Resim 7.26'da ve iç görünümü Resim 7.27'de verilmiştir.

Şekil 7.13: Çelik yaya köprüsü plak döşeme sistemi ve tasarımı perspektif görünümü

Resim 7.26: Çelik yaya köprüsü plak döşeme sistemi dış görünüm



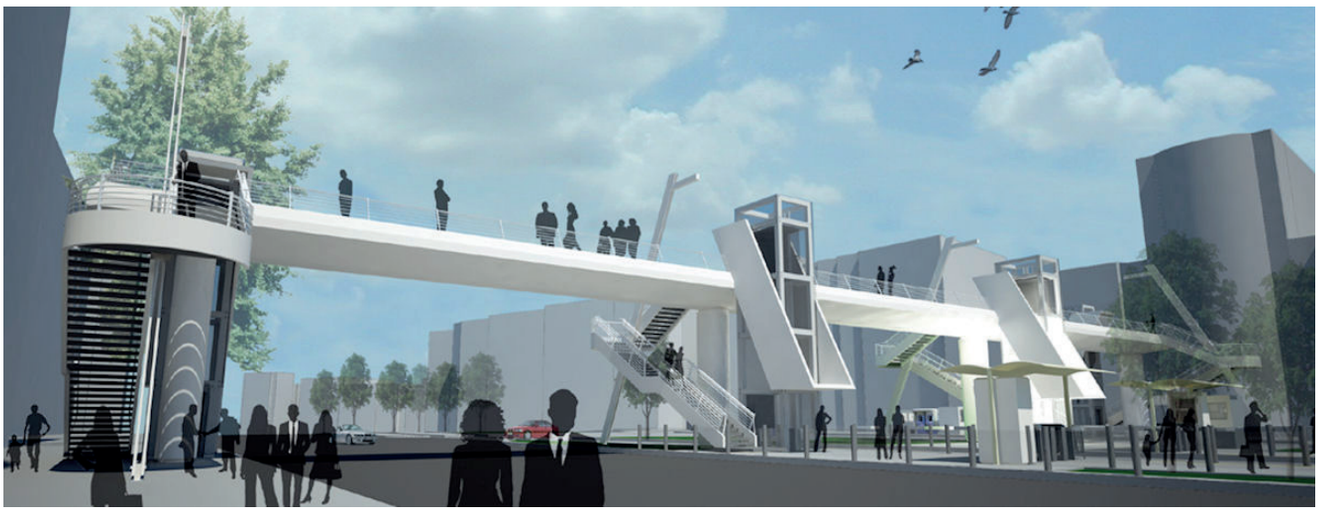
Resim 7.27: Çelik yaya köprüsü plak döşeme sistemi iç görünüm

Çelik yaya üst geçit köprüleri, farklı formlarda tasarlanmış örnekler Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16'da verilmiştir.

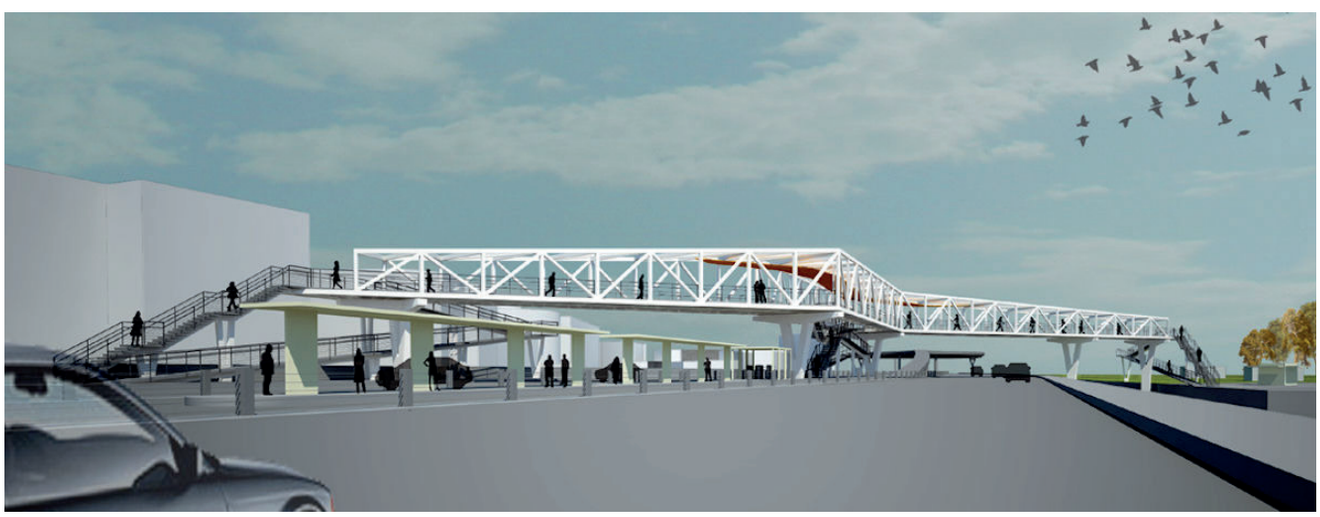
Şekil 7.14.a: Çelik yaya köprüsü modellemesi farklı form tasarım örneği-1

Şekil 7.15.b: Çelik yaya köprüsü modellemesi farklı form tasarım örneği-1 yakın dış görünüm

Şekil 7.16.c: Çelik yaya köprüsü modellemesi farklı form tasarım örneği-1 iç görünüm



Şekil 7.15: Çelik yaya köprüsü modellemesi farklı form tasarım örneği-2



Şekil 7.16: Çelik yaya köprüsü modellemesi farklı form tasarım örneği-3

SIRA SİZDE

Çelik asma yaya köprüsü döşemesinin enine düzenlenmesinde kabloların düzenlenme şekillerini aşağıdaki boşluğa açıklayarak yazınız.

7.6 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

ÇELİK ÜST GEÇİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bu çalışmanın amacı, çelik üst geçitlerin sınıflandırılması ile ilgili uygulamalar yapmaktır.

GÖREV

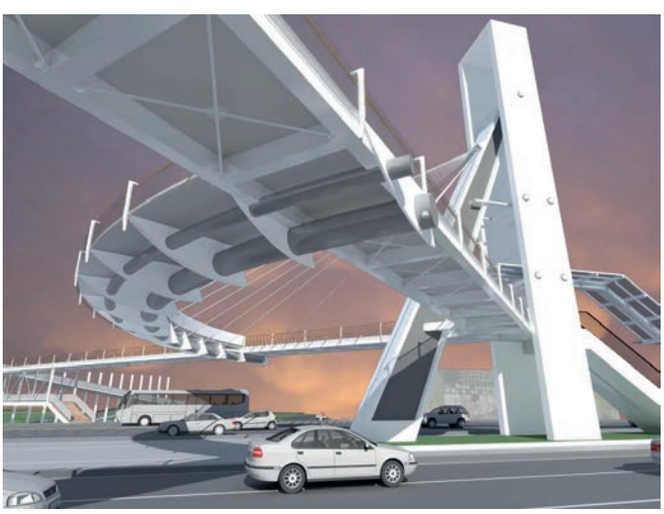
Çelik üst geçitlerin sınıflandırılması uygulamasını, işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Çelik yaya köprüsü modellemesi [Şekil 7.17(a, b, c)].

Şekil 7.17.a: Çelik yaya köprüsü modellemesi genel görünüm

Şekil 7.17.b: Çelik yaya köprüsü modellemesi kısmi detay görünümü-1



Şekil 7.17.c: Çelik yaya köprüsü modellemesi kısmı detay görünümü-2

İstenenler

Şekil 7.17(a, b, c)'de tasarım modellemesi ve detay modellemeleri verilen çelik üst geçidin sınıfını, inşasında kullanılması gereken yöntemleri, yapılış amacını, taşıyıcı sistemlerini, kullanılan erişim sistemlerini ve tasarım formunu belirleyiniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda şekilde verilen çelik üst geçit modellemesini ve detay modellemelerini teknik planlamalar doğrultusunda incelemeye dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Çelik üst geçidin sınıfı belirlenir.
2. Çelik üst geçidin inşasında kullanılabilecek yöntemler listelenir.
3. Çelik üst geçidin yapılış amacı belirlenir.
4. Çelik üst geçidin yatay ve düşey taşıyıcı sistemleri listelenir.
5. Çelik üst geçitte tasarlanan erişim sistemleri listelenir.
6. Çelik üst geçit tasarım formu belirlenir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Çelik üst geçidin sınıfını belirlediniz mi?		
2	Çelik üst geçidin inşasında kullanılabilecek yöntemleri sıraladınız mı?		
3	Çelik üst geçidin yapılış amacını belirlediniz mi?		
4	Çelik üst geçidin yatay ve düşey taşıyıcı sistemlerini listelediniz mi?		
5	Çelik üst geçitte tasarlanan erişim sistemlerini listelediniz mi?		
6	Çelik üst geçit tasarım formunu belirlediniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	45	45	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

7. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. **Betonu çekme kuvvetlerine karşı kuvvetlendirerek yüksek dayanımlı çelik halatların, beton dökümü işleminden sonra gerilmesi yöntemi aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Ardgerme

B) Öngerme

C) Öngerilmeli

D) Prefabrik

E) Yerinde dökme

2. Betonarme alt geçitler, ... ya da boşluklu döşeme altyapı üzerine oturtulur.

Yukarıda verilen cümlede boş bırakılan yere hangisi gelmelidir?

A) boşluksuz

B) dolu gövdeli

C) öngerilmeli

D) plak

E) yerinde dökme

4. **10-20 m'ye kadar açıklıktaki boşluklu betonarme plaklarda plak kalınlığı kaç metre olmalıdır?**

A) 0,40 **B)** 0,50 **C)** 0,60 **D)** 1,20 **E)** 1,50

5. Boşluklu betonarme plak ve boşluklu öngerilmeli plaklarda boşluklar genelde dairesel veya dikdörtgen kesitlidir. Boşlukların derinliği plak derinliğinin ..... arasında alınması uygun olur.

Yukarıda verilen cümlede boş bırakılan yere hangisi gelmelidir?

A) %30-40

B) %40-60

C) %60-80

D) %70-80

E) %75-80

6. I. Guseli kirişli yaya köprülerinin ayaklarına doğru kiriş üçgenler şeklinde takviye edilerek yüklerin aktarılması kolaylaştırılır.

II. Betonarme üst geçit taşıyıcı sistemleri; kirişli, çerçeve, kemerli ve karma taşıyıcı sistem olarak sınıflandırılır.

III. Kemer köprüsünün temeli sağlam ise kemer yüksekliğinin açıklığına oranı 1/8'den az seçilmelidir.

IV. Kemer açıklığı 30 m'den fazla olduğunda, kemer yüksekliği arttıkça kapalı duvar yüzeylerinin görünümü ağır olur.

Betonarme üst geçit yapım teknikleri ile ilgili yukarıda verilenlerden hangileri doğrudur?

A) I ve II **B)** II ve III **C)** I, II, IV **D)** I, III, IV **E)** I, II, III, IV

7. I. Çelik kirişli sistemlerde düşey taşıyıcı kolonlar, yatay taşıyıcı ana ve ara kirişler çelik malzemeden yapılır.

II. Çelik kirişlerin üçgenlere bölünmesiyle oluşturulan kafes kirişli yaya köprüleri daha büyük mesafelerin geçilmesinde tercih edilir.

III. Eğik ayaklı çerçeve sistemler karayolu, akarsu vb. üzerine yapılabildiği gibi binalar arası geçişlerin sağlanması amacıyla da inşa edilmektedir.

Çelik üst geçit yapım teknikleri ile ilgili verilenlere göre aşağıdakilerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

8. **Aşağıdakilerden hangisi çelik üst geçit sistemlerinden biri değildir?**

A) Asma

B) Eğik ayaklı

C) Kafes kirişli

D) Kirişli

E) Portal kirişli

9. Üst geçit yapı elemanları; kolon ve kirişlerinin çelik ve/veya metal malzeme, döşeme sisteminin betonarme yerinde dökme veya prefabrike olarak inşa edilen ..... sistemler şeklinde sınıflandırılır.

Yukarıda verilen cümlede boş bırakılan yere hangisi gelmelidir?

A) prefabrik

B) dolu gövdeli

C) boşluklu

D) karma

E) yerinde dökme

10. I. Asma yaya köprülerinde ve kablo askılı yaya köprülerinde stabilitenin sağlanması daha kolay olduğundan genellikle iki asma düzlemli sistemler kullanılır.

II. Tek ana taşıyıcı kablolu asma sistemlerde, döşemenin iki yanındaki eğimli askı düzlemleri tepeye doğru yükselir.

III. Kablo askılı yaya köprülerinde, açıklık düzenlemeleri 2, 3 veya çok açıklıklı sistemler şeklinde genellikle kullanılır.

IV. Köprü döşemesinin uzunluğu boyunca kablolar; ışınsal, arp, yelpaze, yıldız olarak adlandırılan dört tipte dağılır.

Çelik üst geçit yapım teknikleri ile ilgili yukarıda verilenlerden hangileri doğrudur?

A) I ve II **B)** II ve III **C)** I, II, III **D)** I, III, IV **E)** I, II, III, IV

Ölçme Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

8. ÖĞRENME BİRİMİ

KONULAR

8.1. YUVARLAK KEMERLERİ PLANLAMA
8.2. UYGULAMA: YUVARLAK KEMERLERİ PLANLAMA
8.3. BASIK KEMERLERİ PLANLAMA
8.4. UYGULAMA: BASIK KEMERLERİ PLANLAMA
8.5. SİVRİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.6. UYGULAMA: SİVRİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.7. ATNALI KEMERLERİ PLANLAMA
8.8. UYGULAMA: ATNALI KEMERLERİ PLANLAMA
8.9. ÜÇÜZ KEMERLERİ PLANLAMA
8.10. UYGULAMA: ÜÇÜZ KEMERLERİ PLANLAMA
8.11. TÜRK KEMERİNİ PLANLAMA
8.12. UYGULAMA: TÜRK KEMERİNİ PLANLAMA
8.13. SIRALAMA KEMERLERİ PLANLAMA
8.14. UYGULAMA: SIRALAMA KEMERLERİ PLANLAMA
8.15. BİNDİRMELİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.16. UYGULAMA: BİNDİRMELİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.17. BOYUNDURUK KEMERLERİ PLANLAMA
8.18. UYGULAMA: BOYUNDURUK KEMERLERİ PLANLAMA
8.19. BAĞLAMA KEMERLERİ PLANLAMA
8.20. UYGULAMA: BAĞLAMA KEMERLERİ PLANLAMA
8.21. DÖRT MERKEZLİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.22. UYGULAMA: DÖRT MERKEZLİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.23. TONOZ KEMERLERİ PLANLAMA
8.24. UYGULAMA: TONOZ KEMERLERİ PLANLAMA
8.25. DİŞLİ KEMERLERİ PLANLAMA
8.26. UYGULAMA: DİŞLİ KEMERLERİ PLANLAMA

KEMERLER VE KEMERLERİ OLUŞTURAN ELEMANLAR

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Kemer elemanlarını, kemer çeşitlerini ve mimari üsluplara göre kemer formlarını
- Yuvarlak kemerlerin planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Yuvarlak (yarım daire) kemer planlama uygulamasını
- Basık kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Basık kemer planlama uygulamasını
- Sivri kemer çeşitlerini, planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Sivri kemer planlama uygulamasını
- Atnalı kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Atnalı kemer planlama uygulamasını
- Üçüz kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Üçüz kemer planlama uygulamasını
- Türk kemeri planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Türk kemeri planlama uygulamasını
- Sıralama kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Sıralama kemer planlama uygulamasını
- Bindirmeli kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Bindirmeli kemer planlama uygulamasını
- Boyunduruk kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Boyunduruk kemer planlama uygulamasını
- Bağlama kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Bağlama kemer planlama uygulamasını
- Dört merkezli (kaş) kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Dört merkezli kemer planlama uygulamasını
- Tonoz kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Tonoz kemer planlama uygulamasını
- Dişli kemer planlama kroki çizimlerini ve yapım tekniklerini
- Dişli kemer planlama uygulamasını

Temel Kavramlar

atnalı kemerler, basık kemerler, bağlama kemerleri, bindirmeli kemerler, boyunduruk kemerleri, dişli kemerler, dört merkezli kemerler, elips kemer, Gotik kemer, kaş kemerler, kemerler, kemer elemanları, kubbeler, sıralama kemerleri, parabol kemer, sepet kulpu kemerler, sivri kemerler, su kemerleri, tahfif kemeri, Türk kemeri, Tudor kemeri, tonoz kemerler, üçüz kemerler, yalancı kemer, yarım daire kemer, yuvarlak kemer

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında yuvarlak kemer örneklerini inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.1. YUVARLAK KEMERLERİ PLANLAMA

İki sütun veya ayağı birbirine yarım daire, elips, basık, sivri vb. formlarda (biçimlerde) bağlayan ve üzerine gelen duvar ağırlıklarını iki yanındaki ayaklara bindiren tonoz bağlantılarına **kemer** denir.

Kemer formlarının mimari üsluba göre şekillenen farklı tarzları ve ögeleri vardır. Mimari üslupların dönemlere göre farklılıkları ve temel özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

İslam Mimarisi: 7. yüzyıldan itibaren İran, Kuzey Afrika, İspanya gibi farklı coğrafyalarda büyük değişimler ile kendini göstermiştir. İslam mimarisi üslubunun en temel örneği sivri kemerleri, kubbeleri ve avluları ile öne çıkan camilerdir. 3 boyutlu tasvirlerin yasak olması inancı, bu yapılarda düz yüzeyler üzerindeki dekorasyonları ön plana çıkarmıştır.

Romanesk Mimarisi: Norman üslubu olarak bilinen Romanesk mimarisi, 10. yüzyılın sonlarında Avrupa'da yaygınlaşmıştır. Üslubun en belirgin özelliği günümüze kadar ayakta kalan, Roman stili kiliselerde görülen beşik kemerlerdir.

Gotik Mimari: 12. yüzyıl başlarından itibaren mevcut üsluplardan alınan ve geliştirilen özellikler bir arada kullanılmıştır. Klasik üsluplardan daha farklı dekoratif tasarım anlayışı, daha ince duvarlar ve kolonlar, metrelerce yükseklikte gözleri yukarı çekmeyi amaçlayan süslemeli camlar, sivri kemerler, tonozlar bu mimari akımın ana ögeleridir.

Tudor Mimarisi: İngiltere'de, 14 ve 16. yüzyıl arasında uygulanan Orta Çağ'ın son üslubudur. Tudor kemeri veya diğer adıyla dört merkezli kemer, bu üslubun en belirgin özelliklerinden olsa da bu üslup genellikle ahşap karkas evler ile tanınır.

Rönesans Mimarisi: Klasik mimarinin etkisinde kalan Rönesans üslubu, 15. yüzyılda İtalya'da ortaya çıkmıştır. Uyum, duruluk ve güç ön plandadır. Roma kalıntılarından ipuçları barındıran tasarımlar, ev yaşamının zarafetini ve ilkelerini yansıtmayı hedeflemiştir.

Barok Mimarisi: 16. yüzyılın sonlarında İtalya'da, Romanesk mimarisinin resmi tarzına nazaran daha duygulu, gösterişli ve duyulara hitap eden bir mimari üslup olarak doğmuştur. Karşı reformun etkisi altında Katolik yönetimi kutlamaya yönelik mimari denemedir.

Neoklasik Mimari: Barok ve Rokoko mimarilerine atıf olarak 18. yüzyılın ortalarında yaygınlaşmıştır. Mimariye asalet ve ihtişamı geri getirmeyi hedeflemiştir. İlhamını Antik Yunan ve Roma yapılarının klasik tarzlarından alan Neoklasik mimarinin temel özellikleri yalınlık ve simetridir.

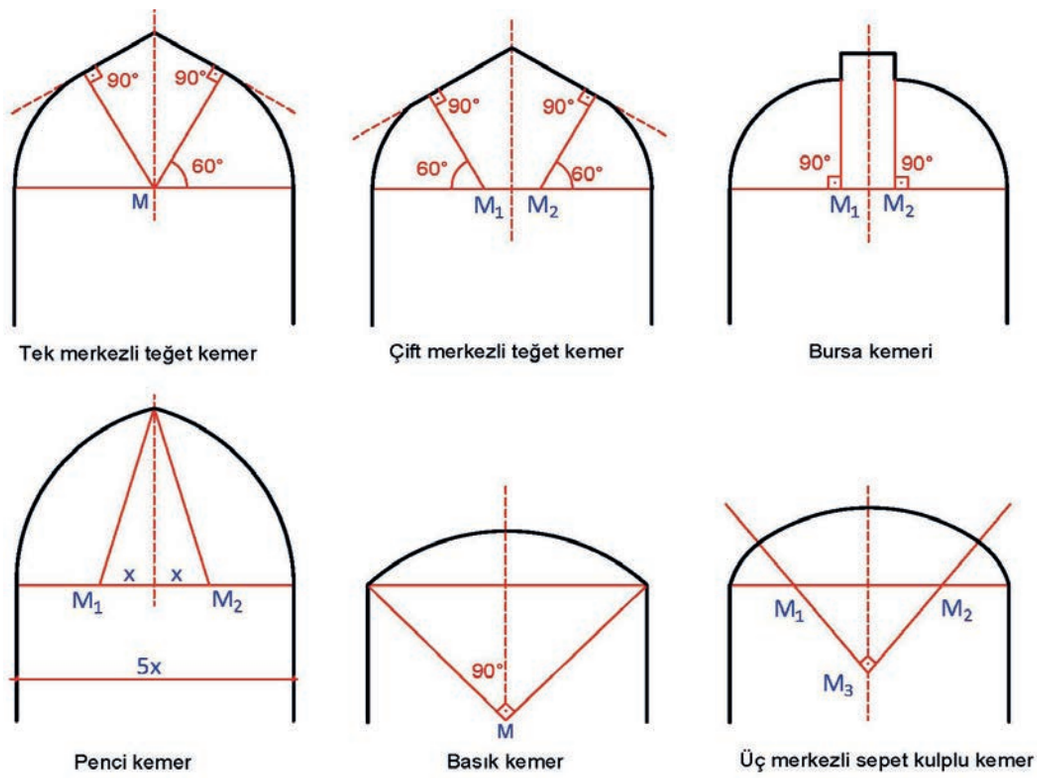
Bauhaus Mimarisi: 19. yüzyıl başlarında Almanya'nın Bauhaus Sanat Okulunda ortaya çıkan üslup, tüm sanat ve teknolojinin simplistik tasarım ve makineleşme ile bütünleştirilebileceği fikrini savunur. Bu üsluptaki tasarım anlayışı, dekoratif detaylar yerine işlevselliği ön plana alır. Düz çatılar ve kübik formlar tipik özellikleridir. Bauhaus prensiplerinden kübik form ve açılar modern mimaride de görülür.

Viktoryen Mimarisi: 19. yüzyılın ortalarından sonlarına kadar pek çok mimari üslubun geri dönüşünün bir oluşumudur. Gotik mimarinin yeniden doğuşu ile Tudor, Romanesk, Asya ve Orta Doğu mimarisinin etkilerini üzerinde barındıran bu mimari akım Sanayi Devrimi döneminin pek çok konut örneğinde uygulanmıştır.

Modern Mimari: Fütürizm, postmodernizm ve yeni klasik kavramlarını kapsayan 20. yüzyılda ortaya çıkan üsluptur. Bu üslubun mimarideki yansımaları, biçimlerin gereksiz detaylardan arındırılarak yalınlığın ön plana çıkarılması gibi tasarım prensipleri ile şekillenmiş ve yapıda kullanılan malzemeler gizlenmek yerine tarz belirleyicisi olmuştur.

8.1.1. Selçuklu ve Osmanlı Mimarisi Sanat Yapılarında Kemerler

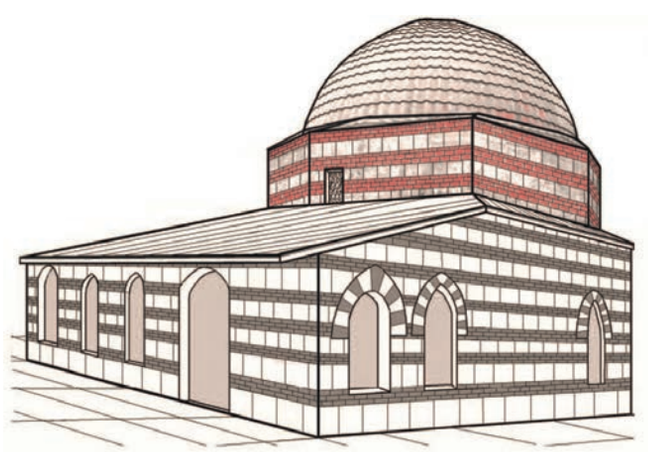
Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde kemerler; cami, han, saray, kervansaray, medrese vb. yapılarda taşıyıcı ve süsleyici mimari tasarım ögesi olarak kullanılmıştır. Bunun yanında kemerler; suyun taşınması ve iletilmesi için inşa edilen su kemerleri, akarsuların üzerinden, vadilerden geçişleri sağlamak için yapılan köprü kemerleri şeklinde inşa edilen akedük, tünel vb. sanat yapılarında da kullanılmıştır. Üzerlerine gelen düşey doğrultulu yükler ile kendi ağırlıklarını yanlardaki ayaklara, mesnetlere kavis eksenleri doğrultusunda nakleden kemerler, Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde sıkça kullanılmıştır. Bu bağlamda en çok kullanılan Türk kemeri türleri; tek ve çift merkezli teğet kemerler, penci kemer, Bursa kemeri, basık kemer ve üç merkezli sepet kulpu kemer olarak sayılabilir (Şekil 8.1). Bu kemerler Erken ve Geç Dönem Osmanlı mimarisinde de sıkça kullanılmıştır.



Şekil 8.1: Osmanlı mimarisinde kullanılan kemerlerin kroki çizimleri

Osmanlı mimarisi ''Erken, Klasik ve Geç'' olmak üzere üç dönemde incelenmektedir. Erken Dönem mimarisi Bursa üslubu olarak da bilinmektedir. Bu dönemde özellikle Bursa ve çevresinde inşa edilen cami, imaret vb. yapıların revak ve iç kısımlarda kullanılan kemerler incelenecektir. Bursa üslubu mimari sanat yapılarından bazıları aşağıda açıklanmıştır.

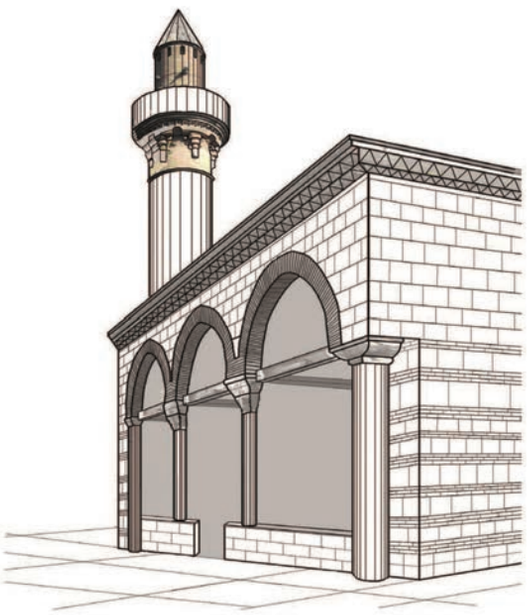
İznik Hacı Özbek Camisi, en eski Osmanlı camilerindendir. Selçuk müsellesi kuşakları ile duvarlara oturan tek kubbeli, üç kemerli, revaklı abidedir. Revaklarda geçişler üç kemer ile sağlanmıştır. Hacı Özbek Camisi giriş kapısı, cephenin solunda yer alır. Orijinal planlarda revak giriş bölümü aynalı tonoz, geri kalan kısmı ise beşik tonozla örtülmüştür (Şekil 8.2).



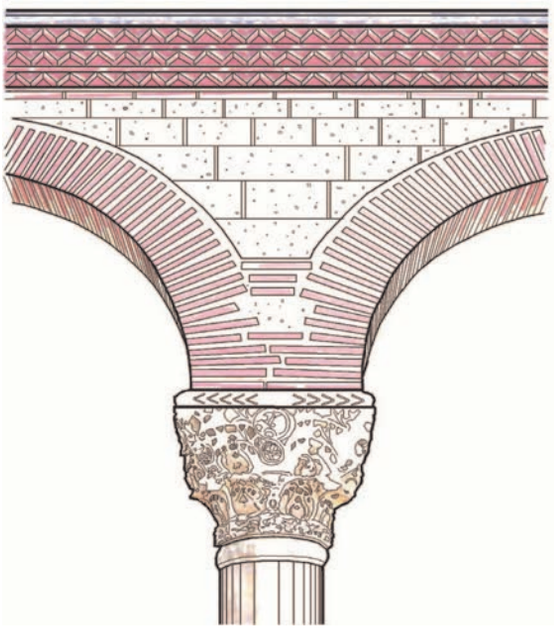
Şekil 8.2: İznik Hacı Özbek Camisi cephe perspektifi ve cephe kemerleri

Bursa Alâeddin Camisi, Selçuk müsellesi kuşakları vasıtasıyla duvarlara oturan tek kubbeli, üç kemerli revaklı abidedir (Şekil 8.3).

Revak geçişleri, önde ve içte giriş cephesi arasında üç adet iki sivri kemerle sağlanmıştır. Sivri kemerlerin uç noktası yaklaşık yerden 4,27 m yüksekliktedir. Kemerler arasında yerden 2,84 m yüksekliğinde ahşap gergiler kullanılmıştır. Revak, ortada zeminden 6,51 m yüksekliğinde küçük bir kubbe ile yanlarda ise birer aynalı tonoz ile örtülmüştür. Kemer ayaklarını oluşturan taşıyıcı sütunlar ile Korint ve İyon tarzındaki mermer sütun başlıkları, Bizans devşirme malzemesidir. Ortadaki sütun başlıkları daha süslü, yandakiler ise sadedir (Şekil 8.4).

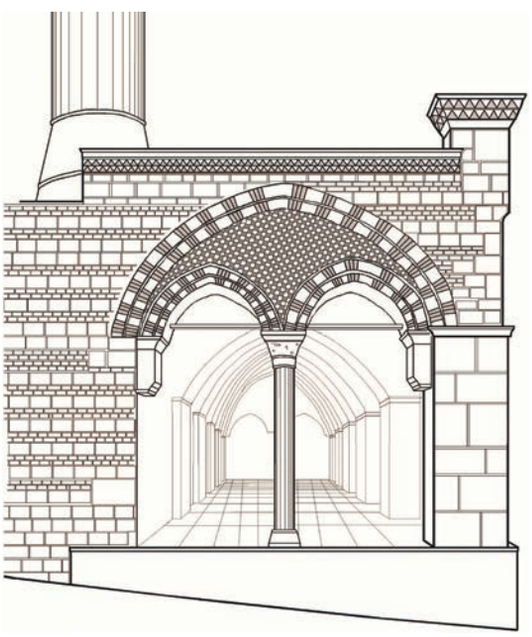


Şekil 8.3: Bursa Alâeddin Camisi perspektifi ve cephe kemerleri



Şekil 8.4: Bursa Alâeddin Camisi sütun başlığı, kemer ve kirpi saçağı detayı

Bursa Orhan Gazi Camisi inşasında Bizans devşirme malzemeleri kullanmış olsa da yapı geçiş elemanları, örtü sistemi gibi ögeleriyle tamamen Türk geleneğine ait bir yapıdır. Son cemaat yeri, caminin giriş cephesinde 25,80x6,30 m boyutlarında, dikdörtgen şeklinde, altı destek ve beş bölümden oluşturulmuştur. Revak bölümü, özellikle yan revaklar ikiz kemerlerle yapılmıştır (Şekil 8.5).



Şekil 8.5: Bursa Orhan Gazi Camisi revak yan cephesi ikiz kemerler

Bursa Hüdavendigâr Camisi'nde kullanılan çift kemer uygulaması Bursa Orhan Gazi İmareti'nde de kullanılmıştır. Tek kubbeli merkezi alanı çevreleyen bir koridor ve bu koridora açılan karşılıklı on ikişer oda, güneyde mihrap çıkması üzerinde bir oda, merdiven galerisine bakan ikişer oda ve kuzeyde beş bölmeli revak alanı bulunmaktadır. Koridor, odalar ve salon beşik tonozla, mihrap çıkması üzerindeki oda kubbe ile örtülmüştür. Alt kattaki caminin orta kesiminde bulunan iki mekân iki kat yüksekliğinde olduğundan medresenin avlusu bulunmamaktadır (Resim 8.1).

Resim 8.1: Bursa Hüdavendigâr Camisi kemer ve cephe tuğla taş süsleme bezemeleri

Üst kata ait tüm kemerler ile alt kat yan cephe kemerleri ikiz kemer formundadır. İkiz kemerler ortada devşirme mermer sütuna, yanlarda da payeler kenarında oluşturulan bir sıra tuğla dişe oturmaktadır. Alt kattaki sütunlar 2,55 m ve başlıkları ise 0,45 m yüksekliğindedir. Yan cepheler ile üst cephede sivri kemer içinde, çift kemer (ikiz kemer) uygulaması yapılmıştır. Her sivri kemer ve çift kemer arasında ahşap gergiler bulunur. Alt kattaki sivri kemer yüksekliği 5,10 m ve ahşap gergi yüksekliği 3,15 m'dir.

Revak ön dış duvarı ile yapı beden duvarı arasında dört iç sivri kemer daha yer alır. Bu kemerleri beden duvarında karşılayan 15 cm eninde duvardan çıkma dişler ve bu dişlerin altında kornişler bulunur. Ahşap gergiler bu kornişlerin 10 cm üzerinden iki kemeri birbirine bağlar. Üst kat revakının iki yan bölmesi çapraz tonoz ve diğer bölmeleri ise yaklaşık çapları 4,30 metrelik üç adet kubbe ile örtülmüştür. Kubbeler köşelerde tromplu sekizgen kasnağa oturur.

Orta kubbe diğerlerinden oldukça yüksektir. İki katlı revak dış duvarı, girişten yaklaşık 16,50 m yükseklikte, üç sıra tuğla ve bir sıra kesme taş örgü sistemi ile örülmüştür. Taşıyıcı payeler alt kat revakında kesme taştan, üst kat revakında tuğladan yapılmıştır. Revak dış cephesinde, saçak altında bulunan küçük sivri kemercikler tüm cephe boyunca devam etmekte ve cephede küçük bir konsol etkisi yaratmaktadır.

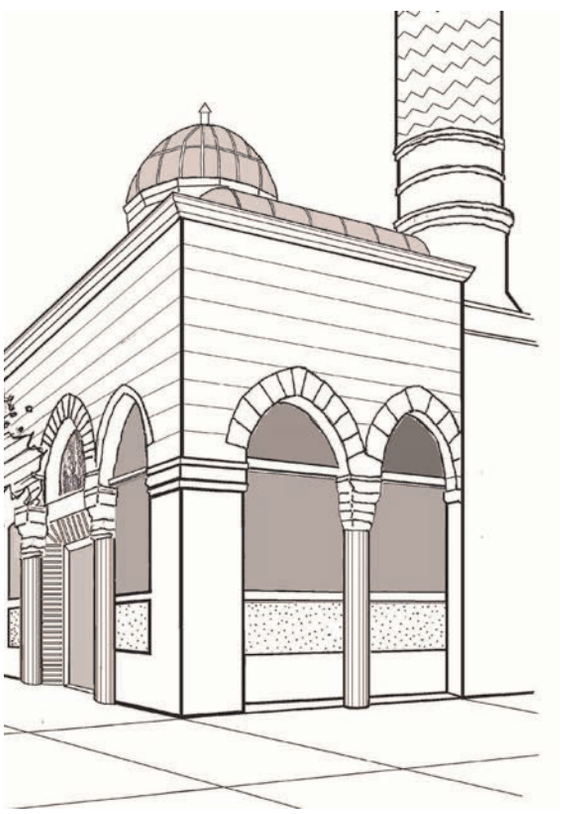
İkinci kat revakı, birer sivri kemer içine alınmış ikiz sivri kemerler ile dışa açılmaktadır. Alt ve üst kat yan cephelerindeki ikiz kemerlerin üzerinde, tuğla-taş geometrik motifli dolgular yer almaktadır. Ayrıca cephede aynı tür bezemelere sahip ters U biçiminde bir alınlık dikkati çekmektedir. İkiz kemerin ortasında sütunlar, aralarında ise Osmanlı mimarisinde çok az rastlanan tuğla payeler kullanılmıştır.

Üst katta ortada bulunan sivri kemer etrafında, yarım dikdörtgen şeklinde bir çerçeve bulunmaktadır. Çerçeve içinde tuğla ve taş malzemeden kırmızı ve beyaz renklerde üçgen motifler oluşturulmuştur. Çerçeve ile sivri kemer arası, üç sıra tuğla ve bir sıra taş olmak üzere almaşık duvar tekniği ile örülmüştür. Sivri kemer içindeki ikiz kemer arası alınlık ise üçgen tuğlalar ve altıgen taş motiflerle kaplanmıştır. Üst kattaki diğer sivri ve ikiz kemerler üç sıra dikey tuğla, bir sıra taş malzemeden oluşturulmuştur. İkiz kemerlerin ortasında mermer sütunlar ve farklı nitelikte devşirme sütun başlıkları yer almaktadır. Tüm kemerler arasında ahşap gergiler bulunmaktadır. İkiz kemerlerin kenarları ve dıştaki büyük kemerin bastığı ayağın üzeri, akantüs yapraklı mermer kornişlerle süslenmiştir (Resim 8.2).

Resim 8.2: Bursa Hüdavendigâr Camisi cephe detayı ve kemerler

İznik Yeşil Cami, ibadet alanı ana irtifası 16,20 m olan ve 2,80 m yükseklikteki on iki köşeli bir kasnak üzerine oturan kubbe ile örtülmüştür. İçeriden dilimli olan kubbe, dışarıdan köşelidir. Harim kısmı iki sütun ve üç sivri kemerle ikiye ayrılmaktadır. Bu kemerlerden ortadaki diğerlerine göre daha geniş ve yüksektir. Kemerler, sütunların üzerindeki başlıklar ve duvardaki mukarnaslı konsollar üzerinde yükselmektedir. Kubbe altına denk gelen bölümün diğer alandan 45 cm yükseltilmiş olması sadece bu alanın ibadet için kullanıldığını düşündürmektedir. İbadet mekânı kare planlı olup yaklaşık 11x11 m büyüklüğünde tek kubbeyle örtülüdür. Namaz kılınan mekân, zemine çok yakın kottaki pencerelerle aydınlatılmıştır. Büyük kubbe Türk üçgenleri ile geçilmiştir.

Mihrap; Selçuklu üslubunda, beşgen planlı ve özenle yapılmış mukarnaslarla bezenmiştir. Minber yeni üslupla düzenlenmiştir. Cami iç duvarları kemer seviyesine kadar mermer ile kaplanmıştır. Giriş kapısı dikdörtgen, minare kapısı ise aynalı kemerlidir. Revak altındaki pencere söve lerinde zengin bir silme işçiliği bulunmaktadır. Kemer aynasında hatayi veya hatayi ve rumi taş oymalar ile çiçekli rumi yazı şeritleri vardır. İki renkli basık kemer hatılın altında mukarnaslı bir konsola oturan sivri kemerli cami giriş kapısı yer almaktadır. Revak altı pencerelerinde dekoratif ve geniş söveler vardır. Kapıya cephe yönünde bakıldığında sol tarafta kalan kemerin aynasında, sekiz bölmeli oymalı yıldız ve gülden oluşan bir madalyon, sağdaki kemerde ise rumi oymalı motif yer almaktadır. Ayrıca aynı pencerede rumi çiçekli besmele yazı bulunur. Kemer köşelerinde yine rumi süslemeler bulunur (Şekil 8.6).

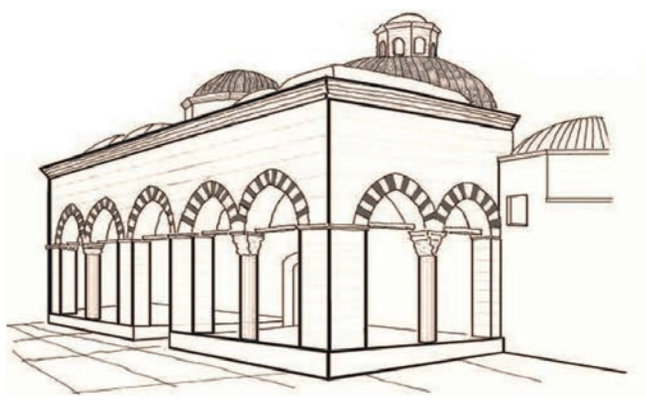


Şekil 8.6: İznik Yeşil Cami perspektifi ve kemerleri

İznik Nilüfer Hatun İmareti, eyvan bölümü iki küçük kubbe ile örtülmüştür. Bu kubbeler birbirinden farklı ve değişik geometrik düzende, oldukça özenli bir şekilde tasarlanmıştır. Eyvan küçük kubbelerinden biri altıgen, diğeri sekizgen kasnağa oturmakta ve üçgen prizma şeklindeki ögelerden oluşmaktadır. Revaklarda geçişler önde beş, yanlarda ikişer sivri kemerle sağlanmıştır. Sütunlar birbirine ahşap gergilerle bağlanmıştır. Ortada yer alan hacim kubbe, yanlardakiler ise aynalı tonozla örtülüdür. Kubbe ve tonozların üzeri kiremit ile kaplanmıştır (Resim 8.3).

Cami revakının giriş bölümündeki haçvari ayaklar, ön cephe kemer yüksekliği hizasında, konik bir külahla sonlandırılmış ve silindirik payelerle süslenmiştir. Bu payeler sadece süsleme amaçlı kullanılmıştır. Kemerler üç sıra tuğla, bir sıra taş sıralamasıyla yapılmıştır. Saçak kornişlerinde, tuğla ile oluşturulmuş birkaç sıra kirpi saçağı motifi kullanılmıştır. İmaretin giriş kapısı, duvardan biraz çıkıntılı şekilde tasarlanmış olup Osmanlı'da pek kullanılmayan tarzda iki sıralı kemer içinde yer almaktadır. Kapı başlığında Bursa kemeri kullanılmış, söveler ise oldukça sade bir tarzda yapılmıştır. Revak, bu yapıda cami yapılarının aksine giriş cephesi boyunca uzamamakta, farklılık göstermektedir. Yapı bunun dışında, beş bölümlü cami revaklarında bulunan podyumlu zemin, sivri kemerler, kalkan duvarı, almaşık duvar örgüsü, kirpi saçak gibi tüm unsurlara sahiptir (Şekil 8.7).

Resim 8.3: Bursa Nilüfer Hatun İmareti ön görünüşü



Şekil 8.7: Bursa Nilüfer Hatun İmareti perspektifi

Osmanlı mimarisinde inşa edilen su kemerleri de önemli sanat yapıları arasındadır. Üzerinde su taşınan kemerli köprüler **su kemeri** olarak adlandırılır. Başka bir ifadeyle su taşımak amacıyla inşa edilen kanallardır. Modern mühendislik ve mimarlıkta su kemerleri; suyu kaynağından istenen noktaya taşımak için inşa edilen boru, kanal, tünel ve bunları destekleyen her türlü yapıdan oluşan sistemlerdir.

Mağlova Su Kemeri, Mimar Sinan tarafından sıralama yuvarlak kemer şeklinde tasarlanmış ve ayaklarda yükü azaltmak için hafifletme kemeri kullanılmıştır. Kemerin alt katında her bir ayakta birer tane 18,4 metre genişliğinde hafifletme kemeri bulunmaktadır. Hafifletme kemerleri, taşkın durumunda suyun geçişini kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır. Orta katta yine kemer ayaklarına 13,4 metre hafifletme kemeri yapılmıştır. Bu kemerlerin yapılma amacı rüzgâr yüküne karşı emniyet sağlamaktır. Aynı zamanda temele giden ağırlık azalmıştır (Resim 8.4, Resim 8.5).

Resim 8.4: Mağlova Su Kemeri görünümü

Resim 8.5: Mağlova Su Kemeri ön cephe görünümü

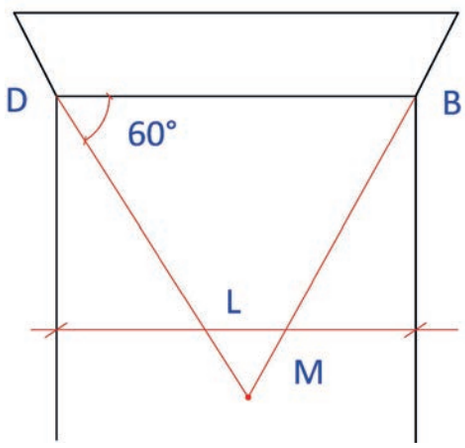
Kemerin üst katında şehre suyu taşıyan su galerisi bulunmaktadır. Bu galeriler suyun rahat akabilmesi için belirli eğimle yapılmıştır. Arazinin durumuna göre kil künklerle toprağın altından bazen de kayalık arazilerden kayaların üzerine oyulan kanallarla taşınan su; moloz taş, kaba yonu taş, kesme taş ya da tuğla malzeme ve Horasan harcı kullanılarak inşa edilen su kemerleriyle istenen yere ulaştırılmıştır.

Osmanlı mimarisinde kullanılan bazı kemerlere ait genel bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

Bursa kemeri; mimari bir yapıda genellikle giriş kapısı üst kısmında yatay bir doğru ile bağlanan, iki dörtte bir daireden meydana gelen ve fazla bir taşıma gücü olmadığı için daha çok dekoratif süsleme amaçlı yapılan kemere Türk mimarisinde verilen addır (Resim 8.6).

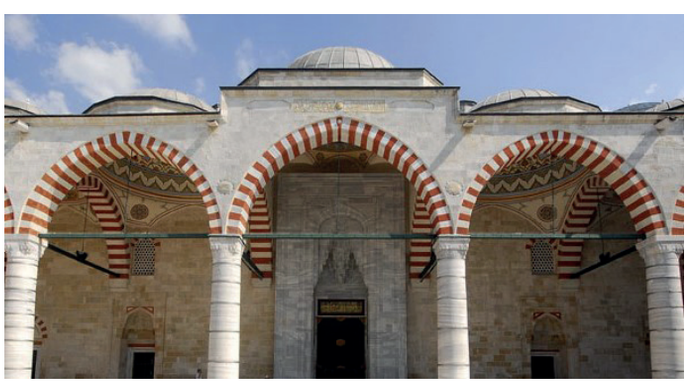
Düz kemer; altı düz ve gerçek merkezi olmayan, A ve B noktalarından üzengi çizgisi ile 60^0 açı oluşturacak şekilde çizilen, yardımcı doğruların kestiği M noktası teorik merkez olarak alınan kemerlerdir. Bu kemerler **atkı kemer** olarak da adlandırılır (Şekil 8.8).

Resim 8.6: Bursa kemeri örneği

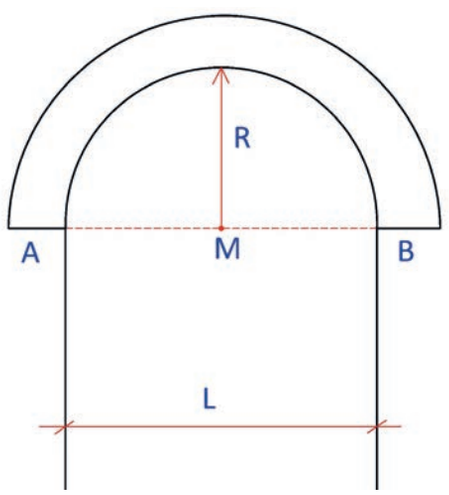


Şekil 8.8: Düz, atkı kemer krokisi

Yuvarlak (yarım daire) kemerlerde, kemer merkezi üzengi çizgisi ve kemer ekseninin kesiştiği M noktasıdır (Şekil 8.9, Resim 8.7).



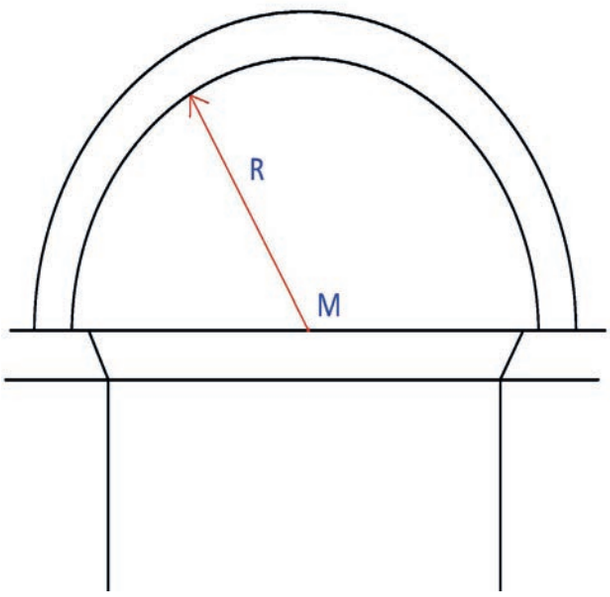
Resim 8.7: Edirne Üç Şerefeli Cami Medresesi ana giriş kapısı önü avlu yuvarlak kemerleri



Şekil 8.9: Yuvarlak (yarım daire) kemer krokisi

Tahfif kemeri, mimari bir yapıda kapı ve pencere lentolarının üzerine inşa edilerek yukarıdan gelen yükleri karşılayan kemerdir. Sağır kemer ya da hafifletme kemeri olarak da adlandırılır (Şekil 8.10, Resim 8.8).

Resim 8.8: Düz kemer üzerine tahfif kemeri örneği



Şekil 8.10: Düz kemer üzerine tahfif (sağır) kemeri krokisi

Tarihi sanat yapılarında çeşitli kemer örneklerini görmek mümkündür. Kemerler oluşturdukları eğrinin formuna göre adlandırılır. **Basık kemer,** yüksekliği açıklığının yarısından az olan eliptik ya da yarı eliptik yay şekilli kemerdir (Resim 8.9). Sık kullanılmış kemer biçimlerinden **yarım daire kemer;** yüksekliği, açıklığının yarısı olan daire şeklindeki kemerdir (Resim 8.10). **Sivri kemer,** yarıçapı kemer açıklığının yarısından büyük olan ve tepe noktasında birleşen iki daire yayının meydana getirdiği kemerdir. Çift merkezli kemer olarak da adlandırılır (Resim 8.10).

Resim 8.9: Topkapı Sarayı kilit taşlarla yapılan basık kemer

Resim 8.10: Basık sivri kemer, normal sivri kemer ve yarım daire (yuvarlak) kemer örnekleri

Tudor Kemeri: Her iki yanında dörtte bir daire yayı ile başlayıp kilit noktasına kadar birer doğru ile devam eden kemerlerdir. Tudor mimarisi üslubunun temsilcisi olan kemerdir (Resim 8.11).

Resim 8.11: Tudor kemeri örneği

SIRA SİZDE

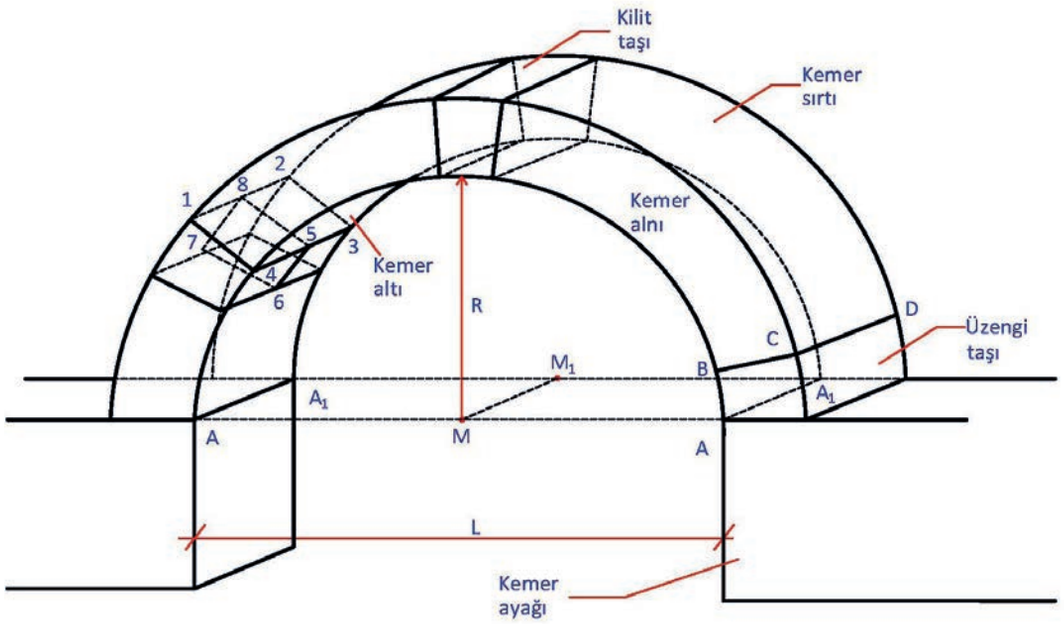
Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde sık kullanılan Türk kemeri kroki şekillerini aşağıdaki boşluğa serbest elle çiziniz.

8.1.2. Yuvarlak (Yarım Daire) Kemerler ve Elemanları

Yuvarlak kemer; yüksekliği, açıklığının tam yarısı olan yarım daire şeklindeki kemerdir. Yuvarlak kemerlerde kemer merkezi, üzengi çizgisi ve kemer ekseninin kesiştiği M noktasıdır.

Yığma (taş, tuğla vb.) kemerler; kemer ayakları, kemer açıklığı, kemer ekseni, üzengi noktaları, üzengi çizgisi, kemer merkezi/merkezleri, kemer yüksekliği, kemer kenarları, kemer altı, kemer takyesi, kemer sırtı, kemer kalınlığı, kemer genişliği, üzengi yatağı, üzengi taşı, kilit taşı, kemer taşları, sıra derzi ve ara derz kısımlarından oluşur.

Şekil 8.11'de bir kemerin kesişim noktaları, kemer merkez noktası, kemer açıklığı ve kısımları adlandırılmıştır.



Şekil 8.11: Yuvarlak kemer ve elemanları

Yığma malzemeler ile inşa edilen kemeri oluşturan elemanlar ve kısımları aşağıda açıklanmıştır.

Kemer Ekseni: Açıklığın ortasından dik geçen doğrudur.

Kemer Açıklığı: Kemerin oturduğu iki ayak ya da duvar arasındaki açıklıktır.

Kemer Karnı: Kemer eğrisinin iç yüzü ya da alt yüzüdür.

Kemer Ayağı: Kemerin iki yanında yer alan ve ağırlığını ilettiği ayak ya da sütunlardan her biridir.

Kemer Gözü: Kemerin ve ayaklarının üzerindeki boşluktur.

Kemer Alnı: Kemerin dıştan bakıldığında görülen şerit biçimindeki kenarıdır.

Kemer Açıklığı: Kemer ayakları arasındaki açılıktır.

Kemer Yüksekliği: Kemer ekseninde üzengi çizgisinden kemer altı kavisinin yüksekliğidir.

Kemer Altı: Kemerin kavisli olan alt yüzeyidir.

Kemer Sırtı: Kemerin kavisli olan üst yüzeyidir.

Kemer Genişliği: Kemerin ön ve arka yüzeyi arasındaki derinliktir.

Kemer Kalınlığı: Kemer altı ile sırtı arasındaki yükseklikliktir.

Kemer Taşları: Üzengi ve kilit taşı arasına konulan taşlardır.

Kilit Taşı: Bir kemer eğrisinin en üst noktasına konulan ve taşları birbirine kenetleyen taştır.

Üzengi Noktası: Kemer yapılacak boşluk kenarlarındaki kemer kavisinin başladığı noktadır.

Üzengi Çizgisi: Üzengi noktalarını birleştiren doğrudur.

Üzengi Yatağı: Doğrultusu kemer merkezinden geçen ve ilk kemer taşının oturduğu yüzeydir.

Üzengi Taşı: Üzengi yatağı üzerine konulan ilk kemer taşıdır.

Takye: Kemerin ortasındaki en yüksek noktadır.

Geleneksel mimari yığma yapılarda büyük açıklıkların geçilebilmesi için inşa edilen kemerlerde, tüm bağımsız ögeler kapalı bir sistem oluşturularak bir araya getirilir. Düşey kuvvetler kemerlerle destekleyici ayaklara taşıtılır. Destek ayaklarının üzerindeki kemerin iki kolunun oturduğu taşlar üzengi taşlarıdır ve bunlar kemer taşı adı verilen kama biçimindeki ögeleri taşır. Kemerin orta aksı tepe noktasında ise kilit taşı bulunur.

8.1.3. Yuvarlak Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Kemerler; genellikle kâgir malzemelerle kavisli olarak yapılan ve üzerlerine gelen yükleri taşıyarak oturtuldukları ayaklara, sütunlara aktaran mimari dekoratif ve/veya taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Kemerler; uygun boyutlarda işlenen yapık taş, tuğla, ahşap ya da özel kalıplara dökülerek hazırlanan beton blokların çimento harcı ya da takviyeli harçla örülmesiyle inşa edilir. İlk gerçek kemerler kerpiç malzemeyle inşa edilmiştir. Sonraki dönemlerde aynı teknik taş malzeme ile uygulanmıştır. Bu teknikte inşa edilen örneklerde, üstten gelen ağırlığı iki ayrı desteğe iletmek üzere orta kısmı oldukça yüksek ve bir kavis çizen formlarla tamamlanmıştır.

Çok sayıdaki kerpiç veya taş blokların birbirine dayanarak kemer kavisini tamamlamasıyla ilk gerçek kemerin temel prensibi ortaya çıkmıştır. Bu prensip esas olmak üzere kemerin teşkil ettiği dönüş hareketini oluşturan yayların sayısı, çapları ve bunların dönüş doğrultuları zaman zaman değiştirilerek zengin biçimler elde edilmiştir. Bazen yarım daire, basık veya elips şekiller; bazen de sivri veya dilimli formlar kullanılarak çok çeşitli kemerler inşa edilmiştir. Böylece ana prensibin bulunmasıyla birlikte çeşitlemeler yapılmaya başlanmış, mimari akımlar ve üslûplara göre bazı kemer çeşitleri dönemlere göre daha yaygın hale gelmiştir. Kemer tiplerinde görülen kemer formlarının çeşitliliği, çizimde kullanılan pergelin ayak açıklığı ve daire merkezlerinin yeriyle ilgilidir.

Mimaride herhangi bir açıklığı geçmek için iki seçenek vardır. Birinci seçenek lento adı verilen düz yatay atkı ya da kiriş yapmaktır. İkincisi ise eğrisel bir yapı elamanı olan kemer inşa etmektir. Kemerler formundan dolayı üzerindeki yükleri aşağıya aktarmada, düz atkıdan daha emniyetli ve uzun süreçli yapılar için avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle kemerler, üzerlerine gelen ağırlıkları ve yükleri emniyetli bir şekilde oturdukları zemine veya ayaklara aktaran taşıyıcı sistemler olarak inşa edilmektedir.

Bazı tarihi yapılarda, pencere ve kapı açıklıklarında yer alan lentonun üzerine tahfif kemeri, hafifletme kemeri ya da boşaltma kemeri adı verilen kemerlerin inşa edildiği görülmektedir. Tahfif kemerleri ile lento üzerine etki edecek düşey yükü iki yana dağıtarak azaltmak ve böylece lentoda oluşabilecek kırılmaların ve çatlamaların önlenmesi amaçlanmıştır.

Bir kemerin iki kolunun oturduğu ve eğrisel kısmın başladığı seviyeye **üzengi**, burada yer alan ve yatay olarak yerleştirilen iki taşa da **üzengi taşı** adı verilir. Kemerin orta aks hizasında, tepe noktasında yer alan taşa ise **kilit taşı** adı verilir (Resim 8.12).

Resim 8.12: Sirkeci Garı cephesinde kapı ve pencere üzerine inşa edilen yuvarlak ve elips kemerler

Mimari yapı kemerleri; taş, tuğla, iki renkli taşın ardışık dizilmesi ya da farklı geçme detayları ile oluşturulan formlarla inşa edilmiştir. Cephe yüzeylerinde veya kapı, pencere gibi açıklıkların üstünde yer alan ve genellikle eğri formlarda olan kemerler bir yay biçiminde olup yarım daire, basık, sivri veya dilimli biçimleri mevcuttur. Bölgesel, dönemsel, yapı tipi ve kültürel farklılıklara göre değişen kemer şekilleri, mimari üslûbun kimlik kazanmasında genellikle temel bir rol oynamıştır.

Her durumda strüktür değeri taşıyan bir kemer, taşıyıcı unsurla örtücü unsurlar arasında yer alan geçiş kısmını oluşturur. Bazen düz cepheleri hareketlendirmek için bezeme ve süsleme amaçlı formlarda tasarlanan sağır kemerler de kullanılmaktadır. Bu durumda kullanılan kemer biçimi bezeme ve süsleyici unsur olarak tasarlandığından herhangi bir yük taşımaz ve altında boşluk olmaz. Ancak geçit vermeyen kemerlerin tamamı bezeme ve süsleme amaçlı değildir.

Mimarlık tarihinde ilk kemer tipleri hakkındaki görüşler farklıdır. Bir görüşe göre birbirine üst kenarlarda bitişik, alt uçları kenarlara doğru açılıp desteklere oturtulan iki taş levha ilk kemer çatısını meydana getirmektedir. Bu teknik daha sonra geliştirilerek üçüncü bir taş blokun üstte ortaya konulmasıyla yeni bir uygulama ortaya çıkarmıştır. Diğer bir görüş, üst üste konulan taş bloklarının yükseldikçe birbirine doğru kaydırılmasıyla elde edilen taşırma tekniğindeki inşa metodunu ilk kemer formu olarak kabul eder. Bu iki teknikten hangisinin daha eski olduğu belirlenememiştir. Ancak farklı kültür çevrelerinde kullanılan inşaat malzemesinin fizikî yapısı ve boyutlarının farklı olması her iki tekniğin aynı dönemlerde kullanılmış olabileceği tezini de desteklemektedir.

Taşırma tekniği, geniş açıklıkların üstünün örtülmesi açısından daha geniş imkânlara sahip olduğundan bu teknik yaygın ve uzun süre kullanılmıştır. Her iki durumda da kemer formunun temel mantığı olan dönüş hareketi tamamlanmadığından mimarlık tarihinde bu kemerlere **yalancı kemer** adı verilmiştir. **Yalancı kemer**, tahfif kemerlerin süsleme amacıyla yapılanlarıdır (Resim 8.13).

Resim 8.13: Yalancı kemer örneği

Geleneksel Türk mimarisinde tuğlalarla inşa edilen kemerler, sonraki dönemlerde Osmanlı mimarisinde taşa yansıtılmış, kendine has ölçü ve oranlara taşınmıştır. Osmanlı mimarisinde kemerler, hemen hemen her türlü yapıda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kubbe ve tonoz sisteminde olduğu gibi prizmatik kapı ve pencere sövelerinin kavisli bir kuşakla örtülmesi hem yapılarının iskeleti bakımından gereklilik hem de estetik bir tamamlayıcı olarak ele alınmıştır.

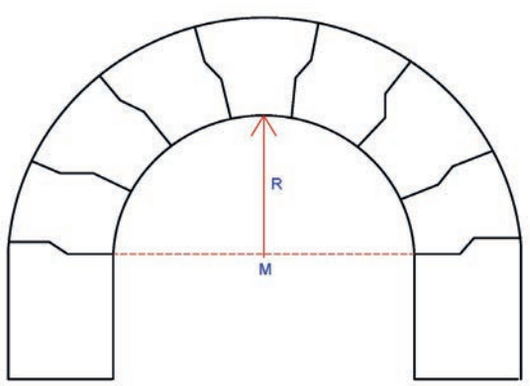
Tuğla ve taş malzemelerle, açıklık vermeyen cephelerde hafif girinti yapan bezeme ve süsleme amaçlı tasarlanan kemerle hareket kazandırılmaya çalışılmıştır. Sağır kemer olarak da adlandırılan bu kemer formu özellikle kümbet cephelerinde kullanılmıştır. Genellikle dikdörtgen pencerelerin üzerinde yer alan bu kemerler ile duvar örgüsünün ağırlığı pencere üzerindeki üst söve ortasına bindirilmeden iki kenara aktarılmıştır. Kemerin içi örülerek doldurulan bu kemerler; **boşaltma kemeri, hafifletme kemeri** ya da **tahfif kemeri** olarak adlandırılır.

Selçuklu ve Erken Osmanlı Dönemi'nde İran tarzı kemerler ön plana çıkmıştır. İran kemerleri, Türk kemerlerine en çok benzeyen kemerlerdir. Özellikle Selçuklu Dönemi'ne ait mimari eserlerde görülen bu kemerler, İran tarzına oldukça benzemektedir. Ancak İran kemerlerinin üst kısmı daha sivri ve kemer daha basık formdadır. Geç Dönem Osmanlı mimarisinde Batı mimarisinin Barok tarzına yönelim olmuştur. Osmanlı Barok üslubunu ortaya koyan kemer formları da ortaya çıkmıştır. Osmanlı mimarisinde sık rastlanan ve Bursa kemeri adı verilen kemer türü esasını eski ahşap yapılardan almıştır. Ahşap yapılarda iki dikmenin üstüne binen, yatay kirişi takviye eden iki paraçol zamanla taş mimaride bir biçim olarak kullanılmıştır. Bu tür kemerlere Türk mimarisinde **Bursa kemeri** adı verilmiştir.

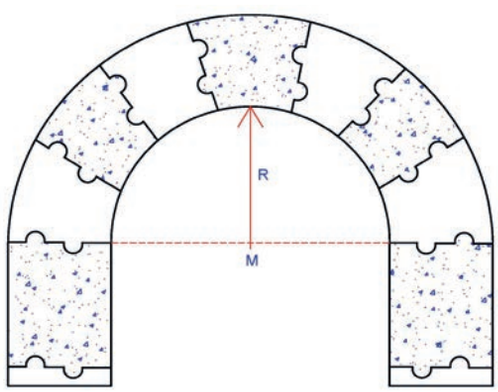
Osmanlı mimarisinde en büyük ölçülü kemer uygulamaları Osmanlı camilerinin ana mekânını belirleyen iskelet yapısında yer alır. Dört, altı veya sekiz ayağı birbirine bağlayan bu kemerler, üstte pandantif ve kubbe ile destek aralarındaki perde duvardan dolayı kolayca fark edilmeyen ögelerdir. Bu yapı sisteminin esasını belirleyen büyük kemerlerin ayak araları bir perde duvarıyla kapatılarak, birkaç sıra halinde bu duvara açılan fil gözü ya da revzenli pencereyle cephe hareketlendirilerek iç mekâna ışık sağlanmıştır.

Yuvarlak kemer çizimi aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılır [Şekil 8.12(a, b)].

1. Kemer yatay ve düşey ekseni çizilir.
2. Elle yapılan çizimlerde pergel ucu M merkez noktasına konur ve kemer yüksekliği (R= yarıçap) kadar açılarak kemer yayı çizilir.
3. Kemerin kalınlığı belirlenir.
4. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği + kemer kalınlığı kadar açılarak yay çizilir. Ya da kemer kalınlığı çizilen üzengi çizgisine paralel olarak kemer kalınlığı alınarak pergel ile yay çizilir.
5. Kemeri oluşturan forma göre makaralı, geçmeli renkli taş vb. teknik çizim kuralları doğrultusunda ölçüsüne uygun şekilde çizilir.



Şekil 8.12.a: Yuvarlak form geçmeli (makaralı) taş malzeme ile yapılan kemer krokisi



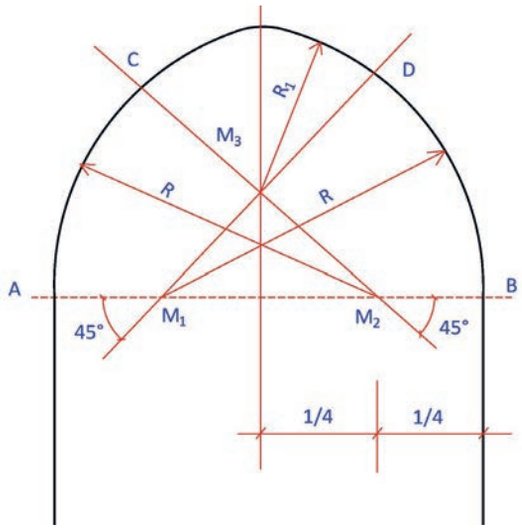
Şekil 8.12.b: Yuvarlak form geçmeli renkli taş malzeme ile yapılan kemer krokisi

Yarım daire şeklinde yuvarlak formda inşa edilen Has Murat Paşa Camisi revak kemerleri Resim 8.14'te verilmiştir.

Resim 8.14: İstanbul, Has Murat Paşa Camisi revakı yuvarlak ve sivri form sıralama kemerleri

Parabol kemer çizimi, aşağıda verilen hususlar ve işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.13).

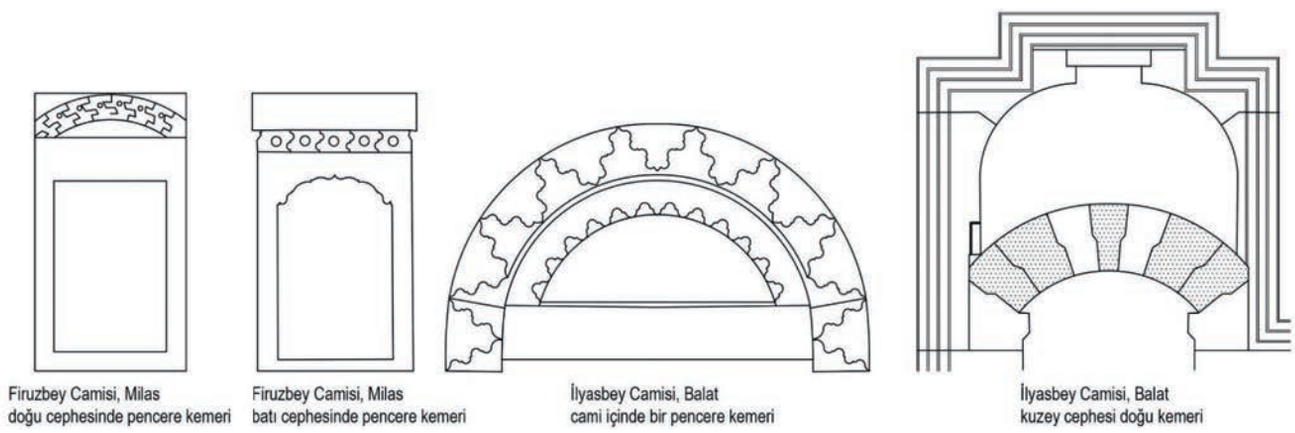
1. Kemerin yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. Kemer yatay ekseni dört eşit parçaya bölünür.
3. M_1 ve M_2 merkezlerinden 45^0lik yardımcı doğrular çizilir.
4. Bu doğruların kemer dikey ekseninin kestiği M_3 merkezi bulunur.
5. M_1 merkeziyle DB yayı M_2 merkeziyle AC yayı, M_3 merkeziyle CD yayı çizilir.



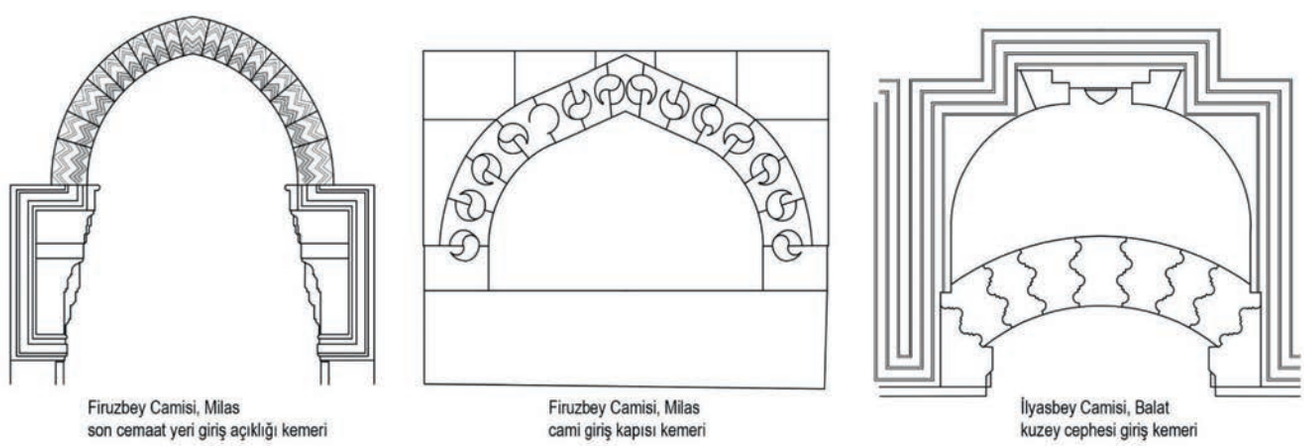
Şekil 8.13: Parabol kemer krokisi

Selçuklu ve Beylikler Dönemi Mimarisi Kemer Krokileri

Selçuklu ve Beylikler dönemi mimari eserlerde pencere, giriş kapısı, giriş açıklığı kemer örnekleri Şekil 8.14 ve Şekil 8.15'te verilmiştir.



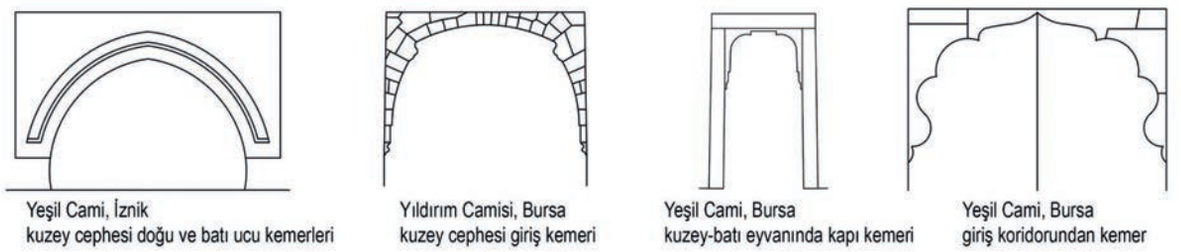
Şekil 8.14: Pencere ve cephe kemeri kroki örnekleri



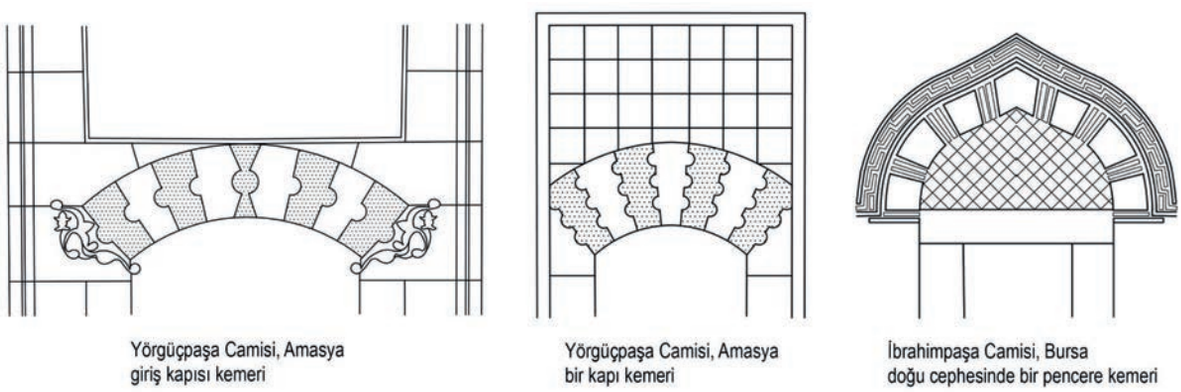
Şekil 8.15: Son cemaat yeri ve cephe giriş kemeri kroki örnekleri

Erken ve Klasik Dönem Osmanlı Mimarisi Kemer Krokileri

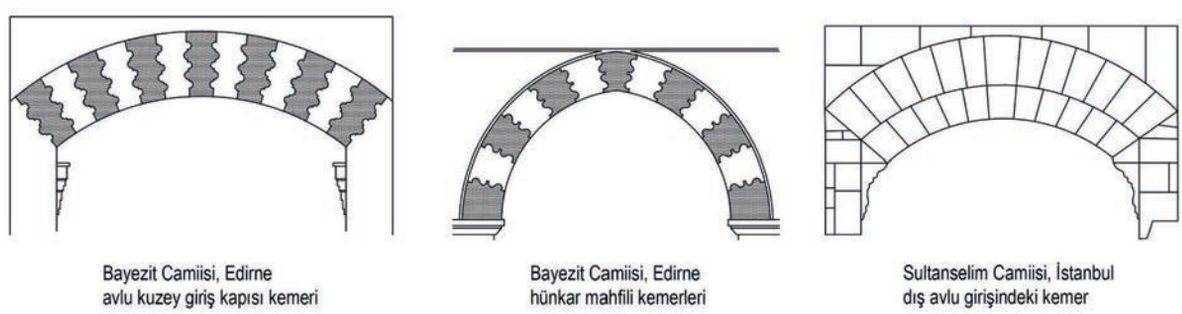
Erken Osmanlı Dönemi ve Klasik Dönem Osmanlı mimarisi sanat yapılarında iç kapı, pencere, giriş kapısı, son cemaat yeri, hünkâr mahfili, payanda, avlu girişi, giriş açıklığı gibi kemer örnekleri Şekil 8.16, Şekil 8.17, Şekil 8.18, Şekil 8.19, Şekil 8.20, Şekil 8.21, Şekil 8.22, Şekil 8.23, Şekil 8.24'te verilmiştir.



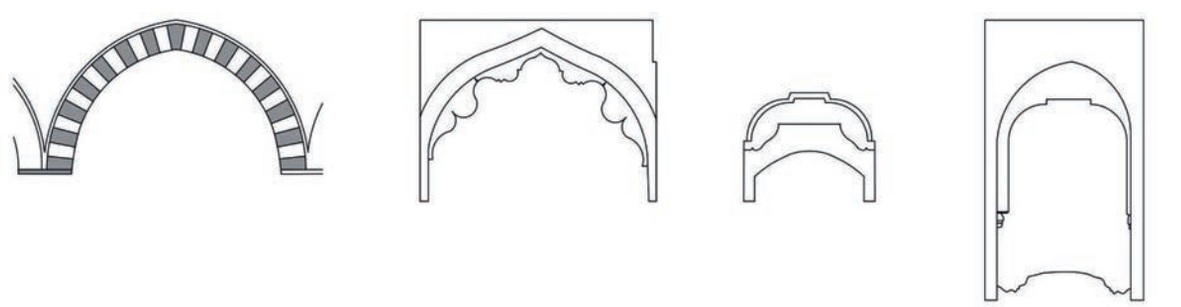
Şekil 8.16: Erken Osmanlı Dönemi camilerinde kapı ve giriş kemer krokileri



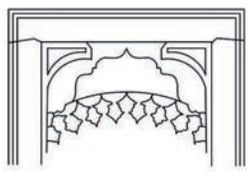
Şekil 8.17: Erken Osmanlı Dönemi camilerinde kapı ve pencere kemer krokileri



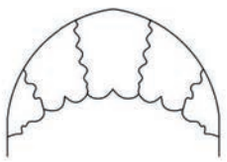
Şekil 8.18: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde giriş kapısı, hünkâr mahfili ve avlu girişi kemer krokileri



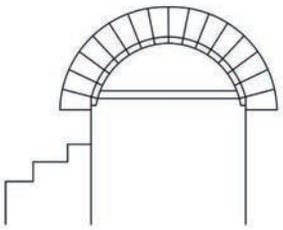
Şekil 8.19: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde avlu, giriş kapısı kemer krokileri



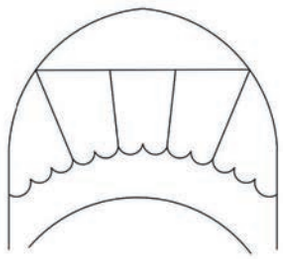
Rüstempaşa Camisi, İstanbul cami kuzey giriş kapısı iç kemer grubu



Süleymaniye Camisi, İstanbul avlu doğu giriş kapısı iç kemer grubu

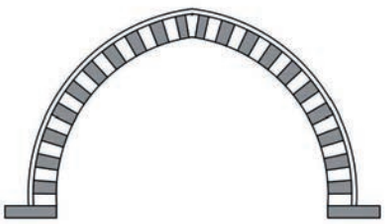


Selimiye Camisi, Edirne batı galerisinde payanda kemeri

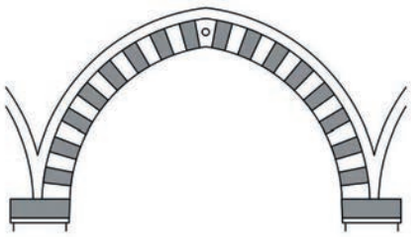


Mihrimahsultan Camisi, İstanbul cami kuzey giriş kapısı iç kemer grubu

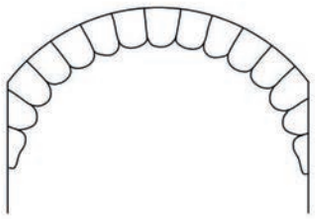
Şekil 8.20: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde avlu, giriş kapısı kemer krokileri



Sultanahmet Camisi, İstanbul avludan kemer

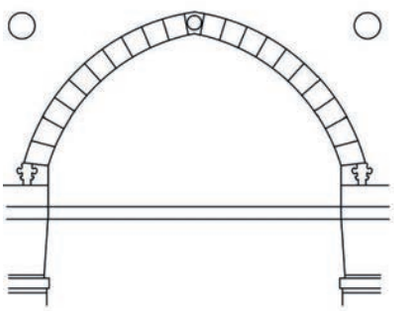


Yenicami İstanbul avludan kemer

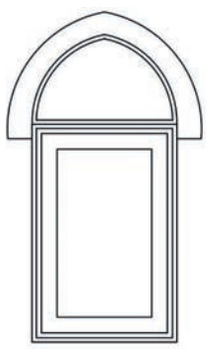


Mihrimahsultan Camisi, İstanbul külliye doğu giriş kapı kemeri

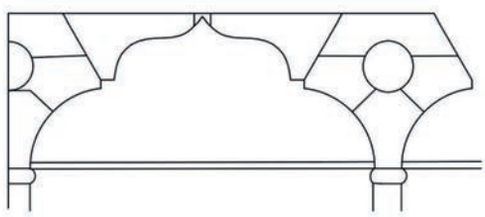
Şekil 8.21: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde avlu ve giriş kapısı kemer krokileri



Yenivalide Camisi, İstanbul son cemaat yerinden kemer

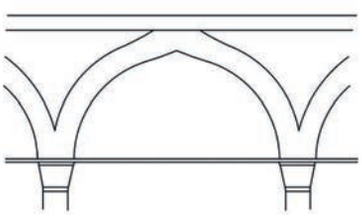


Cerrahpaşa Camisi, İstanbul kuzey cephesinde pencere kemeri

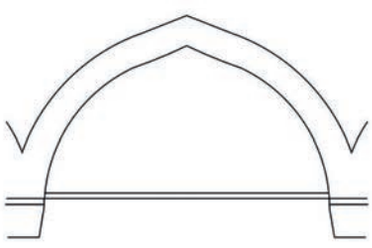


Muradiye Camisi, Manisa cami içinde kuzey galerisinin altında kemer

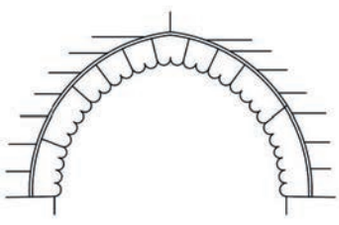
Şekil 8.22: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde son cemaat yeri, pencere ve galeri altı kemer krokileri



Sinanpaşa Camisi, İstanbu, Beşiktaş son cemaat yerinden kemer

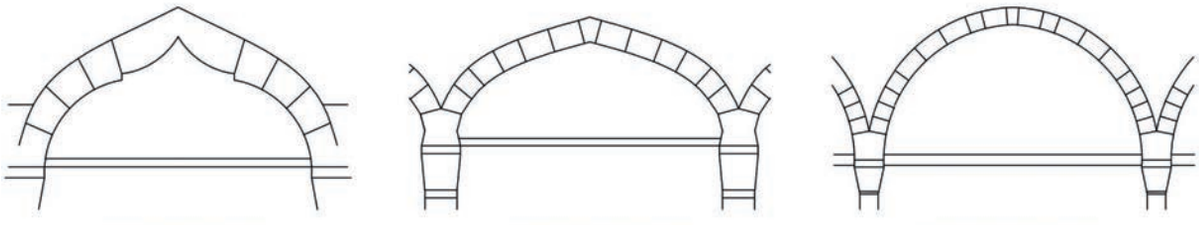


Mihrimahsultan Camisi, İstanbu,avludan kemer



Piyalepaşa Camisi, İstanbul son cemaat yerinden kemer

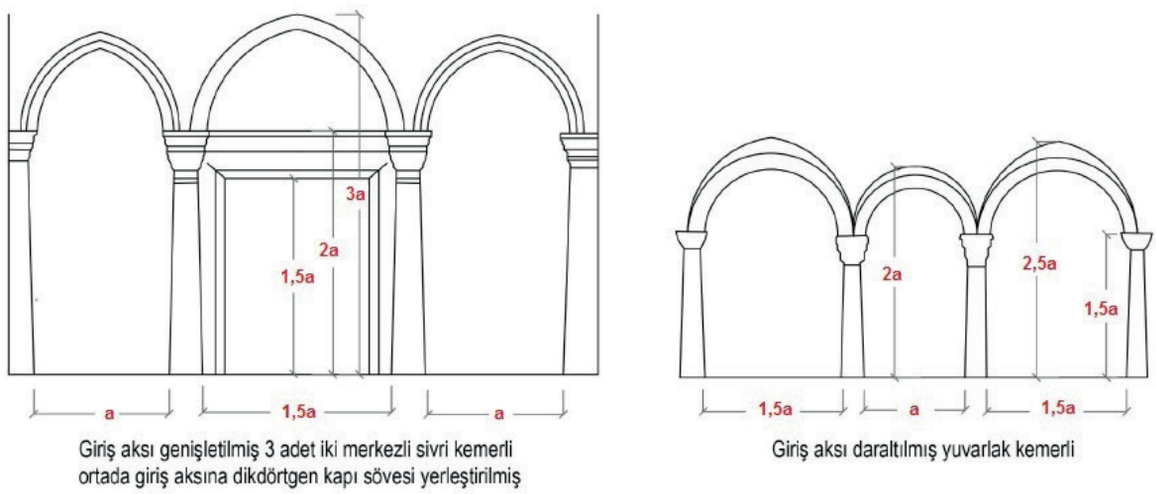
Şekil 8.23: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde son cemaat yeri, avlu kemer krokileri



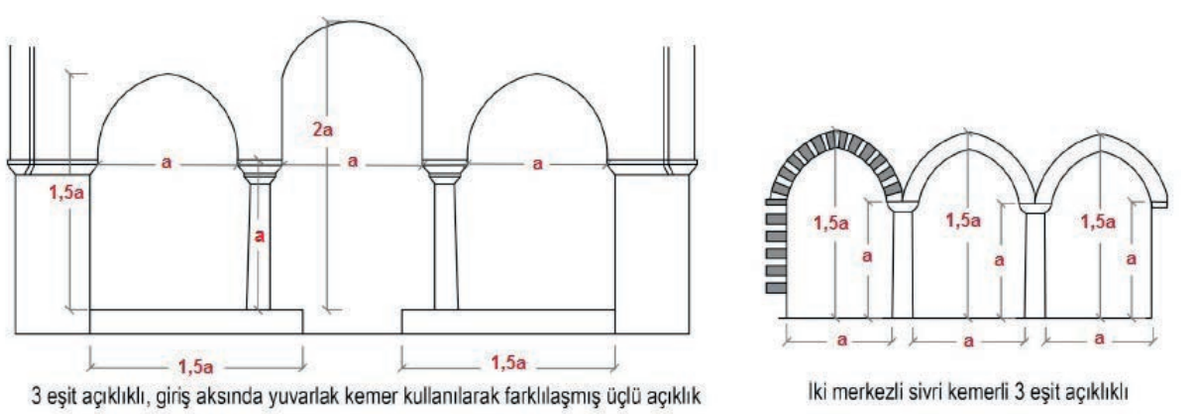
Şekil 8.24: Klasik Dönem Osmanlı mimarisi camilerinde son cemaat yeri, avlu kemer krokileri

Erken Dönem Osmanlı Mimarisinde Kemerli Açıklıklar

Erken Dönem Osmanlı mimarisi sivri, yuvarlak ve iki merkezli sivri kemer oranlarını gösteren kroki çizim örnekleri Şekil 8.25 ve Şekil 8.26'da verilmiştir.



Şekil 8.25: Sivri ve yuvarlak kemerli kroki örnekleri



Şekil 8.26: Erken Dönem Osmanlı mimarisi yuvarlak kemer ve iki merkezli sivri kemer kroki örnekleri

SIRA SİZDE

Şekil 8.25'te verilen iki merkezli sivri kemerli 3 eşit açıklıktan oluşan kroki doğrultusunda a = 200 cm ve kemer ayağı olan sütunların genişlikleri 40 cm olarak verilmiştir. 3 eşit açıklıktan oluşan kemer şeklini çizim araç gereçleriyle eskiz kâğıdına ya da bilgisayarda çizim programıyla çiziniz.

8.2 UYGULAMA

9 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

YUVARLAK KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, yuvarlak kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Yuvarlak kemer planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 40 cm olan sütunlar üzerine kemer yüksekliği 120 cm ve kemer açıklığı 120 cm olan yuvarlak kemer planlanacaktır. Kemer inşaatında dolu kemer tuğlası kullanılacaktır.

İstenenler

Yuvarlak kemer krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemer yatay ve düşey eksenleri çizilir.
2. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin M merkezine göre A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığı 120 cm (çizimde 6 cm) alınarak belirlenir.
3. Pergel ucu belirlenen M merkez noktasına konur ve kemer yüksekliği 120 cm (çizimde 6 cm) açılır ve kemer yayı çizilir.
4. Kemerin kalınlığı 40 cm alınarak belirlenir.
5. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği + kemer kalınlığı (120+40 = 160 cm, çizimde 8 cm) kadar açılarak yay çizilir.
6. Kemer ayakları çizilir.
7. Çizilen kemer yüzeyine dolu kemer tuğla taraması yapılır.
8. Kemer ölçülendirmeleri yapılır.
9. Kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemer yatay ve düşey eksenlerini çizdiniz mi?		
2	1/20 ölçekli çizilecek kemerin M merkezine göre A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığını 120 cm (çizimde 6 cm) alarak belirlediniz mi?		
3	Pergel ucu belirlenen M merkez noktasına konur ve kemer yüksekliğini 120 cm (çizimde 6 cm) açarak kemer yayını çizdiniz mi?		
4	Kemerin kalınlığını 40 cm alarak belirlediniz mi?		
5	Pergel açıklığını, kemer yüksekliği + kemer kalınlığı (120+40 = 160 cm, çizimde 8 cm) kadar açarak yayı çizdiniz mi?		
6	Kemer ayaklarını çizdiniz mi?		
7	Çizilen kemer yüzeyine dolu kemer tuğla taramasını yaptınız mı?		
8	Kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
9	Kemer açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında basık kemer örneklerini inceleyiniz ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

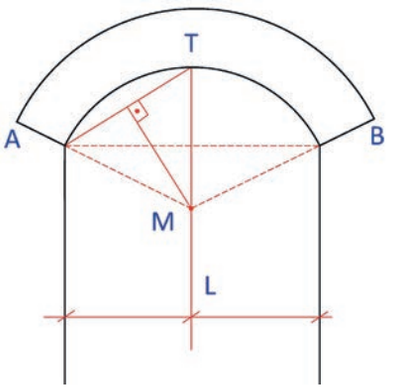
8.3. BASIK KEMERLERİ PLANLAMA

Basık kemerler; tek merkezli, üç merkezli sepet kulpu, beş merkezli sepet kulpu vb. kemer biçimlerinde planlanabilen kemerlerdir. Mimari yapılarda kapı ve pencerelerin üzerinde süsleme ve taşıyıcı amaçlı planlanan kemerlerdir. Resim 8.15'te Edirne Üç Şerefeli Cami Medresesi'nin camiye bakan cephe avlu kapısı üzerinde planlanan basık kemer ve basık kemerin üzerinde kapı başlığı yuvarlak kemeri görülmektedir. Yine Resim 8.15'te cami giriş kapısı önündeki avlu yuvarlak kemeri görülmektedir.

Resim 8.15: Edirne Üç Şerefeli Cami Medresesi cephe avlu giriş kapısı yuvarlak ve basık kemer örnekleri

8.3.1. Basık Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

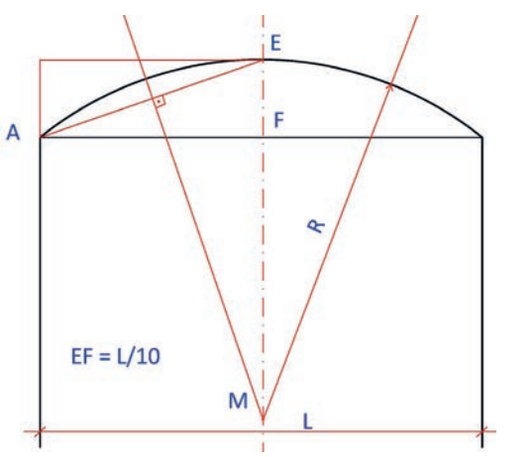
Basık kemerlerde diğer kemer türlerinde olduğu gibi yapay taş ve tuğla malzeme kullanılmaktadır. Bu tür kemerler mimari yapılarda, kapı üzerlerinde ve su kanallarında kullanılmıştır. EF = L/6 veya L/10 olan kemerlerdir. T ve A noktalarını birleştiren, yardımcı doğrunun ortasından çıkılan dik doğrunun kemer eksenini kestiği M noktası kemerin merkezidir (Şekil 8.27).



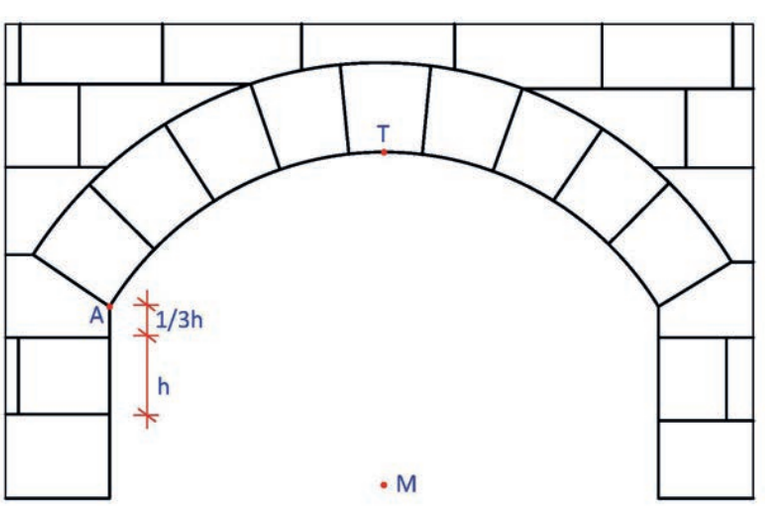
Şekil 8.27: Basık kemer çizimi (kısa açıklıklarda)

Basık kemer çizimleri aşağıda verilen hususlar ve işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.28, Şekil 8.29).

1. Kemer yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. Kemerin merkezi M noktası işaretlenir.
3. Pergel M noktasına konur, kemer yüksekliği kadar açılır ve kemer yayı çizilir.
4. Kemerin üzerine oturtulacağı mesnet ve ayaklar çizilir.



Şekil 8.28: Basık kemer çizimi (geniş açıklıklarda)

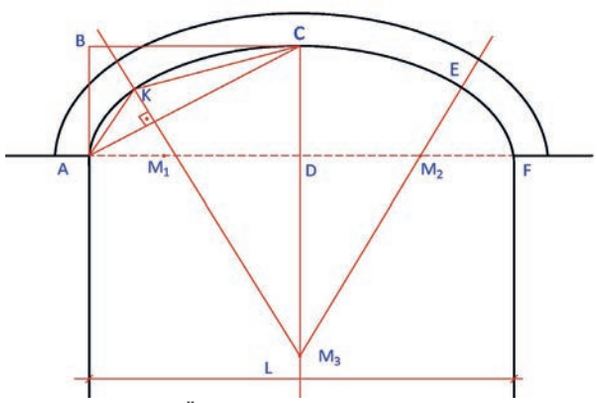


Şekil 8.29: Basık kemer çizimi

Sepet Kulpu Kemerler: Yüksekliği açıklığının yarısından az olan kemerlerdir. Bu kemerler, çiziminde kullanılan merkez sayısına göre üç ve beş merkezli olmak üzere iki şekilde planlanır.

Üç merkezli sepet kulpu kemer çizimi aşağıda verilen hususlar ve işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.30).

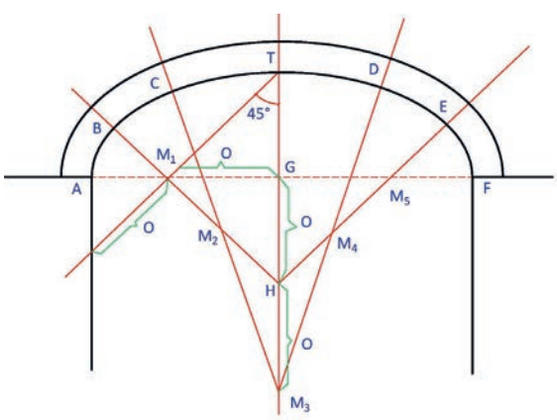
1. Kemer açıklığı ve yüksekliği belirlenir.
2. A ve C noktaları birleştirilir.
3. Şekil üzerinde ABCD dikdörtgeni oluşturulur.
4. ABC açısı ile BAC açısının açıortaylarının kesim noktası K bulunur.
5. K noktasından AC ye dik indirilerek uzatılır, eksenleri kestiği M_1 ve M_3 merkezleri işaretlenir.
6. M_1 merkezinin simetriği M_2 işaretlenir.
7. M_1 merkeziyle AK yayı, M_3 merkeziyle KE yayı, M_2 merkeziyle E yayı çizilir.



Şekil 8.30: Üç merkezli sepet kulpu kemer çizimi

Beş merkezli sepet kulpu kemer çizimi aşağıda verilen hususlar ve işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.31).

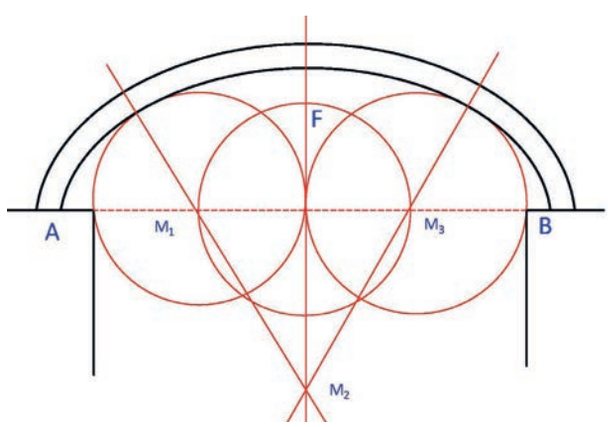
1. T noktasından 45^0lik doğru çizilir.
2. Pergel C noktasına konur ve yay mesafesi eksenler üzerinde işaretlenerek M_1, H ve M_3 noktaları bulunur.
3. H ve M_1 doğrusunun orta noktası bulunur ve M_2 işaretlenir.
4. M_1 merkezi ile AB yayı, M_2 merkezi ile BC yayı, M_3 merkeziyle CD yayı, M_4 merkeziyle DE yayı M_5 merkeziyle EF yayı çizilir.



Şekil 8.31: Beş merkezli sepet kulpu kemer çizimi

Elips kemer çizimi aşağıda verilen hususlar ve işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.32).

1. Üzengi hattı üzerinde kemer açıklığı dört eşit parçaya bölünür.
2. Birinci nokta M_1 ve üçüncü nokta M_3 olarak alınır.
3. M1 üzengi hattının orta noktası ve M_3 merkezleri ile yarıçapı açıklığı 1/4 olan üç yardımcı daire çizilir.
4. Çemberlerin alt kesişme noktaları ile M_1 ve M_3 merkezlerini birleştiren doğruların uzantılarının kemer eksenini kestikleri nokta M2 olarak alınır.
5. M_2 merkezi ile uzantı doğrularının yardımcı daire çemberini kestiği nokta arası yarıçapla çizilen daire çemberi elips kemer şeklini oluşturur.



Şekil 8.32: Elips kemer çizimi

8.4 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BASIK KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, basık kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Basık kemer planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 50 cm olan sütunlar üzerine kemer yüksekliği 100 cm ve kemer açıklığı 160 cm olan basık kemer planlanacaktır. Kemer inşaatında yapık taş kullanılacaktır.

İstenenler

Basık kemer krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemer yatay ve düşey eksenleri çizilir.
2. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin M merkezine göre A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığı 160 cm (çizimde 8 cm) alınarak belirlenir.
3. Pergel ucu belirlenen M merkez noktasına konur, kemer yüksekliği 100 cm (çizimde 5 cm) açılır ve kemer yayı çizilir.
4. Kemerin kalınlığı 50 cm (çizimde 2,5 cm) alınarak belirlenir.
5. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği + kemer kalınlığı (100+40 = 140 cm, çizimde 7 cm) kadar açılarak yay çizilir.
6. Kemer ayakları çizilir.
7. Çizilen kemer yüzeyine yapık taş taraması yapılır.
8. Kemer ölçülendirmeleri yapılır.
9. Kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemer yatay ve düşey eksenlerini çizdiniz mi?		
2	1/20 ölçekli çizilecek kemerin M merkezine göre A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığını 160 cm (çizimde 8 cm) alarak belirlediniz mi?		
3	Pergel ucunu belirlediğiniz M merkez noktasına koyup, kemer yüksekliğini 100 cm (çizimde 5 cm) açıp kemer yayını çizdiniz mi?		
4	Kemerin kalınlığını 50 cm (çizimde 2,5 cm) alarak belirlediniz mi?		
5	Pergel açıklığını, kemer yüksekliği + kemer kalınlığı (100+40 = 140 cm, çizimde 7 cm) kadar açarak yayı çizdiniz mi?		
6	Kemer ayaklarını çizdiniz mi?		
7	Çizdiğiniz kemer yüzeyine yapık taş taramasını yaptınız mı?		
8	Kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
9	Kemer açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

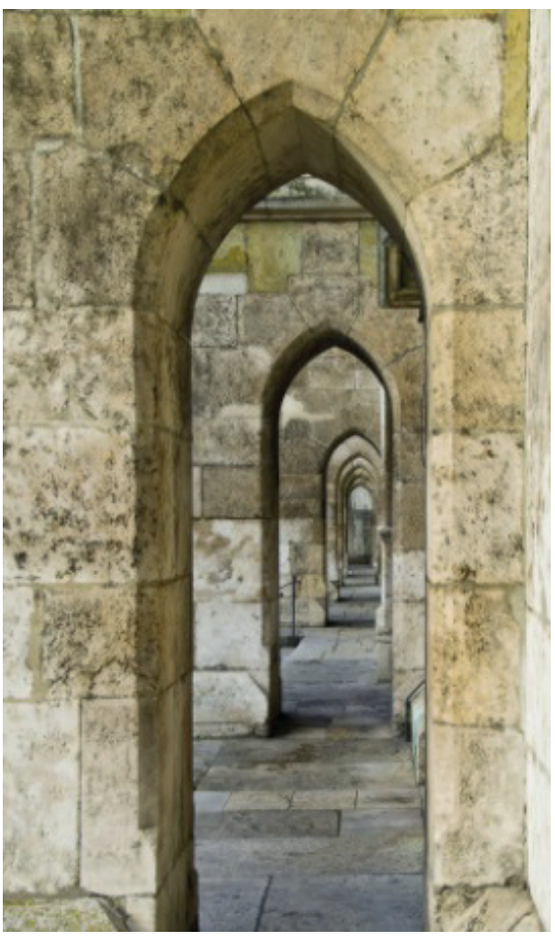
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

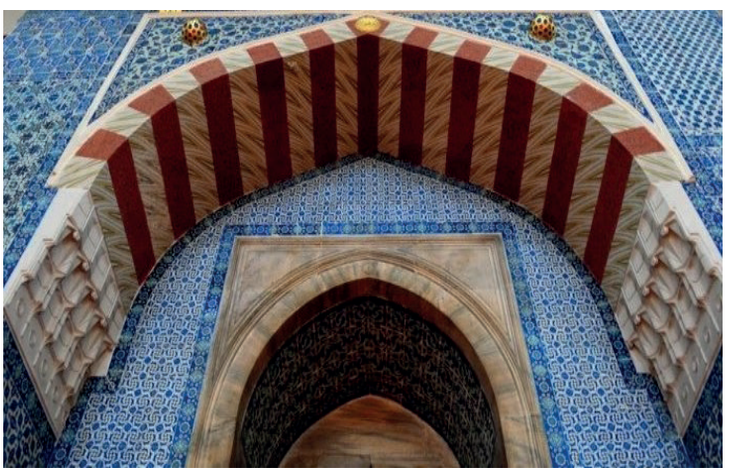
Mimari sanat yapılarında sivri kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.5. SİVRİ KEMERLERİ PLANLAMA

Sivri kemer, sivri biçimde yükselen eğrisel bir kemer çeşidi ve yapı ögesidir. Kemerin iki kıvrımlı yanı keskin bir açıyla birleştiğinden sivri bir tepe noktasından meydana gelir (Resim 8.16, Resim 8.17).



Resim 8.16: Sivri kemer örneği

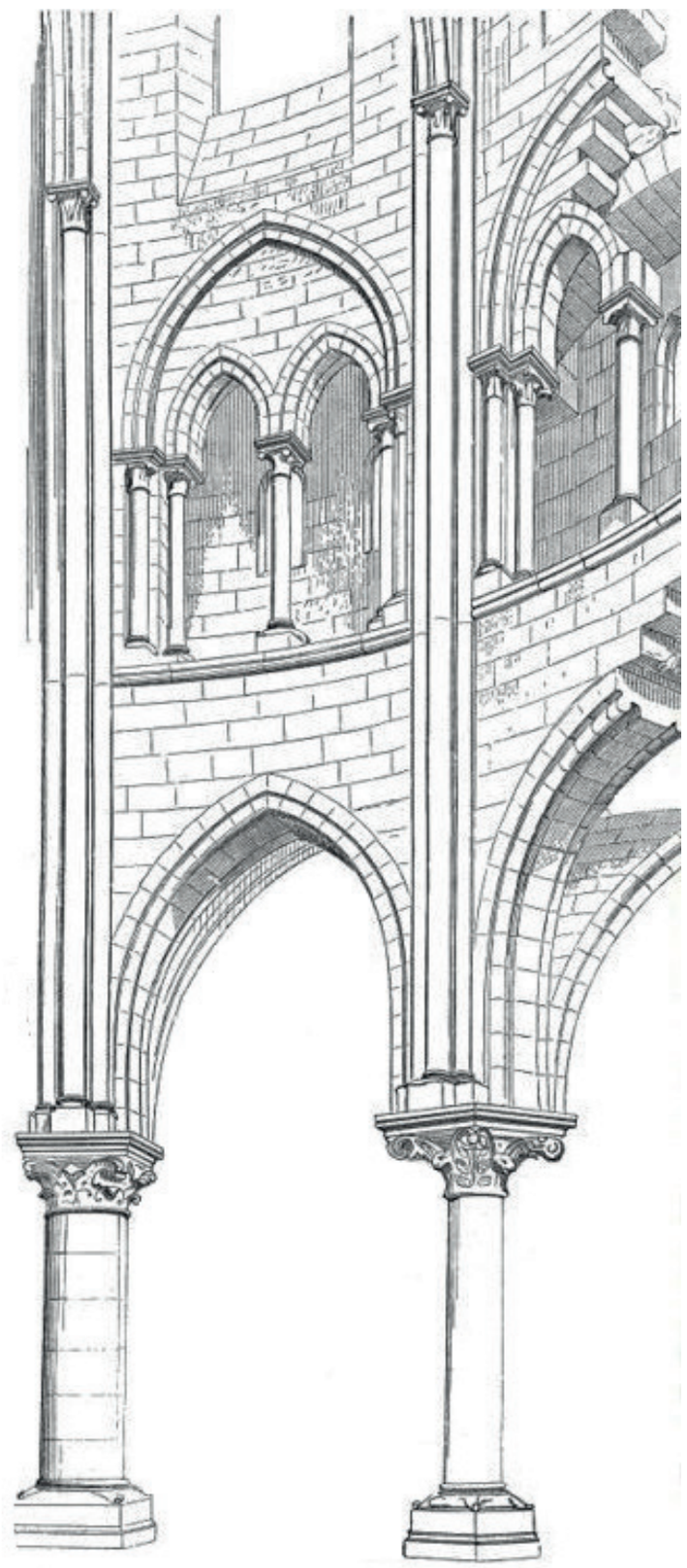


Resim 8.17: İstanbul, Rüstem Paşa Camisi sivri basık kemeri

Yüzyıllar geçtikçe Gotik üslubu sivri kemer ile üç yapraklı yonca kemeri, Mağribîlerin atnalı şeklinde çok dilimli kemer ve Barok eliptik kemer gibi çeşitli formlar ortaya konulmuştur. Gotik mimarinin yapısal olarak üç temel özelliği; sivri kemer, uçan payanda ve kaburgalı tonozdan oluşturulmasıdır. Gotik üslubunda genel olarak ilk dikkati çeken husus, mimari yapı elemanlarının uzunlamasına büyümesidir. Gotik dönemin en belirgin özelliklerinden olan sivri kemerler, uzayan binaların ağırlık sorununu çözmek için tasarlanmıştır. Estetik olarak da benimsenen sivri kemerler, Gotik mimarisinin temsilcisi haline gelmiştir. Gotik mimari bir eser, çok uzaktan bakıldığında sivri ve uzun kuleleri nedeniyle fark edilebilir görkemli yapılardır.

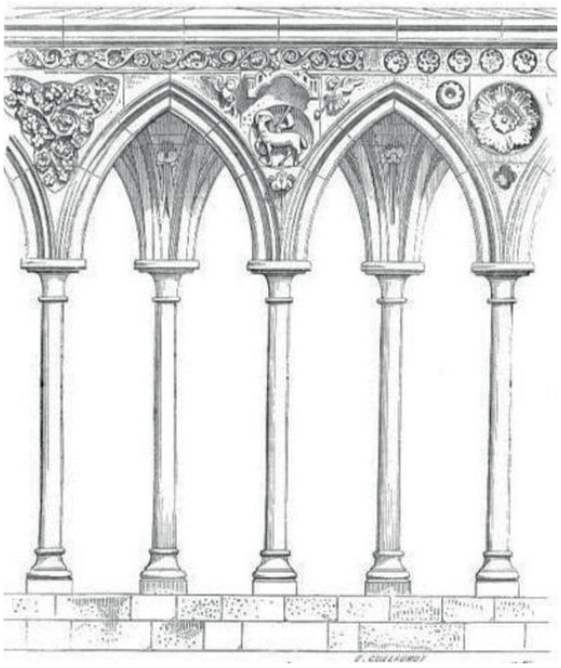
8.5.1. Sivri Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Sivri kemerler; basık, normal ve yüksek sivri kemeler olmak üzere üç şekilde planlanır. Sivri kemerlerde diğer kemer çeşitlerinde olduğu gibi yapık taş, tuğla, ahşap vb. malzemelerle yapılır. Şekil 8.33'te sivri kemerlerin planlandığı cephe perspektif kroki çizimi verilmiştir.



Şekil 8.33: Cephede sivri kemer ve sütunların perspektif kroki çizimi

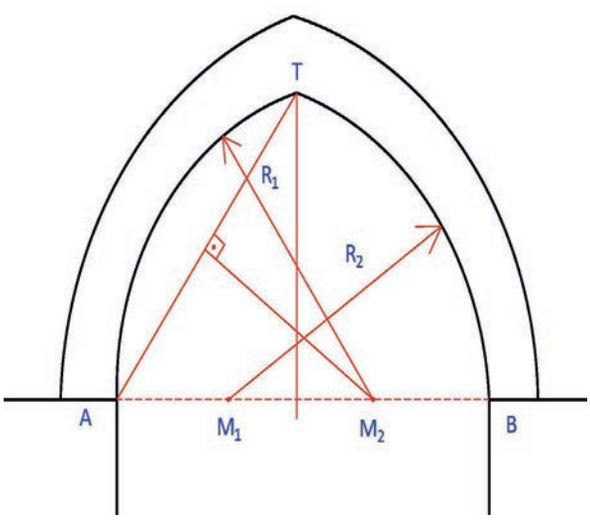
Şekil 8.34'te sütunlar üzerine planlanan sivri kemer ve sütunların ön görünüş kroki çizimi verilmiştir.



Şekil 8.34: Sivri kemer ve sütunların ön görünüşü

Basık Sivri Kemerler: Fleş yüksekliği kemer açıklığından az olan kemerde, T ve A noktalarını birleştiren doğrunun ortasından çıkılan dik doğrunun üzengi çizgisini kestiği M_1 ve eksene göre simetrik M_2 noktaları merkez alınır (Şekil 8.36).

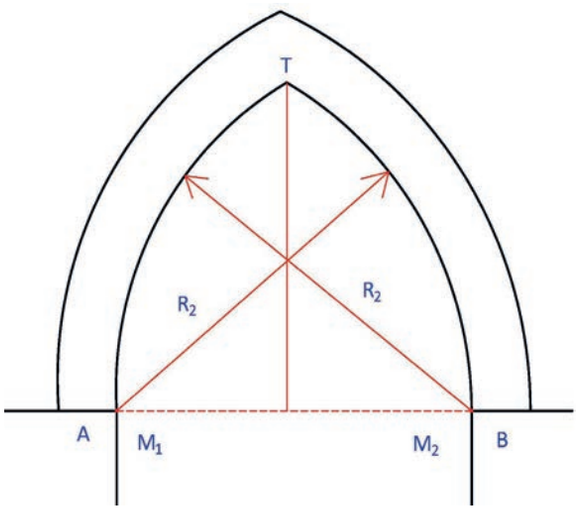
1. Kemer yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. Pergel kemer açıklığından küçük olacak şekilde açılarak M noktasına konur ve her iki tarafta birer yay çizilir.
3. Yayın yatay ekseni kestiği M_1 ve M_2 noktaları belirlenir.
4. Pergel M_1 ve M_2 noktalarına konarak R yarıçaplı kemer yayları çizilir.



Şekil 8.36: Basık sivri kemer krokisi

Normal Sivri Kemerler: Kemerin M_1 ve M_2 merkezleri A ve B üzengi noktalarıdır (Şekil 8.35).

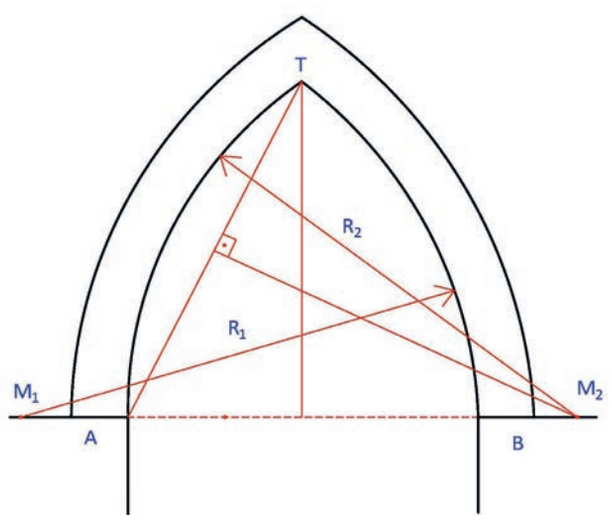
1. Kemer yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. Pergel M_1 noktasına konur, M_2 noktasına kadar açılır ve R yarıçaplı bir yay çizilir.
3. Pergel M_2 noktasına konur, M1 noktasına kadar açılır ve bir yay daha çizilir.



Şekil 8.35: Normal sivri kemer krokisi

Yüksek Sivri Kemerler: Fleş yüksekliği kemer açıklığından fazla olan kemerde, T ve A noktalarını birleştiren yardımcı doğrunun ortasından çıkan dik doğrunun üzengi doğrultusunu kestiği M_1 ve simetrik M_2 noktaları merkez alınır (Şekil 8.37).

1. Kemerin yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. Pergel, kemer açıklığından büyük olacak şekilde açılarak M_1 ve M_2 merkezleri belirlenir.
3. M_1 merkeziyle AT yayı, M_2 merkeziyle BT yayı çizilir.



Şekil 8.37: Yüksek sivri kemer krokisi

8.6 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

SİVRİ KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, sivri kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Sivri kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 50 cm olan sütunlar üzerine kemer yüksekliği 160 cm ve kemer açıklığı 100 cm olan normal sivri kemer planlanacaktır. Kemer yapık taş ile yapılacaktır.

İstenenler

Normal sivri kemer krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemer yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin M_1 ve M_2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığı 100 cm (5 cm) alınarak belirlenir.
3. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği 160 cm (8 cm) kadar açılarak T noktası belirlenir.
4. Pergel M_1 noktasına konur ve M_2 noktasına kadar açılarak bir yay çizilir.
5. Pergel M_2 noktasına konur ve M_1 noktasına kadar açılarak bir yay daha çizilir.
6. Kemer kalınlığı (sütun genişliği) 50 cm çizilir.
7. Pergel açıklığı 160 cm, kemer kalınlığı 50 cm, toplamı 210 cm (10,5 cm) kadar açılır ve her iki kemer ayağına (sütunlara) yaylar çizilir.
8. Kemer ayakları çizilir.
9. Çizilen kemer yüzeyine yapık taş taraması yapılır.
10. Kemer ölçülendirmeleri yapılır.
11. Kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemerin yatay ve dikey eksenlerini çizdiniz mi?		
2	1/20 ölçekli çizilecek kemerin M1 ve M2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığını 100 cm (5 cm) alarak belirlediniz mi?		
3	Pergel açıklığını, kemer yüksekliği 160 cm (8 cm) kadar açarak T noktasını belirlediniz mi?		
4	Pergeli M1 noktasına koyup M2 noktasına kadar açarak yayı çizdiniz mi?		
5	Pergeli M2 noktasına koyup M1 noktasına kadar açarak yayı çizdiniz mi?		
6	Kemer kalınlığını (sütun genişliği) 50 cm çizdiniz mi?		
7	Pergel açıklığını, kemer yüksekliği 160 cm ve kemer kalınlığı 50 cm toplamı 210 cm (10,5 cm) kadar açıp ve her iki kemer ayağına (sütunlara) yayları çizdiniz mi?		
8	Kemer ayaklarını çizdiniz mi?		
9	Çizdiğiniz kemer yüzeyine yapık taş taramasını yaptınız mı?		
10	Kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
11	Kemer açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

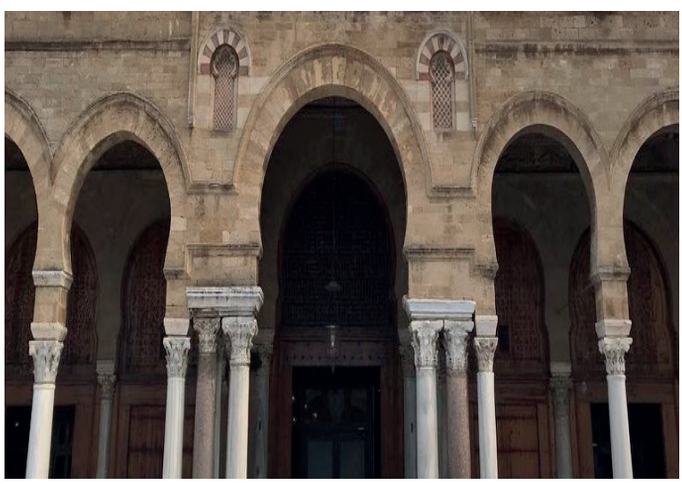
HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında atnalı kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.7. ATNALI KEMERLERİ PLANLAMA

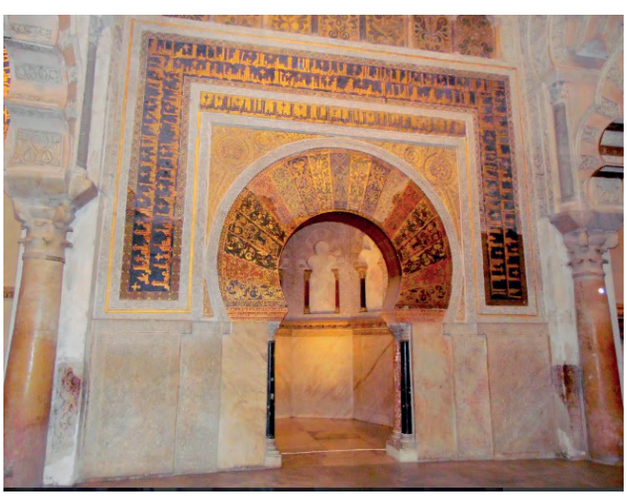
Kemerin sütun başlığının üzerinde içe doğru kıvrılmaya başladığı kemer tipidir. Tek merkezli, çift merkezli sivri ya da yuvarlak atnalı biçiminde çeşitleri vardır. Atnalı kemer yarım daireden daha geniş açılı planlanır (Resim 8.18, Resim 8.19).

Resim 8.18: Yuvarlak atnalı kemer örneği



Resim 8.19: Yuvarlak atnalı sıralı kemer örneği

Roma yarım daire kemerinin geliştirilmiş hâli olan ve İslam mimarisinin önemli biçimlerinden yarım daire kemerin gelişmiş hâlidir. Atnalı kemer yapısının İslam mimarisinde ilk kullanımı Endülüs Emevi'de Kurtuba Ulu Camisi'nde olmuştur (Resim 8.20, Resim 8.21).



Resim 8.20: Kurtuba Ulu Camisi yuvarlak atnalı kemer örneği

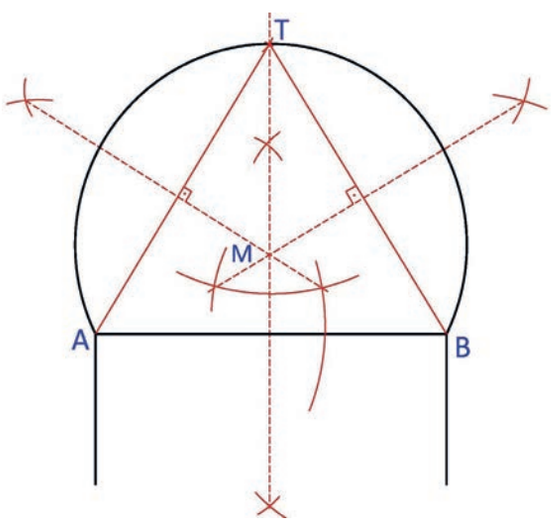
Resim 8.21: Kurtuba Ulu Camisi dişli sivri atnalı kemer örneği

8.7.1. Atnalı Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Kutsallığın simgesi olan atnalı kemer, klasik (yarım daire) kemere göre daha fazla yükseklik sağlayarak strüktürel avantajlar gibi daha estetik ve dekoratif kullanımı da ön plana çıkarmıştır. Atnalı kemerler genellikle yapık taş, tuğla vb. kâgir malzemelerle yapılır.

Atnalı kemer çizimleri aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.38).

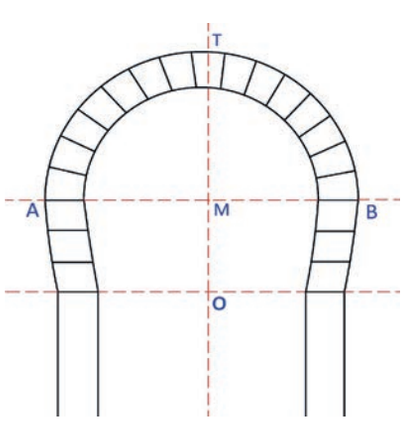
1. AB kemer açıklığı çizilir.
2. Orta noktanın bulunması için pergel yarıçapı kemer açıklığının yarısından biraz fazla açılır ve orta noktaya pergel ucu konarak, kesişecek şeklide iki yay çizilerek kemer ekseninin geçirileceği yer belirlenir.
3. Kemer ekseninin tepe noktası için AB kemer açıklığı çizgisinden kemer yüksekliği T işaretlenir.
4. AT ve BT doğruları çizilir.
5. AT ve BT doğrularını iki eşit parçaya bölmek için A ve T ile B ve T noktalarında aşağıdan ve yukarıdan yaylar çizilir.
   - Pergel AT doğrusunun yarsından biraz fazla açılır ve A noktasında yay çizilir.
   - Pergel açıklığı bozulmadan T noktasından yay çizilerek kesiştirilir.
   - Pergel BT doğrusunun yarsından biraz fazla açılır ve B noktasında yay çizilir.
   - Pergel açıklığı bozulmadan T noktasından yay çizilerek kesiştirilir.
6. A ve B noktalarını bölen eksen çizgileri çizilir ve M merkez noktası belirlenir.
7. Pergel M noktasına konur, A kadar açılır ve ATB yayı çizilir.
8. Kemer ayakları çizilir.



Şekil 8.38: Yuvarlak atnalı kemer çizimi

SIRA SİZDE

Şekil 8.39'da krokisi verilen yuvarlak atnalı kemer genişlikleri 40 cm olan sütunlar üzerine oturmaktadır. Kemer yüksekliği 120 cm ve kemer açıklığı 150 cm olan yuvarlak atnalı kemeri 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri yardımıyla aşağıdaki boşluğa çiziniz.



Şekil 8.39: Yuvarlak atnalı kemer krokisi

8.8 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

ATNALI KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, atnalı kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Atnalı kemer planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 40 cm olan sütunlar üzerine, kemer yüksekliği 140 cm ve kemer açıklığı 160 cm olan atnalı kemer planlanacaktır.

İstenenler

Atnalı kemer krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. 1/20 ölçekte çizim için kemer açıklığı 160 cm (8 cm) çizilir.
2. Orta noktanın bulunması için pergel yarıçapı kemer açıklığının yarısından biraz fazla açılır ve orta noktaya pergel ucu konarak, kesişecek şeklide iki yay çizilerek kemer ekseninin geçirileceği yer belirlenir.
3. Kemer ekseninin tepe noktası için AB kemer açıklığı çizgisinden kemer yüksekliği 140 cm (7 cm) alınarak T işaretlenir.
4. AT ve BT doğruları çizilir.
5. AT ve BT doğrularını iki eşit parçaya bölmek için A ve T ile B ve T noktalarında aşağıdan ve yukarıdan yaylar çizilir.
   - Pergel AT doğrusunun yarısından biraz fazla açılır ve A noktasında yay çizilir.
   - Pergel açıklığı bozulmadan T noktasından yay çizilerek kesiştirilir.
   - Pergel BT doğrusunun yarısından biraz fazla açılır ve B noktasında yay çizilir.
   - Pergel açıklığı bozulmadan T noktasından yay çizilerek kesiştirilir.
6. A ve B noktalarını bölen eksen çizgileri çizilir ve M merkez noktası belirlenir.
7. Pergel M noktasına konur, A kadar açılır ve ATB yayı çizilir.
8. Kemer ayakları olan sütun genişliği 40 cm (2 cm) çizilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	1/20 ölçekte AB kemer açıklığını 160 cm (8 cm) çizdiniz mi?		
2	Orta noktayı bulmak için pergel yarıçapını kemer açıklığının yarısından biraz fazla açarak ve orta noktaya pergel ucunu koyarak kesişecek şeklide iki yay çizip kemer ekseninin geçirileceği yeri belirlediniz mi?		
3	Kemer ekseninin tepe noktası için AB kemer açıklığı çizgisinden kemer yüksekliğini 140 cm (7 cm) alarak T'yi işaretlediniz mi?		
4	AT ve BT doğrularını çizdiniz mi?		
5	AT ve BT doğrularını iki eşit parçaya bölmek için A ve T ile B ve T noktalarında aşağıdan ve yukarıdan yaylar çizilmesi:		
	• Pergeli AT doğrusunun yarısından biraz fazla açıp A noktasından yayı çizdiniz mi?		
	• Pergel açıklığını bozmadan T noktasından yay çizerek kesiştirdiniz mi?		
	• Pergeli BT doğrusunun yarısından biraz fazla açıp B noktasında yayı çizdiniz mi?		
	• Pergel açıklığı bozulmadan T noktasından yay çizerek kesiştirdiğiniz mi?		
6	A ve B noktalarını bölen eksen çizgilerini çizip M merkez noktasını belirlediniz mi?		
7	Pergeli M noktasına koyup A kadar açarak ATB yayını çizdiniz mi?		
8	Kemer ayakları olan sütun genişliğini 40 cm (2 cm) çizdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında üçüz kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.9. ÜÇÜZ KEMERLERİ PLANLAMA

Yan yana üç kemerin planlanmasıyla yapılan kemerlere **üçüz kemer** denir. Üçleme kemer olarak da adlandırılır. Bu kemerler daha çok büyük bir tahfif kemeri altına yapılır. Üçüz kemerler; üç yarım daire kemer, üç sivri kemer, üç basık kemer, üç Türk kemeri vb. şeklinde planlanabilir.

Resim 8.22'de Gotik mimari ile oluşturulan üçüz kemerler daha çok dekoratif süsleme formunda, Resim 8.23'te yarım daire ile oluşturulan üçüz kemerler ise yük taşıma amaçlı tasarlanmıştır.

Resim 8.22: Gotik Mimari üçüz kemer örneği

Resim 8.23: Yarım daireli (yuvarlak) üçüz kemer örneği

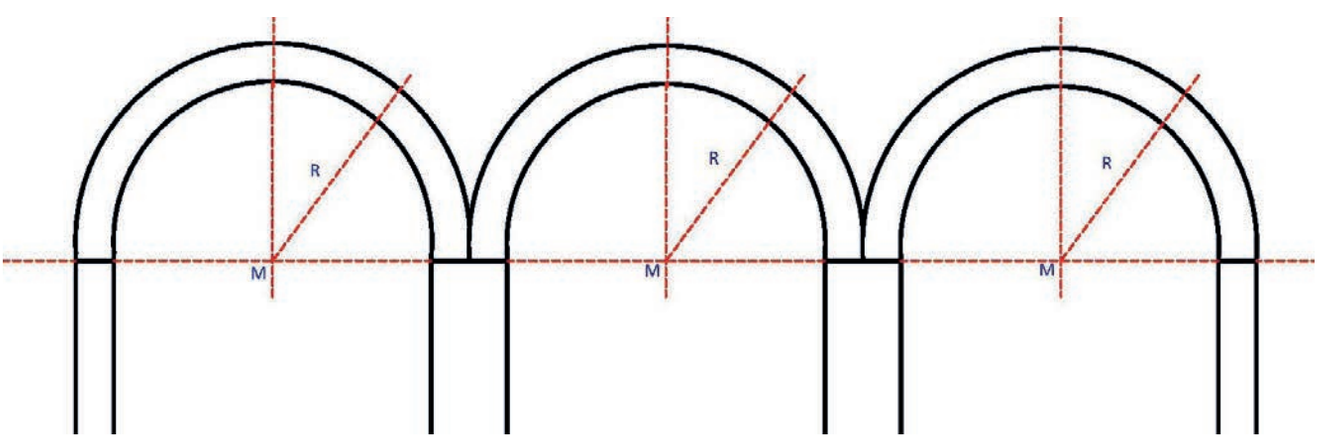
Resim 8.24'te normal sivri kemerle oluşturulan sırt sırta üçüz kemerler, aynı zamanda kesişen kemerdir. Kemerler sırt sırta olacak şekilde yük taşıyan kemer olarak planlanmıştır.

Resim 8.24: Normal sivri kemerli üçüz kemer örneği

8.9.1. Üçüz Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Üçüz kemerler, diğer kemer türlerinde olduğu gibi yapıldığı malzeme bakımından yapık taş, tuğla, ahşap vb. malzemelerle yapılır.

Şekil 8.40'ta üçüz kemer yarım dairelerle oluşturulmuştur. Üçüz kemerde yarım dairelerle oluşturulan kemerler üzengi çizgisinde, birbirleriyle kesişecek şekilde planlanmıştır. Çizim yöntemi, yarım daire kemer işlem sırasına göre yapılır. Diğer kemer çeşitleriyle oluşturulan üçüz kemerler, oluşturulan kemer çeşidine, kullanılan çizim ve yapım tekniklerine göre planlanır.



Şekil 8.40: Yarım daireli kemer şeklinde planlanan üçüz kemer krokisi

8.10 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

ÜÇÜZ KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, üçüz kemer planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Üçüz kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 40 cm olan sütunlar üzerine kemer yüksekliği 180 cm ve kemer açıklıkları 120 cm olan yüksek sivri kemerlerle üçüz kemer planlanacaktır. Üçüz kemer yapık taş ile inşa edilecektir.

İstenenler

Yüksek sivri üçüz kemer krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemer yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin M_1 ve M_2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığı 120 cm (6 cm) alınarak belirlenir.
3. Pergel kemer açıklığından büyük olacak şekilde açılarak M_1 ve M_2 merkezleri belirlenir.
4. Kemer yüksekliği 180 cm (9 cm) alınarak T noktası belirlenir.
5. Pergel M_1 noktasına konur ve AT yayı çizilir.
6. Pergel M_2 noktasına konur ve BT yayı çizilir.
7. Kemer kalınlığı (sütun genişliği) 50 cm (2,5 cm) çizilir.
8. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği olan 180 cm ve kemer kalınlığı 50 cm toplamı 230 cm (11,5 cm) kadar açılır ve her iki kemer ayağına (sütunlara) yaylar çizilir.
9. Kemer ayakları çizilir.
10. Yukarıda belirtilen işlem basamakları üçüz kemerin 2 ve 3. gözleri için tekrar edilerek üçüz kemer oluşturulur.
11. Çizilen üçüz kemer yüzeyine yapık taş taraması yapılır.
12. Üçüz kemer ölçülendirmeleri yapılır.
13. Üçüz kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemer yatay ve dikey eksenlerini çizdiniz mi?		
2	1/20 ölçekli çizilecek kemerin M1 ve M2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığını 120 cm (6 cm) alarak belirlediniz mi?		
3	Pergeli kemer açıklığından büyük olacak şekilde açarak M1 ve M2 merkezlerini belirlediniz mi?		
4	Kemer yüksekliğini 180 cm (9 cm) alarak T noktasını belirlediniz mi?		
5	Pergeli M1 noktasına koyup AT yayını çizdiniz mi?		
6	Pergeli M2 noktasına koyup BT yayını çizdiniz mi?		
7	Kemer kalınlığını (sütun genişliğini) 50 cm (2,5 cm) çizdiniz mi?		
8	Pergeli, kemer yüksekliği olan 180 cm ve kemer kalınlığı 50 cm toplamı 230 cm (11,5 cm) kadar açıp her iki kemer ayağına (sütunlara) yayları çizdiniz mi?		
9	Kemer ayaklarını çizdiniz mi?		
10	Yukarıda belirtilen işlem basamaklarını üçüz kemerin 2 ve 3. gözleri için tekrar ederek üçüz kemeri oluşturdunuz mu?		
11	Çizilen üçüz kemer yüzeyine yapık taş taramasını yaptınız mı?		
12	Üçüz kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
13	Üçüz kemer açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

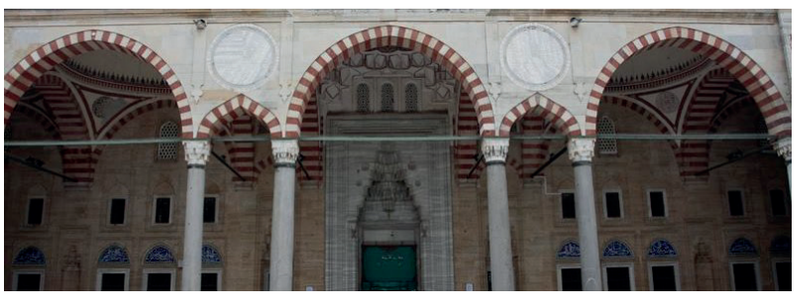
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında Türk kemeri örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.11. TÜRK KEMERİNİ PLANLAMA

Üzengi çizgisini beşe bölerek ortadaki bölümün iki noktasından karşılıklı olarak çizilen, daire yaylarının kesiştirilmesiyle oluşturulan kemere **Türk kemeri** denir. Geleneksel Türk mimarisinde sık kullanılan basık sivri kemer ya da penci (beşlik) kemer olarak da adlandırılır (Resim 8.25, Resim 8.26, Resim 8.27, Resim 8.28). Gotik kemer, Türk kemerine en çok benzetilen kemerlerdendir. Gotik kemer, Türk kemerine nazaran daha uzun ve daha sivri bir forma sahiptir.



Resim 8.25: Mimar Sinan Dönemi Edirne Selimiye Camisi penci ve küçük olan tek merkezli teğet kemerler

Resim 8.26: Anadolu Selçuklu Dönemi Konya Sırçalı Medrese tuğla ile yapılmış çift merkezli teğet kemerler

Resim 8.27: Selçuklu Dönemi Konya Sahibi Ata Külliyesi, çift merkezli teğet kemer

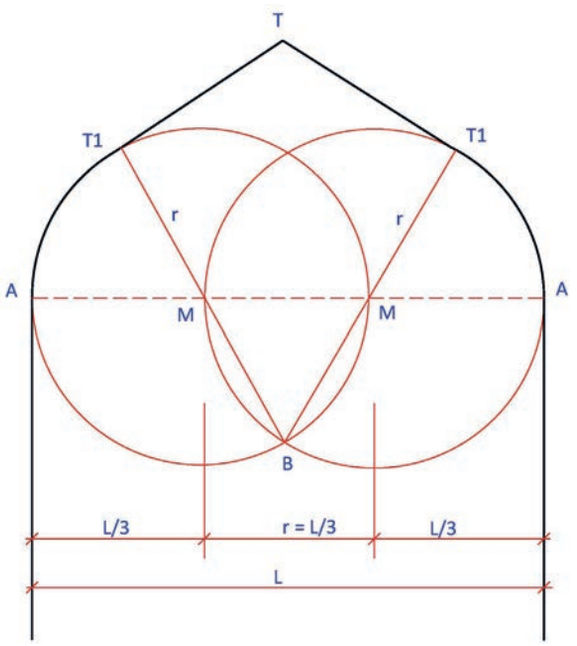
Resim 8.28: İstanbul Topkapı Sarayı iç kısımda basık kemerler

8.11.1. Türk Kemerinin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Geleneksel Türk mimarisinde kemerler genellikle yapık taş, tuğla vb. kâgir malzemelerle yapılır.

Sivri Türk kemeri çizimleri aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılır (Şekil 8.41).

1. A1-A2 kemer açıklığı (üzengi çizgisi) üç eşit parçaya bölünür.
2. Üzengi çizgisi üzerinde M merkez noktaları bulunur.
3. M noktaları merkez olacak şekilde L/3 yarıçaplı daireler çizilir.
4. Bu dairelerin alt tarafta kesiştikleri B noktasından merkezlere doğrular çizilip uzatılarak T1 noktaları bulunur.
5. T1 noktalarından dairelere teğet çizilen doğrular T noktasında kesiştirilerek kemer üst noktası bulunur.
6. Kemer T-T1 kısmı doğru parçasından, T1-A kısmı daire paçasından oluşturulur.



Şekil 8.41: Sivri Türk kemeri (çift merkezli teğet kemer) krokisi

SIRA SİZDE

Gotik kemerin Türk kemerine benzetilme nedenini aşağıdaki boşluğa yazınız.

8.12 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TÜRK KEMERİNİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, Türk kemerini planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Türk kemeri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 50 cm olan sütunlar üzerine yüksekliği 180 cm ve açıklığı 120 cm olan çift merkezli teğet Türk kemeri planlanacaktır.

İstenenler

Çift merkezli teğet Türk kemeri krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda, çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin açıklığı 120 cm (6 cm) çizilir.
2. A1-A2 kemer açıklığı üç eşit parçaya bölünür.
3. Üzengi çizgisi üzerinde M merkez noktaları bulunur.
4. M noktaları merkez olacak şekilde L/3 = 120/3 = 40 cm (2 cm) yarıçaplı daireler çizilir.
5. Çizilen dairelerin alt tarafta kesiştikleri B noktasından merkezlere doğrular çizilip uzatılarak T1 noktaları bulunur.
6. T1 noktalarından dairelere teğet çizilen doğrular, üzengi çizgisinde 180 cm (9 cm) kemer yüksekliği olan T noktasında kesiştirilerek kemer üst noktası bulunur.
7. Kemer T-T1 kısmı doğru parçasından, T1-A kısmı daire paçasından oluşturulur.
8. Kemerin her iki tarafına genişlikleri 50 cm (2,5 cm) olan kemer ayağını oluşturan kemer ayağı sütunları çizilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	1/20 ölçekli çizilecek kemerin açıklığını 120 cm (6 cm) çizdiniz mi?		
2	A1-A2 kemer açıklığını üç eşit parçaya böldünüz mü?		
3	Üzengi çizgisi üzerinde M merkez noktalarını buldunuz mu?		
4	M noktaları merkez olacak şekilde L/3 = 120/3 = 40 cm (2 cm) yarıçaplı daireleri çizdiniz mi?		
5	Çizdiğiniz dairelerin alt tarafta kesiştikleri B noktasından merkezlere doğrular çizip uzatarak T1 noktalarını buldunuz mu?		
6	T1 noktalarından dairelere teğet çizilen doğruları üzengi çizgisinde 180 cm (9 cm) kemer yüksekliği olan T noktasında kesiştirerek kemer üst noktasını buldunuz mu?		
7	Kemerin T-T1 kısmını doğru parçasından, T1-A kısmını daire paçasından oluşturdunuz mu?		
8	Kemerin her iki tarafına genişlikleri 50 cm (2,5 cm) olan kemer ayağını oluşturan sütunları çizdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında sıralama kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

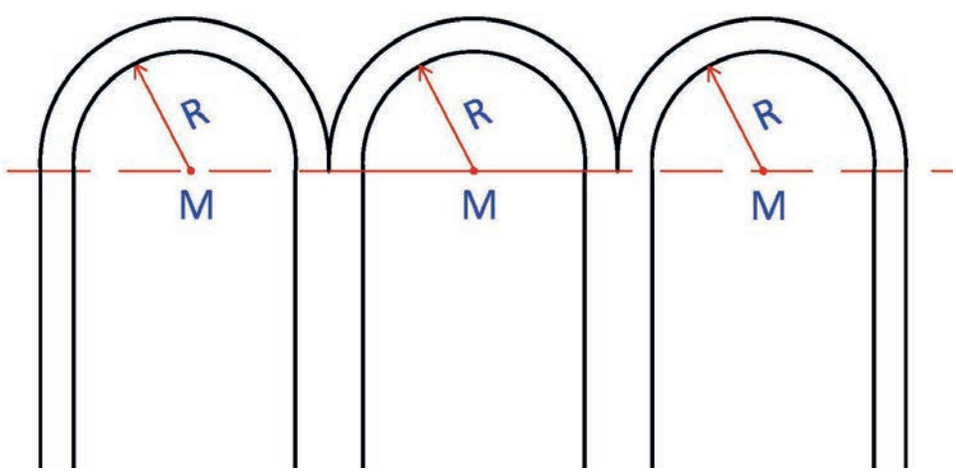
8.13. SIRALAMA KEMERLERİ PLANLAMA

Sütunların üzerine, bir sırada yan yana dizilmiş kemerlere **sıralama kemerleri** denir. Sıralama kemerleri; su kemeri, han, kervansaray vb. mimari yapıların inşasında kullanılmıştır (Resim 8.29).

Resim 8.29: Sıralama yuvarlak kemerlerden oluşan su kemeri (Mimar Sinan, Mağlova Su Kemeri)

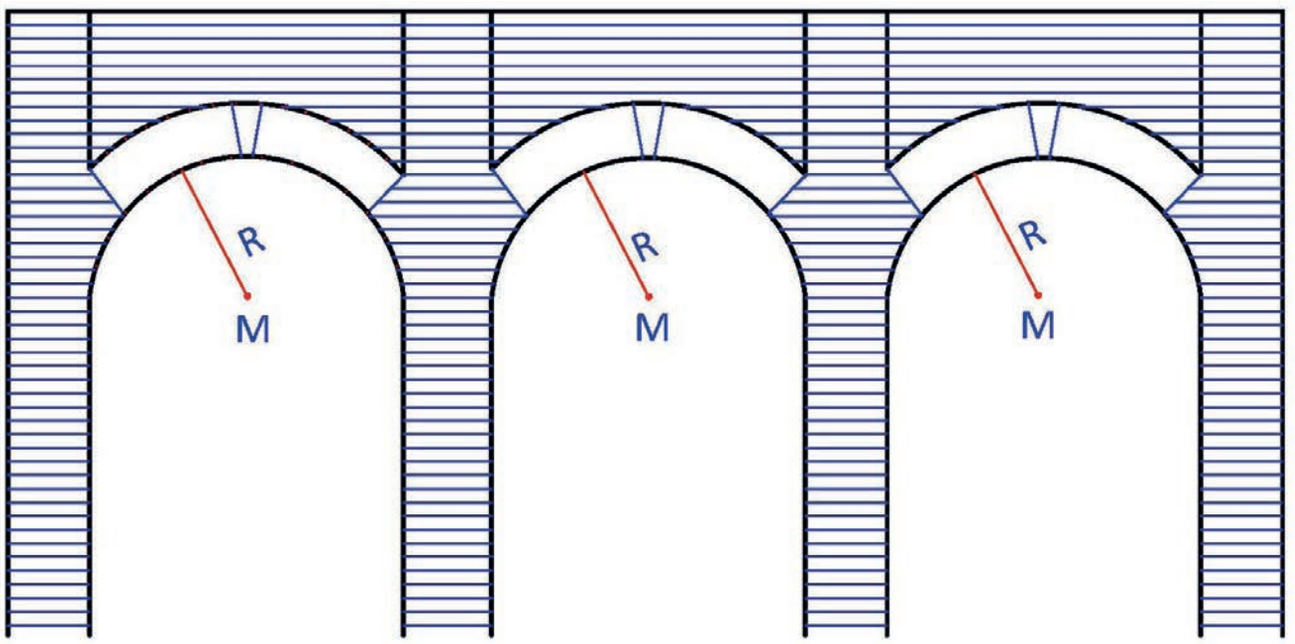
8.13.1. Sıralama Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Sıralama kemerleri yapık taş, tuğla gibi kâgir malzemelerle inşa edilen kemerlerdir. Sıralama kemerleri sütunlar üzerine yuvarlak, basık, sivri, elips, parabol vb. kemer formlarında planlanabilir. Sırlama kemerleri çizimleri kemer türüne göre yapılır (Şekil 8.42).



Şekil 8.42: YYuvarlak biçimli kemerlerden oluşturulan sıralama kemer krokisi

Sıra halinde yapılan kemerlerde, kemerler arasındaki sütun devam edecek ise kemerlerin üzengi yatakları sütun kenarları dışına çıkartılarak eğik olacak şekilde yapılır (Şekil 8.43).



Şekil 8.43: Sıralama kemerlerde ara kolonlar ve üzengi yatakları krokisi

Güzelce (Gözlüce) Kemeri, 16. yüzyılda Mimar Sinan tarafından sıralama kemer şeklinde inşa edilen tarihî bir su kemeridir. Yüksekliği 29,5 ve uzunluğu 155 metre olan kemer 2 katlı tasarlanmıştır. Altta 8, üstte 11 göz vardır. Kemer duvarları en altta 5,4 ve üstte ise 2,6 metre kalınlıkta yapılmıştır. Kemer yapımında kesme taş kullanılmıştır (Resim 8.30).

Resim 8.30: Sıralama sivri kemerlerden oluşan su kemeri örneği (Mimar Sinan, Güzelce Kemeri)

8.14 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

SIRALAMA KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, sıralama kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Sıralı kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 60 cm olan sütunlardan oluşan kemer ayakları üzerine, yüksekliği 140 cm ve açıklıkları 180 cm olan elips formda sıralı kemer planlanacaktır.

İstenenler

5 gözlü sıralı kemer krokisini elips formda 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemer yatay ve düşey eksenleri çizilir.
2. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin, M1 ve M2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığı, 180 cm (9 cm) alınarak belirlenir.
3. Üzengi hattı üzerinde kemer açıklığı dört eşit parçaya bölünür.
4. Birinci nokta M_1 ve üçüncü nokta M3 olarak alınır.
5. Kemer yüksekliği 180 cm (9 cm) alınarak T noktası belirlenir.
6. M_1 üzengi hattının orta noktası ve M_3 merkezleri ile yarıçapı açıklığı 1/4 olan üç yardımcı daire çizilir.
7. Çemberlerin alt kesişme noktaları ile M_1 ve M_3 merkezlerini birleştiren doğruların uzantılarının kemer eksenini kestikleri nokta M_2 olarak alınır.
8. M2 merkezi ile uzantı doğrularının yardımcı daire çemberini kestiği nokta arası yarıçapla çizilen daire çemberi elips kemer şekli belirginleştirilir.
9. Kemer kalınlığı (sütun genişliği) 60 cm (3 cm) çizilir.
10. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği olan 140 cm ve kemer kalınlığı 60 cm toplamı 200 cm (10 cm) kadar açılır ve her iki kemer ayağına (sütunlara) yaylar çizilir.
11. Kemer ayakları genişliği 60 cm (3 cm) alınarak çizilir.
12. Yukarıda belirtilen işlem basamakları, üçüz kemerin diğer 4 kemer gözü için tekrar edilerek 5 gözlü sıralama kemer oluşturulur.
13. Çizilen sıralama kemer yüzeyine yapık taş taraması yapılır.
14. Sıralama kemer ölçülendirmeleri yapılır.
15. Sıralama kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemer yatay ve düşey eksenlerini çizdiniz mi?		
2	1/20 ölçekli çizilecek kemerin M_1 ve M_2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığını 180 cm (9 cm) alarak belirlediniz mi?		
3	Üzengi hattı üzerinde kemer açıklığını dört eşit parçaya böldünüz mü?		
4	Birinci noktayı M_1 ve üçüncü noktayı M_3 olarak aldınız mı?		
5	Kemer yüksekliğini 180 cm (9 cm) alarak T noktasını belirlediniz mi?		
6	M_1 üzengi hattının orta noktası ve M_3 merkezleri ile yarıçapı açıklığı 1/4 olan üç yardımcı daireyi çizdiniz mi?		
7	Çemberlerin alt kesişme noktaları ile M_1 ve M_3 merkezlerini birleştiren doğruların uzantılarının kemer eksenini kestikleri noktayı M_2 olarak aldınız mı?		
8	M_2 merkezi ile uzantı doğrularının yardımcı daire çemberini kestiği nokta arası yarıçapla çizilen daire çemberi elips kemer şeklini belirginleştirdiniz mi?		
9	Kemer kalınlığını (sütun genişliğini) 60 cm (3 cm) çizdiniz mi?		
10	Pergel açıklığını, kemer yüksekliği olan 140 cm ve kemer kalınlığı 60 cm toplamı 200 cm (10 cm) kadar açıp ve her iki kemer ayağına (sütunlara) yayları çizdiniz mi?		
11	Kemer ayakları genişliğini 60 cm (3 cm) alarak çizdiniz mi?		
12	Yukarıda belirtilen işlem basamaklarını üçüz kemerin diğer 4 kemer gözü için tekrar ederek 5 gözlü sıralama kemeri oluşturdunuz mu?		
13	Çizdiğiniz sıralama kemer yüzeyine yapık taş taramasını yaptınız mı?		
14	Sıralama kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
15	Sıralama kemer açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında bindirmeli kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.15. BİNDİRMELİ KEMERLERİ PLANLAMA

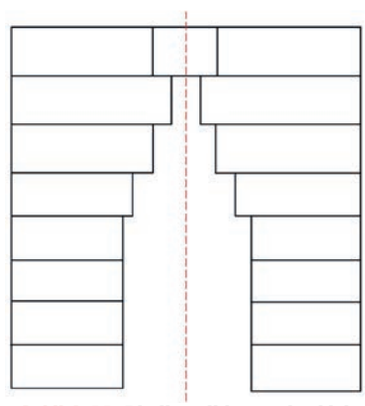
Taşların bindirmeli şekilde yerleştirilmesiyle inşa edilen kemerlerdir. Yatay konumlandırılmış taşların üst üste bindirilip basamak ileri doğru çıkartılması ve ortada bir açıklık ile elde edilen kemer benzeri üçgen formunda görünüme sahip mimari yapı ögesidir (Resim 8.31, Resim 8.32).

Resim 8.31: Sivri formda bindirmeli kemer

Resim 8.32: Üçgen formda bindirmeli kemer

8.15.1. Bindirmeli Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

İlk kemer örnekleri duvarlarda boşluk oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Boşluklar; lento, bindirmeli kemer ve ilerleyen dönemlerde yarım daire, elips, sivri vb. formlarda oluşturulan kemerlerle sağlanmıştır. Bindirmeli kemerler genellikle taş veya tuğla bloklarının yatay olarak boşluk oluşturulacak kısma 1/3 oranında taşırılmasıyla yapılır (Şekil 8.44).



Şekil 8.44: Bindirmeli kemer krokisi

8.16 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BİNDİRMELİ KEMERLERDE PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, bindirmeli kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Bindirmeli kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Bindirmeli ve sivri kemerlerle planlanan ve inşa edilen cephe (Resim 8.33).

Resim 8.33: Bindirmeli ve sivri kemerlerle planlanan ve inşa edilen cephe

İstenenler

Resim 8.33'te bindirmeli ve sivri kemerlerden oluşan cephe fotoğrafı üzerinden rölövesini alarak krokisini eskiz kâğıdına çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda cephe duvarları/sütunlarının ve kemerlerin rölövesini doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Eskiz kâğıdı fotoğraf üzerine yapıştırılır/Bilgisayarda çizim yaparken fotoğraf çizim programına yapıştırılır.
2. Cephe dış kenarları, ana giriş, ana girişin sağ ve sol cephesinde yer alan girişlerin bulunduğu düz yüzeyler çizilir.
3. Cephede yer alan duvar ve sütunların yükseklikleri belirlenir.
4. Cephede yer alan ana giriş ve diğer girişlerin kemer tepe noktaları işaretlenir.
5. Ana giriş ve dış kenarlarda bulunan girişlerdeki sivri kemerler çizilir.
6. Ana girişin sağında ve solunda yer alan bindirmeli kemerler çizilir.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Eskiz kâğıdını fotoğraf üzerine yapıştırdınız mı?/Bilgisayarda çizim yaparken fotoğrafı çizim programına yapıştırdınız mı?		
2	Cephe dış kenarlarını, ana girişi, ana girişin sağ ve sol cephesinde yer alan girişlerin bulunduğu düz yüzeyleri çizdiniz mi?		
3	Cephede yer alan duvar ve sütunların yüksekliklerini belirlediniz mi?		
4	Cephede yer alan ana giriş ve diğer girişlerin kemer tepe noktalarını işaretlediniz mi?		
5	Ana giriş ve dış kenarlarda bulunan girişlerdeki sivri kemerleri çizdiniz mi?		
6	Ana girişin sağında ve solunda yer alan bindirmeli kemerleri çizdiniz mi?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	**Bilgi**	**Beceri**	**Temizlik/Düzen**	**Süre Kullanımı**	**Toplam**
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında boyunduruk kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

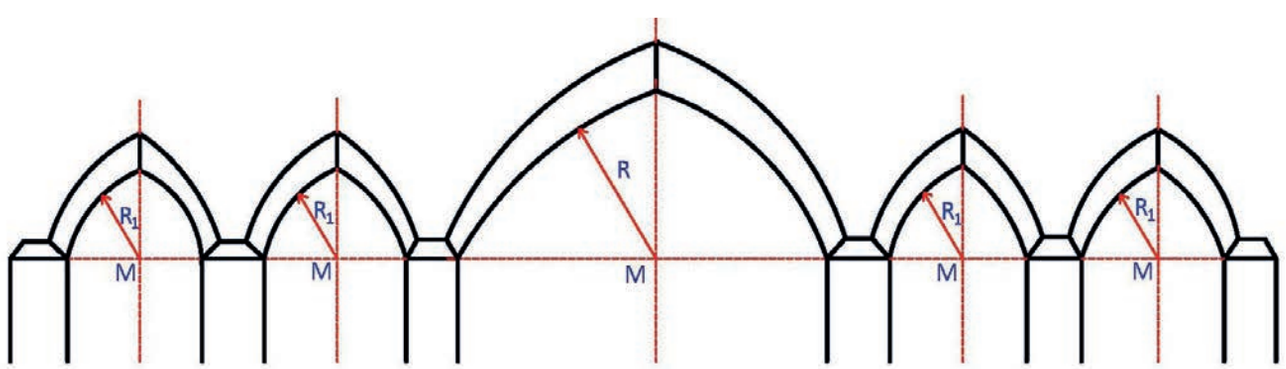
8.17. BOYUNDURUK KEMERLERİ PLANLAMA

İki ayağı ya da sütunu birbirine bağlamak için inşa edilen kemerlere **boyunduruk kemer** denir. Boyunduruk kemerler; yarım daire, sivri, basık, elips vb. formlarda planlanır. Yarım daire (yuvarlak) formda tasarlanan ve inşa edilen boyunduruk kemerli köprü Resim 8.34'te verilmiştir.

Resim 8.34: Yarım daire kemer formda boyunduruk kemerli köprü

8.17.1. Boyunduruk Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Genellikle tuğla ve yapık taşlarla inşa edilen boyunduruk kemerlerin yapımında ahşap malzeme de kullanılmaktadır. Boyunduruk kemerler, farklı boyutlarda ya da aynı boyutlardaki kemerlerin bağlantısını sağlamak için planlanabilir (Şekil 8.45).



Şekil 8.45: Sivri kemerlerle oluşturulan boyunduruk kemer krokisi

Doğal taşların şekillendirilmesiyle elde edilen, yapık taşlarla oluşturulan ve yarım daire kemer formda kesişen boyunduruk kemer örneği Resim 8.35'te verilmiştir.

Resim 8.34: Yarım daire kemer formda boyunduruk kemerli köprü

SIRA SİZDE

Boyunduruk kemerlerin yapılış amacını aşağıdaki boşluğa yazınız.

8.18 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BOYUNDURUK KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, boyunduruk kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Boyunduruk kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Yarım daire kemer formda oluşturulan boyunduruk kemerler (Resim 8.36).

Resim 8.36: Yarım daire formda boyunduruk kemerler

İstenenler

Resim 8.36'da verilen yarım daire formda boyunduruk kemer rölövesini fotoğraf üzerinden çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda boyunduruk kemer ayaklarının/sütunlarının ve kemerlerin rölöve ölçülerini doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Eskiz kâğıdı verilen fotoğraf üzerine yapıştırılır/Bilgisayarda çizim yaparken fotoğraf çizim programına yapıştırılır.
2. Boyunduruk kemerli köprü alt, orta ve üst kat kemer ayaklarının/sütunların yükseklikleri belirlenir.
3. Boyunduruk kemerli köprü alt, orta ve üst kat cephesinde yer alan düz yüzeyler olan kemer ayakları/sütunları çizilir.
4. Boyunduruk kemerli köprünün alt, orta ve üst kat kemer tepe noktaları ve merkezleri işaretlenir.

5. Boyunduruk kemerli köprünün alt kat yarım daire formda boyunduruk kemerleri çizilir.
6. Boyunduruk kemerli köprünün orta kat yarım daire formda boyunduruk kemerleri çizilir.
7. Boyunduruk kemerli köprünün üst kat yarım daire formda boyunduruk kemerleri çizilir.
8. Boyunduruk kemer ölçülendirmeleri yapılır.
9. Boyunduruk kemerleri köprü taramaları yapılır.
10. Boyunduruk kemerli köprü açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Eskiz kâğıdını fotoğraf üzerine yapıştırdınız mı?/Bilgisayarda çizim yaparken fotoğrafı çizim programına yapıştırdınız mı?		
2	Boyunduruk kemerli köprü alt, orta ve üst kat kemer ayaklarının/sütunların yüksekliklerini belirlediniz mi?		
3	Boyunduruk kemerli köprü alt, orta ve üst kat cephesinde yer alan düz yüzeyler olan kemer ayaklarını/sütunları çizdiniz mi?		
4	Boyunduruk kemerli köprü alt, orta ve üst kat kemer tepe noktalarını ve merkezlerini işaretlediniz mi?		
5	Boyunduruk kemerli köprü alt kat yarım daire formda boyunduruk kemerleri çizdiniz mi?		
6	Boyunduruk kemerli köprü orta kat yarım daire formda boyunduruk kemerleri çizdiniz mi?		
7	Boyunduruk kemerli köprü üst kat yarım daire formda boyunduruk kemerleri çizdiniz mi?		
8	Boyunduruk kemerli köprü ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
9	Boyunduruk kemerli köprü taramalarını yaptınız mı?		
10	Boyunduruk kemerli köprü açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında bağlama kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.19. BAĞLAMA KEMERLERİ PLANLAMA

Bağlama kemerleri, tonoz eksenine paralel kiriş aralığının yan kemeri olarak yan yana sıralanan kemerlerdir. İkincil kaburgaların tepesini, kemerlerin kilit taşını bağlayan Gotik tonoz kaburgasında da kullanılmaktadır. Haçvari bir tonozun kilit taşı ile pekitme kemerlerin tepeleri arasını bağlayan kemerler de bağlama kemerleridir (Resim 8.37).

Resim 8.37: Tonoz kaburgası bağlama kemer örneği

8.19.1. Bağlama Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Bağlama kemerleri de diğer kemer türlerinde olduğu gibi tuğla ve yapık taş malzeme ile inşa edilmektedir. Yapım tekniği tasarım formuna göre değişmektedir. Yarım daire, basık, sivri, elips, sepet kulpu kemer vb. formalarda planlanmaktadır. Mimari yapı girişinde oluşturulan üçüz kemerleri bağlayan bağlama kemeri örneği Resim 8.38'de verilmiştir.

Resim 8.38: Üçüz kemer (sepet kulpu) bağlama kemeri

Bağlama kemerlerinin planlanması kemer formuna göre yapılmaktadır. Kemer formu çeşidine göre kemer çizimleri yapılır.

SIRA SİZDE

Bağlama kemerlerin yapılış amaçlarını aşağıdaki boşluğa yazınız.

8.20 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

BAĞLAMA KEMERLERİ PLANLAMA

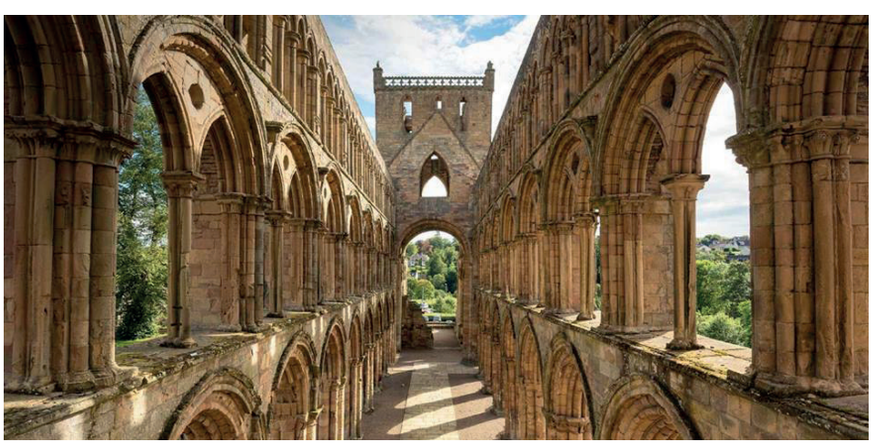
Bu çalışmanın amacı, bağlama kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Bağlama kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Yarım daire formda oluşan sıra kemerler ve yarım daireden oluşan bağlama kemer (Resim 8.39).



Resim 8.39: Karşılıklı sırlama kemerleri bağlayan bağlama kemeri

İstenenler

Resim 8.39'da verilen yarım daire formda oluşan sıra kemerleri ve yarım daireden oluşan bağlama kemer rölövesini fotoğraf üzerinden çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda sıralama ve bağlama kemer ayaklarının/sütunlarının ve kemerlerin rölöve ölçülerini doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Eskiz kâğıdı verilen fotoğraf üzerine yapıştırılır/Bilgisayarda çizim yaparken fotoğraf çizim programına yapıştırılır.
2. Sıralama ve bağlama kemer köprü alt, orta ve üst kat kemer ayaklarının/sütunların yükseklikleri belirlenir.
3. Sıralama ve bağlama kemer alt, orta ve üst kat cephesinde yer alan düz yüzeyler olan kemer ayakları/sütunları çizilir.
4. Sıralama ve bağlama alt, orta ve üst kat kemer tepe noktaları ve merkezleri işaretlenir.

5. Sıralama ve bağlama kemer alt kat yarım daire formda kemerleri çizilir.
6. Sıralama ve bağlama kemer orta kat yarım daire formda kemerleri çizilir.
7. Sıralama ve bağlama kemer üst kat yarım daire formda kemerleri çizilir.
8. Sıralama ve bağlama kemer ölçülendirmeleri yapılır.
9. Sıralama ve bağlama kemer köprü taramaları yapılır.
10. Sıralama ve bağlama kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Eskiz kâğıdını fotoğraf üzerine yapıştırdınız mı?/Bilgisayarda çizim için fotoğrafı çizim programına yapıştırdınız mı?		
2	Sıralama ve bağlama kemer alt, orta ve üst kat kemer ayaklarının/sütunların yüksekliklerini belirlediniz mi?		
3	Sıralama ve bağlama kemer köprü alt, orta ve üst kat cephesinde yer alan düz yüzeyler olan kemer ayaklarını/sütunları çizdiniz mi?		
4	Sıralama ve bağlama kemer köprü alt, orta ve üst kat kemer tepe noktalarını ve merkezlerini işaretlediniz mi?		
5	Sıralama ve bağlama kemer köprü alt kat yarım daire formda kemerleri çizdiniz mi?		
6	Sıralama ve bağlama kemer köprü orta kat yarım daire formda kemerleri çizdiniz mi?		
7	Sıralama ve bağlama kemer köprü üst kat yarım daire formda kemerleri çizdiniz mi?		
8	Sıralama ve bağlama kemer köprü üst kat yarım daire formda kemerleri çizdiniz mi?		
9	Sıralama ve bağlama kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
10	Sıralama ve bağlama kemer taramalarını yaptınız mı?		
11	Sıralama ve bağlama kemer açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında dört merkezli kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.21. DÖRT MERKEZLİ KEMERLERİ PLANLAMA

Dört merkezli (kaş) kemerler; mimari yapılarda (han, kervansaray, medrese, cami, saray vb.) sütunlar üzerine, giriş kapıları üzerine, cephelerde taşıyıcı ve çeşmelerde süsleme ögesi vb. olarak planlanmıştır (Resim 8.40, Resim 8.41, Resim 8.42, Resim 8.43, Resim 8.44).

Resim 8.40: Dört merkezli (kaş) kemer örneği

Resim 8.41: Mimari yapı cephesinde kapı üzerinde dört merkezli (kaş) kemer örneği

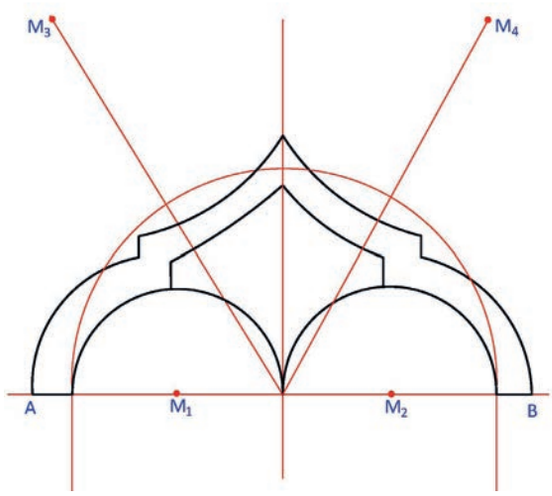
Resim 8.42: Mimari yapı cephesinde dört merkezli (kaş) sıralama kemer örneği

Resim 8.43: Mimari yapı cephesinde kapı üzerinde dişli dört merkezli (kaş) kemer örneği

Resim 8.44: Mimari yapı cephesinde pencere üzerinde dört merkezli (kaş) kemer örneği

8.21.1. Dört Merkezli Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/ Taslak Çizimleri

İki merkezi kemerin içinde, diğer iki merkezi kemerin dışında olan ve dört ayrı daire yayından oluşturulan kemerdir. Kaş kemer olarak da adlandırılır. Kemerin sağ ve sol kollarında, biri iç bükey diğeri dış bükey olmak üzere ikişer yay bulunur (Şekil 8.46).



Şekil 8.46: Dört merkezli (kaş) kemer

SIRA SİZDE

İstanbul Büyükçekmece, Kanuni Sultan Süleyman Çeşmesi ile ilgili fotoğraf araştırması yapınız ve edindiğiniz fotoğraf üzerinden çeşmenin rölövesini alarak çeşmede kullanılan kaş kemer ön görünüşünü eskiz kâğıdına aktarınız.

8.22 UYGULAMA

2(2) DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

DÖRT MERKEZLİ KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, dört merkezli kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Dört merkezli kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde **uygulama ödevi** şeklinde yerine getiriniz.

Verilenler

Osmanlı mimarisinde dönemsel olarak inşa edilen ve sanat yapılarında planlanan dört merkezli (kaş) kemerler.

İstenenler

Osmanlı mimarisinde inşa edilen dört merkezli (kaş) kemer formu kullanılan sanat yapılarını dönemsel olarak araştırınız ve mimari yapının plan şekillerini, mimarını, yapıldıkları malzemeleri, yapım tekniklerini ve fotoğraflarını içeren sunum hazırlayınız.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kaş kemerlerin şekil ve fotoğraflarının anlaşılır ve net olmasına dikkat ediniz.
- Çalışmanızı Erken, Klasik ve Geç Dönem olmak üzere üç başlık altında yapmaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Erken Dönem Osmanlı mimarisinde planlanan ve kaş kemer inşası yapılan cami, medrese, imaret vb. mimari sanat yapılarının adı, mimarı, yapımda kullanılan malzemeler, plan şekilleri, yapım teknikleri ve fotoğrafları araştırılır.
2. Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde planlanan ve kaş kemer inşası yapılan cami, medrese, imaret vb. mimari sanat yapılarının adı, mimarı, yapımda kullanılan malzemeler, plan şekilleri, yapım teknikleri ve fotoğrafları araştırılır.
3. Geç Dönem Osmanlı mimarisinde planlanan ve kaş kemer inşası yapılan cami, medrese, imaret vb. mimari sanat yapılarının adı, mimarı, yapımda kullanılan malzemeler, plan şekilleri, yapım teknikleri ve fotoğrafları araştırılır.
4. Elde edilen bilgiler fotoğraflarla desteklenerek, inşa tarihlerine ve dönemsel önceliğine göre sıralanarak sunum programı ile sunum hazırlanır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Erken Dönem Osmanlı mimarisinde planlanan ve kaş kemer kullanılan cami, medrese, imaret, saray, çeşme vb. mimari sanat yapılarının adını, mimarını, yapımda kullanılan malzemeleri, plan şekillerini, yapım tekniklerini ve fotoğraflarını araştırdınız mı?		
2	Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde planlanan ve kaş kemer kullanılan cami, medrese, imaret, saray, çeşme vb. mimari sanat yapılarının adını, mimarını, yapımda kullanılan malzemeleri, plan şekillerini, yapım tekniklerini ve fotoğraflarını araştırdınız mı?		
3	Geç Dönem Osmanlı mimarisinde planlanan ve kaş kemer inşası yapılan cami, medrese, imaret, saray, çeşme vb. mimari sanat yapılarının adını, mimarını, yapımda kullanılan malzemeleri, plan şekillerini, yapım tekniklerini ve fotoğraflarını araştırdınız mı?		
4	Elde edilen bilgileri fotoğraflarla destekleyerek, mimari sanat yapısını inşa tarihlerine ve dönemsel önceliğine göre sıralayarak sunum programı ile sunumu hazırladınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında tonoz kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.23. TONOZ KEMERLERİ PLANLAMA

Tonoz, bir kemerin içinde bulunduğu düzleme dik bir aks boyunca hareket ederek meydana getirdiği genellikle taş ve tuğladan yapılan örtü sistemidir.

Tünel, menfez, galeri vb. geçitlerin üzerinin kapatılması için inşa edilen yapı elemanları olan tonoz kemerler, betonarme malzeme kullanılmaya başlanmadan önce kâgir yapı döşemelerinin yapımında kullanılmıştır. Tonoz kemer kesitleri; basık, sivri, sepet kulpu, tam ve basık kemer formalarında planlamaktadır.

Yıldız, beşik, eğik, kubbeli, yelpazeli, sivri, eğri, basık, manastır, tekne, geçme, çapraz, halka, aynalı, kaburgalı, ağ tonoz gibi çeşitleri vardır (Resim 8.45, Resim 8.46, Resim 8.47, Resim 8.48, Resim 8.49).

Resim 8.45: Yelpazeli tonoz

Resim 8.46: Yıldız tonoz

Resim 8.47: Sivri kemerlerle oluşturulan ağ tonoz

Resim 8.48: Manastır tonozu

Resim 8.49: Kaburgalı tonoz

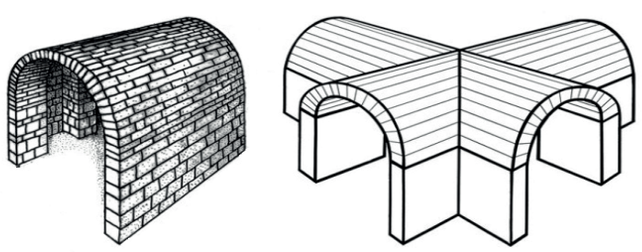
8.23.1. Tonoz Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Tonoz yapıları kemer genişliğinin arttırılmış ve devam edilmiş şekilleridir. Tonozların inşasında işlenmiş doğal taşlar, tuğla ve özel olarak hazırlanmış bloklar kullanılmaktadır. Betonarme malzemenin kullanılmaya başlanması ile birlikte tonozlar betonarme kabuk sistemlerde tasarlanmaya başlanmıştır. Sistemin avantajları tonoz kalınlığının ince yapılabilmesi ve daha dayanıklı olmasıdır. Dezavantajları ise kalıp işçiliğinin zorluğu ve maliyeti arttırmasıdır.

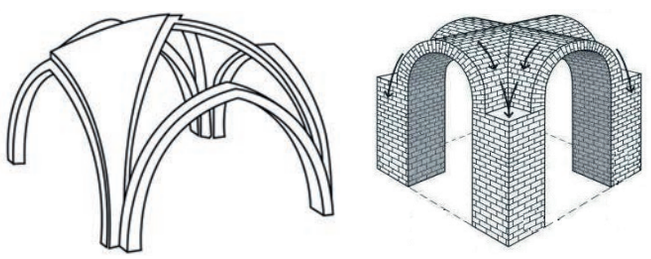
Tonozların üstlerine **tepe** ve yanlarına **karın** adı verilir. Tonoz köşegenleri tonozun üstünden geçirilerek birleştirildiğinde ön ve arka tarafta kalan parçalarına **tepecik**, yan kısımlarına **karıncık** adı verilir. Tonozlar üzerine yapıldıkları bölümlerin plan durumlarına göre konik, kavisli, köşeli, saplanan ve kesişen tonozlar şeklinde yapılır.

Tonozlarda ön ve arka yükseklikler farklı tasarlanabilir. Bu farklılık tonoz duvarlarında veya tonoz gövdesinde oluşturulur. Uzun menfezler üzerine inşa edilecek tonozlarda 15-20 metre aralıklarla bir temel, duvar ve gövdesinde dilatasyon derzi yapılır. Ayrıca duvarın desteklenmesi için gereken yerlerde iç ve dış kısımlarda ayak ve destek kemerleri yapılabilir.

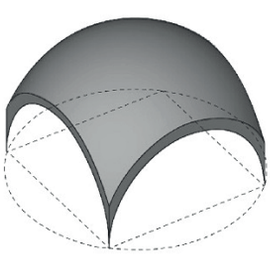
Kemerlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan genellikle tavan örtüsü (döşemesi) mimari yapı elemanı tonozlar tuğla ve harç kullanılarak inşa edilir. Tonozlar alttan obruk, yarım silindir biçiminde görünür. Tonoz kemer şekillerine ait örnek perspektif krokileri Şekil 8.47, Şekil 8.48, Şekil 8.49 ve Şekil 8.50'de verilmiştir.



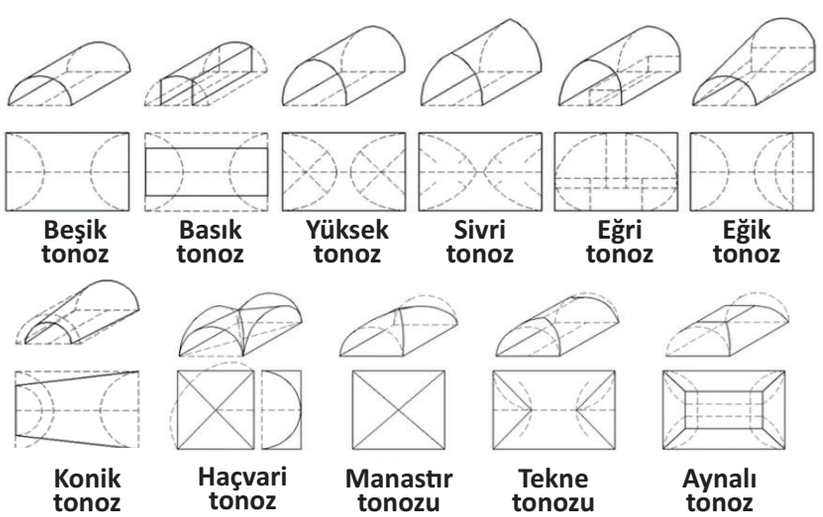
Şekil 8.47(a, b): Yarım daire kemerle oluşturulan beşik ve kesişen tonoz perspektif krokileri



Şekil 8.48(a, b): Yarım daire kemerli çapraz tonoz ve sivri kemerli kaburgalı tonoz perspektif krokileri



Şekil 8.49: Elips kemerli yelken tonoz perspektif krokisi



Şekil 8.50: Tonoz plan ve perspektif taslak krokilerine örnekler

Tonozlar, farklı çeşitlerde tasarlanarak inşa edilmektedir. Tonozların tasarım ve yapım tekniğine göre çeşitleri aşağıda açıklanmıştır.

Sivri Tonoz: Tonozu oluşturan kesitin eğrisinin sivri kemerlerle oluşturulduğu tonozlardır.

Basık Tonoz: Yüksekliği açıklığının yarısından az olan tonozlardır. Tonozu oluşturan kesit eğrisi basık kemerle oluşturulmuştur.

Beşik Tonoz: Özellikle anıtsal yapıların revak, avlu, koridor, galeri gibi mekânları ile çarşı, han vb. uzun dikdörtgen planlı yapıların üst örtülerinde sıkça kullanılmıştır. Form olarak yarım silindir biçimindedir ve kesit eğrisini oluşturan kemerleri yarım daire formundadır.

Geçme Tonoz: İki beşik tonozun çapraz ve birbirine dik olacak şekilde keserek geçmesinden meydana gelen tonozdur.

Altı Bölümlü Tonoz: Altı bölümden meydana gelen 2 küçük ve 4 büyük ayağa oturan bir çeşit Gotik mimari üslubu tonozudur.

Çapraz Tonoz: İki beşik tonozun dik açıyla kesişmesinden oluşan çapraz tonoz, haç tonoz olarak da bilinmektedir. Çapraz tonoz, Korelanj ve Romanesk mimari üslubuyla inşa edilmiş sanat yapılarının üst örtüsü (döşemesi) olarak sıkça kullanılmıştır. Çapraz tonoz, Gotik mimari üslupla birlikte yapılan eklemelerle daha karmaşık ve zarif bir yapıya sahip olan kaburgalı tonozlara dönüşmüştür.

Yıldız Tonoz: Mimari sanat yapılarında kemer ve tonozların yıldız benzeri görünüm oluşturacak şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulan eğrisel örtülerdir. Yıldız tonozlar daha çok Geç Gotik Dönem mimari üslubu kiliselerde kullanılmıştır.

Manastır Tonozu: Kare planlı mimari sanat yapılarının örtülmesinde kullanılan ara kesitleri karenin köşegenlerinden geçen, 4 kemerden oluşan ve 4 tonoz parçasından meydana gelen tonozdur.

Aynalı Tonoz: Manastır tonozunun üst bölümünün yatay bir düzlemle kesilmesiyle elde edilen örtüdür. Ortasında meydana gelen düz dörtgen yüzeyden dolayı aynalı olarak adlandırılmıştır.

Ağ Tonozu: Omurgaların bir ağ biçimi oluşturacak şekilde tonoz yüzeyini kaplamasıdır. Ağ tonoz, daha çok Gotik mimari eserlerinde kullanılmıştır.

Eğik Tonoz: Tonoz başlangıç ve bitiş noktalarındaki kemerlerin yüksekliği birbirinden farklı olan tonozdur. Uzun kenarı boyunca bir kesit alındığında rampa gibi eğik bir görünüme sahip olduğundan rampa tonoz olarak da adlandırılır.

Tekne Tonoz: Dikdörtgen planlı bir mekânın kısa kenarlarından başlayarak yükselen iki manastır tonozunun, uzun kenarlar arasındaki tonozla birleşerek meydana getirdiği örtüdür. Ters çevrilmiş bir tekne görünümündedir.

Kaburgalı Tonoz: Ara kesitleri kordon şeklinde taştan çubuklarla donatılmış tonozdur. Daha karmaşık düzenli olan kaburgalı tonozlarda, tonoz yüzeyi taş ya da tuğladan örülen kaburgalarla sağlamlaştırılır. Erken Gotik mimari üslubun en önemli ögelerinden olan kaburgalı tonoz, çapraz tonoza göre daha fazla orantısal değişim sağlayan formdadır.

Yelpaze Tonoz: Kaburgalı tonozun kaburgalarının aynı yay üzerinde bulunduğu ve birbirinden eşit bir mesafede bulunarak yelpaze görüntüsü oluşturan formda yapılan tonozlardır.

Kubbeli Tonoz: Yarım küre biçiminde olan tonozdur. Osmanlı, Bizans ve Roma mimarisinde sık tercih edilen kubbeli tonoz kemerlerin bir araya gelmesiyle oluşturulur.

Yelken Tonoz: Kare plan şeklinde yapıların üstünü örten kubbenin dört yanının birer kemer düzlemiyle kesilmesinden kalan örtü sistemidir. Yelken tonoz, asma kubbe olarak da adlandırılır.

Fırın Tonozu: Bir kürenin dörtte biri şeklinde, yarım kubbe formunda olan tonozdur.

Halka Tonoz: Dairesel planı iç içe iki daire şeklinde olan tonozdur.

Helezonik Tonoz: Yukarı doğru sarmal dolanarak yükselen ve genellikle minare, kule merdivenlerinin altına yapılan tonozlardır.

Takke Tonozu: Küresel kubbe biçimindeki tonozların üst tarafında takkeye benzer şekilde olan tonozdur.

Tarak Tonozu: Dörtte bir kubbe biçiminde istiridye kabuğuna benzeyen tonozdur.

Beşik ve diğer tonozlarda destek kaburga sistemi görülebilen tonoz formudur. Daha karmaşık düzenli kaburga tonoz türünde, tonoz yüzeyi taş ya da tuğladan örülen kaburgalarla sağlamlaştırılır. Erken Gotik mimari üslubun en önemli simgelerinden olan kaburgalı tonoz, çapraz tonoza göre daha fazla orantısal değişim sağlayan bir formdur (Resim 8.50).

Omurgaların bir ağ biçimi oluşturacak şekilde tonoz yüzeyini kaplamasıyla oluşturulan ağ tonozu daha çok Gotik mimari üslubunda kullanılmıştır (Resim 8.51).

Resim 8.50: Kaburgalı tonoz örneği (İngiltere, Salisbury Katedrali, 13. yüzyıl)

Resim 8.51: Ağ tonoz örneği

İki beşik tonozun dik açıyla kesişmesinden oluşan çapraz tonoz, haç tonoz olarak da bilinmektedir. Çapraz tonoz, Korelanj ve Romanesk mimari üslubuyla inşa edilmiş mimari sanat yapılarının üst örtüsünde sıkça kullanılmıştır. Çapraz tonoz, Gotik mimari üslupla birlikte daha karmaşık ve zarif bir yapıya sahip olan kaburgalı tonoz formuna dönüştürülmüştür.

11. yüzyılın ortalarında, çapraz tonozları olanaklı kılan daha sağlam taş bina inşası Karolenj ve Romanesk mimari üsluplarının temsilcisi haline gelmiştir (Resim 8.52).

Resim 8.52: Çapraz tonoz örneği

Yapıların görünüşlerine estetiklik kazandırmak, yapılış amacını gösterebilmek ve çatı boşluklarını yapı iç bölümüne katılabilmek için **kubbe** adı verilen yapı elemanları inşa edilir. Genellikle cami, hamam, imaret, han vb. yapılarda tuğla, yapık taş ve özel üretim bloklarla inşa edilmekle birlikte betonarme kabuk sisteminde yapılması son dönemlerde tercih edilmektedir. Kavisli bir döşeme sistemi olan kubbelerin çalışma şekli kemer ve tonozlara benzer şekildedir. Farklı geometrik şekillerde inşa edilen kubbeler, tepecik veya karıncıkların bir araya getirilmesiyle yapılır. Kubbeler geometrik şekillerine göre; yuvarlak (çokgen ve daire kesitli yuvarlak, Bizans üslubu, şemsiye form), silindir (tonoz, tekneli, aynalı, manastır) ve haçvari (haçvari, kaburgalı haçvari-Gotik, yıldız-dilimli haçvari) şekilli olmak üzere üç kısma ayrılır.

Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde yarım kubbe kullanımı oldukça yaygındır. Orta kubbe, kemerler üzerine oturtulmuş ve kalan kısımlar yarım ya da çeyrek kubbeler ile desteklenmiştir. Cami ve türbelerde kesme taş; medrese, han vb. ticaret yapılarında ise taş ve tuğla sıklıkla tercih edilmiştir. Süslemelerde taş, tuğla, iki renkli taşlar, mermerler kullanılmıştır.

Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde tercih edilen yarım kubbe kullanımı, Geç Dönem Osmanlı mimarisinde de sıklıkla kullanılmıştır (Resim 8.53).

Resim 8.53: Geç Dönem Osmanlı mimarisi kubbe örneği (Mimar Sinan, Süleymaniye Camisi)

SIRA SİZDE

Klasik Dönem Osmanlı mimarisi cami, imaret vb. mimari sanat yapılarında kubbeli tonoz formla inşa edilen bir örnek belirleyerek kubbeli tonozun yapım yılını, mimarını ve yapım tekniklerini yazınız.

8.24 UYGULAMA

3 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

TONOZ KEMERLERİ PLANLAMA

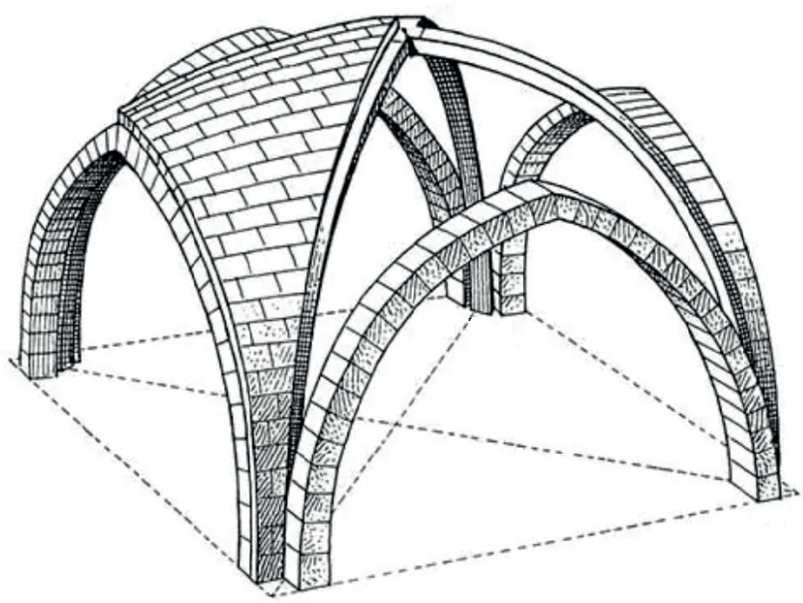
Bu çalışmanın amacı, tonoz kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Tonoz kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmenizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

1/50 ölçekli kaburgalı sivri tonoz perspektifi (Şekil 8.51).



Şekil 8.51: Kaburgalı sivri tonoz perspektifi, Ölçek: 1/50

İstenenler

Şekil 8.51'deki 1/50 ölçekli kaburgalı sivri tonoz kemer perspektif çizimi üzerinden ölçülerini alınız ve çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kaburgalı tonoz sivri kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Sivri kemerlerden oluşturulan kaburgalı tonozun kemer ölçüleri olan kemer açıklığı, kemer yüksekliği, kemer kalınlığı şekil üzerinden belirlenir.
2. Kaburgalı tonozun kesik çizgilerle ifade edilen sınırları ve köşegenleri çizilir.
3. Belirlenen ölçüler doğrultusunda sivri kemer çizim yöntemine göre sivri kemerler oluşturulur.
4. Sivri kemerlerin üzerini kapatan kaburga tonoz döşeme yüzeyi oluşturulur.
5. Kaburgalı tonoz sivri kemer ve kaburgalı tonoz döşeme yüzeyi tuğla kaplama taramaları yapılır.
6. Kaburgalı tonozun ölçülendirmeleri yapılır.
7. Kaburgalı tonoz açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Sivri kemerlerden oluşturulan tonozun kemer ölçüleri olan kemer açıklığını, kemer yüksekliğini, kemer kalınlığını şekil üzerinden belirlediniz mi?		
2	Kaburgalı tonozun kesik çizgilerle ifade edilen sınırlarını ve köşegenleri çizdiniz mi?		
3	Belirlenen ölçüler doğrultusunda sivri kemer çizim yöntemine göre sivri kemerleri oluşturdunuz mu?		
4	Sivri kemerlerin üzerini kapatan kaburga tonoz döşeme yüzeyini oluşturdunuz mu?		
5	Kaburgalı tonoz sivri kemer ve kaburgalı tonoz döşeme yüzeyine tuğla kaplama taramalarını yaptınız mı?		
6	Kaburgalı tonozun ölçülendirmesini yaptınız mı?		
7	Kaburgalı tonoz açıklayıcı bilgilerini yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Mimari sanat yapılarında dişli kemer örneklerini inceleyiniz, araştırınız ve bunları arkadaşlarınızla paylaşınız.

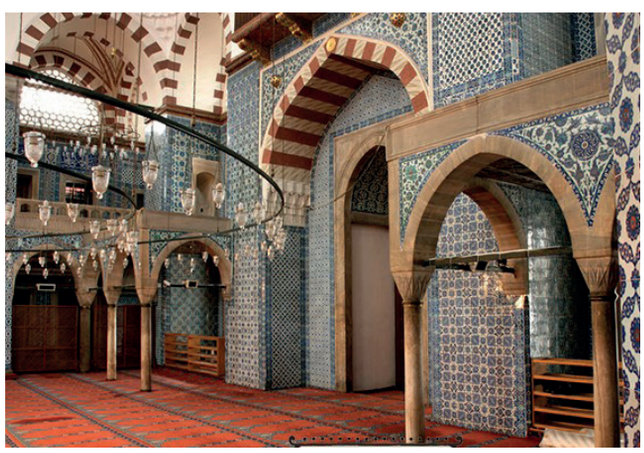
8.25. DİŞLİ KEMERLERİ PLANLAMA

Diş diş yaylar ile oluşturulan kemerlerdir. Geleneksel Türk mimarisinde çeşitli formlarda ve açıklıklarda kemerler yapılmıştır. Mimar Sinan'ın eserlerinden Rüstem Paşa Camisi'ndeki kemerler, taşıyıcı yapısal özelliklerinin yanı sıra süsleyici unsur olarak da kullanmıştır. Özellikle iç mekânda, kapı ve mahfil korkuluklarındaki farklı kemer uygulamaları süsleyici etkiyi arttırmıştır. Marmara mermeri ve serpantin breşi ile atlamalı olarak dişli ve yuvalı geçmelerle oluşturulan basık kemer uygulaması ve iç bölümde kademeli olarak yer alan kaş kemer uygulamasıyla kapı, renkli ve hareketli bir görünüm kazanmıştır. Ayrıca mahfillerin mermer korkuluk levhalarında planlanan Bursa kemerlerinin de işlevleri süsleyici olarak ele alınmıştır (Resim 8.54).

Taş malzemenin gerektirdiği şekilde oluşturulan süsleme teknikleri; kabartma tekniği, kazıma tekniği, kafes oyma tekniği, geçme tekniği, yontma tekniği olarak dönemin süsleme tercihlerini en iyi şekilde yansıtmaktadır. Rüstem Paşa Camisi'nde görülen taş unsurlar incelendiği zaman, özellikle yapısal kullanımda yer alan küfeki taşı, süsleyici kullanımda yer alan devşirme renkli taşlar ve Marmara mermeri, taş süslemelerin yapı üzerindeki dağılımı, süsleme motifleri ve geleneksel süsleme teknikleriyle 16. yüzyılın karakteristik özelliklerini taşır.

Sıkı yapılı bir kayaç olan serpantin breşi, güzel görünüşü ve iyi cila tutma özelliğiyle mimaride kullanılan çok değerli bir yapı malzemesi olmuştur. Rüstem Paşa Camisi'nin iç mekânındaki mahfil sütunlarında ve dönemin diğer camilerinde görülmeyen bir kullanım yeri olarak minberinin kapısı önündeki seki, serpantin breşi ile yapılmıştır. Mahfilde kullanılan serpantin breşi sütun örneği İstanbul, Yavuz Selim Camisi'nde de görülmektedir. Kapı kemeri ve kapı yan söveleri, serpantin breşinin Marmara mermeriyle atlamalı ve geçme tekniğiyle birleştirilmesi şeklinde kullanılmıştır. Rüstem Paşa Camisi'nde görülen mimarlıkla ilgili süsleme unsurları olarak değerlendirebileceğimiz mukarnas ve baklavalı eğik düşey düzlem geçişleri ve kemerler yapı elemanı olmalarının yanında süsleme özelliği gösteren unsurlardır (Resim 8.55).

Resim 8.54: İstanbul, Rüstem Paşa Camisi avlu revakı dişli kemerleri



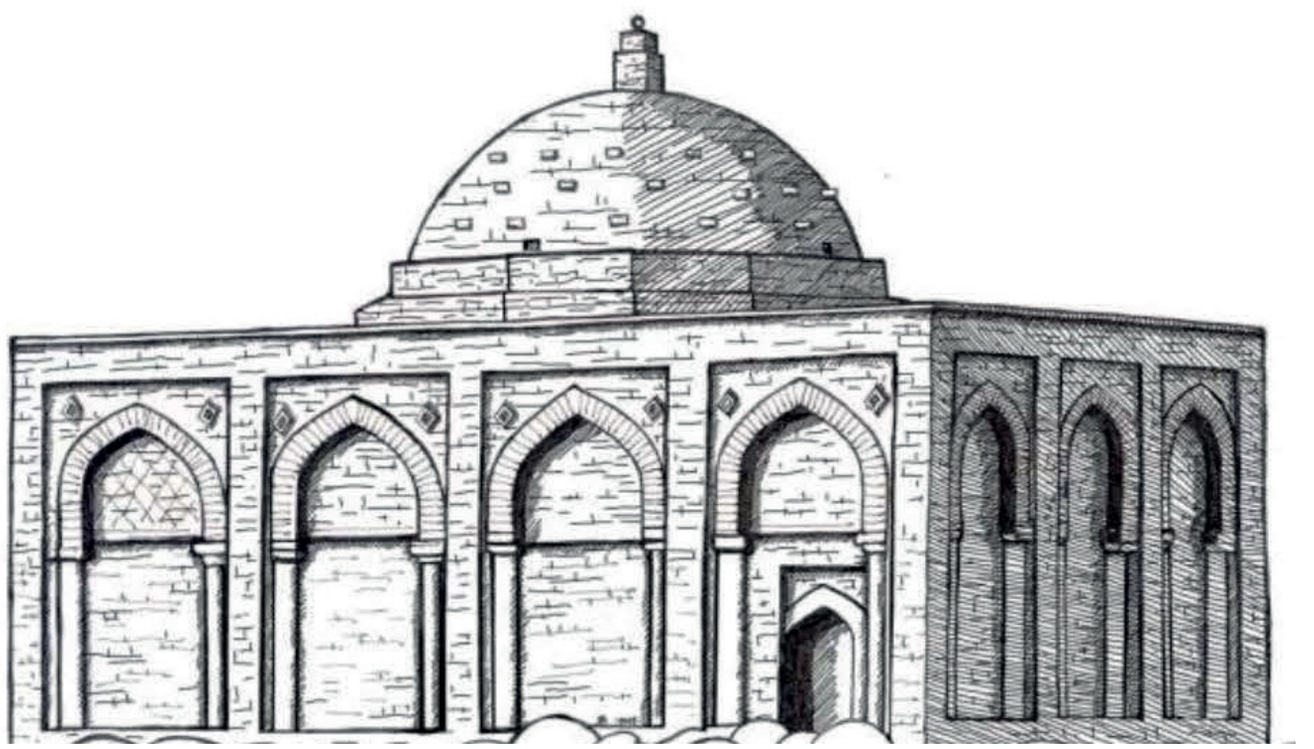
Resim 8.55: İstanbul, Rüstem Paşa Camisi iç kısım yarım daire, basık sivri ve kaş kemerleri

8.25.1. Dişli Kemerlerin Malzemelerine Göre Yapım Teknikleri ve Kroki/Taslak Çizimleri

Dişli kemerlerin kullanıldığı mimari sanat eserlerinden Talhatan Baba Camisi, duvarlarının dış yüzeylerinde değişik boyutta tuğlalar kullanılmak suretiyle tuğla örgülerle dekoratif bir görünüme kavuşturulmuştur. Duvar yüzeylerine kemer nişleri yapılmış, kemerlere sütunlara oturur gibi bir görünüm kazandırılmış ayrıca kemer nişlerinin içleri farklı tuğla örgü nizamlarıyla süslü hale getirilmiştir. Tamamen tuğladan yapılmış olan 8x10 m ölçülerindeki Talhatan Baba Camisi, enine dikdörtgen planlıdır. Mihrap önü büyük bir kubbeyle vurgulanan caminin diğer kısımları tonoz örtülü olup tromp geçişli merkezi kubbe, yanlardan birer geniş pâyeye oturtulmuştur. Bu suretle eser, merkezi bir kubbe ve iki yanda küçük çapraz tonozlarla genişletilmiş bir mekândan oluşur.

Caminin cephesi nişlerle oluşturulan değişik tuğla dekorasyonuna sahiptir. Cami, duvarların dış yüzeylerinde değişik boyutlarda tuğlalar kullanılmak suretiyle tuğla örgülerle dekoratif bir görünüme kavuşturulmuştur. Talhatan Baba Camisi tuğla desenleriyle dikkat çeker. Tuğla malzemenin kullanıldığı yapıda standart formlu tuğlalar, dikey-yatay belli düzenlemeler kullanılarak yüzey deseni elde edilmiştir. Ayrıca bu camide dikdörtgen formlu tuğlalar arasında hafif oygulu olarak işlenmiş çeşitli motiflerin olduğu tuğlalar da kullanılmıştır.

Ortada geniş, yanlarda daha dar, düz kemerle dışa açılan camide tuğladan sivri kemerli mihrap nişinde cephede görülen tuğla süslemeler tekrarlanmıştır. Mihrap, sivri kemerli ve derin olmayan bir nişten meydana gelmiştir. Kemer tacında altı kollu yıldız formunda alan bölümleri ve bunların içinde sekiz yapraklı çiçek motifleri vardır (Şekil 8.52).



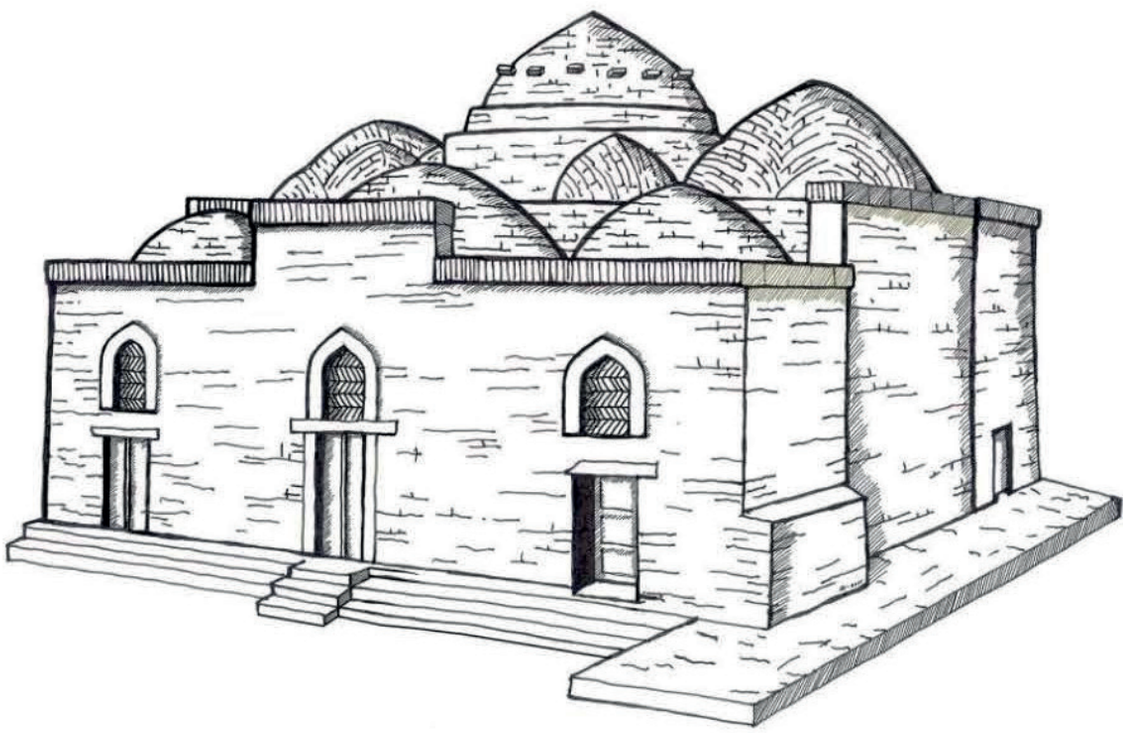
Şekil 8.52: Talhatan Baba Camisi restitüsyon çalışması perspektif görünümü

Küçük Degaron Camisi kare planlı mescidin dıştan dışa ölçüleri yaklaşık 16x16 m ve içten içe 14x14 m'dir. Caminin kubbesi 6,50 m çapındadır. Alçak payeler üzerine basan 130 cm çaplı dört sivri kemer, yapının ortasındaki bu merkezî kubbeyi taşımaktadır. Köşelerde 3,60 m çaplı birer kubbe yer almaktadır. Aradaki boşluklar ise tonozlarla örtülmüştür. Muhtemelen oval formdaki tonoz örtüleri kubbe olarak değerlendirildiğinden bu mescit dokuz kubbeli olarak nitelendirilmektedir.

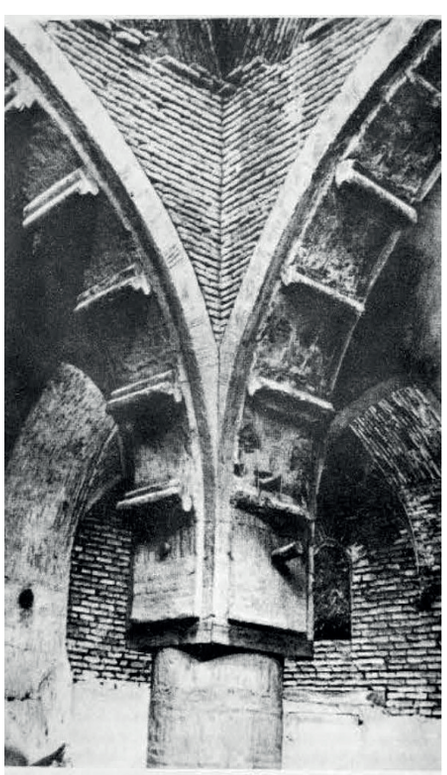
Binada kerpiç ve tuğla karışık olarak kullanılırken cami iç mekân payeleri ise sadece tuğladan yapılmıştır. Buna ek olarak yapıda sadelik ve zerafet egemendir. Kerpiç duvarların üstü tuğla ile kaplanmıştır. Küçük tuğlalarla örülen kaplamalar bazı yerlerde dökülmüştür. Camide süsleme yapılmamıştır. Mihrap, güney duvara açılan bir nişle meydana getirilmiştir. Mihrapta süsleme bulunmamaktadır. Caminin dış duvarlarının bir payanda şeklinde, yukarı doğru incelerek yükselmesi ilginç bir kurgu teşkil eder. Ana kubbenin bir miğfer gibi kavisle sivrilmesi daha etkili bir görünüm vermektedir.

Degaron Camisi'nin en farklı özelliklerinden birisi de ana kubbeyi taşıyan kemerlerdeki çıkmalı diş sıralarıdır. Kemer kasnağında belli aralıklarla tekrar eden ve enine uzanan üç dilimli dişler bulunmaktadır. Ayrıca cepheden bakıldığında bu kemerler dişli ve girintili görülmektedir.

Kemer ayaklarındaki tuğla süslemeler ise kendine hastır. Bu nedenle kare planlı, kubbeli plan şemasıyla Degaron Camisi, Osmanlı Dönemi 16. yüzyılın dört yarım kubbeli, merkezi planlı cami anlayışının öncüsü olduğu söylenebilir (Şekil 8.53, Resim 8.56).



Şekil 8.53: Buhara Hazar Degaron Camisi restitüsyon çalışması perspektif görünümü



Resim 8.56: Buhara Hazar Degaron Camisi restitüsyon çalışması dişli kemer görünümü

8.26 UYGULAMA

2 DERS SAATİ

Bu uygulama öğretmen ile yapılacaktır.

DİŞLİ KEMERLERİ PLANLAMA

Bu çalışmanın amacı, dişli kemerleri planlama uygulamaları yapmaktır.

GÖREV

Dişli kemerleri planlama uygulamalarını, aşağıdaki işlem basamaklarını ve verilenleri dikkate alarak öğretmeninizin gözetiminde yerine getiriniz.

Verilenler

Genişlikleri 40 cm olan sütunlar üzerine, kemer yüksekliği 150 cm ve kemer açıklığı 120 cm olan yüksek sivri dişli kemer planlanacaktır. Kemer, tuğla malzeme ile inşa edilecektir.

İstenenler

Normal sivri dişli kemer krokisini 1/20 ölçekli olarak çizim araç gereçleri ya da bilgisayarda çizim programı yardımıyla çiziniz.

YÖNERGE

- Çalışmanızda kemer yarıçapını doğru almaya dikkat ediniz.
- Çalışmanızı çizim araç gereçleriyle yaparken yayların çiziminde pergel açıklığını bozmamaya dikkat ediniz.
- Çalışmanız uygulama sonunda verilen ölçütlere göre değerlendirilecektir. Çalışmanızı planlarken bu ölçütleri dikkate alınız.

İŞLEM BASAMAKLARI

1. Kemer yatay ve dikey eksenleri çizilir.
2. 1/20 ölçekli çizilecek kemerin M_1 ve M_2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığı 120 cm (6 cm) alınarak belirlenir.
3. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği 150 cm (7,5 cm) kadar açılarak T noktası belirlenir.
4. Pergel M_1 noktasına konur ve M_2 noktasına kadar açılarak bir yay çizilir.
5. Pergel M_2 noktasına konur ve M_1 noktasına kadar açılarak bir yay daha çizilir.
6. Kemer kalınlığı (sütun genişliği) 40 cm (2 cm) çizilir.
7. Pergel açıklığı, kemer yüksekliği 150 cm ve kemer kalınlığı 40 cm toplamı 190 cm (9,5 cm) kadar açılır ve her iki kemer ayağına (sütunlara) yaylar çizilir.
8. Kemer ayakları çizilir.
9. Çizilen kemer yüzeyine tuğla taraması yapılır.
10. Kemer ölçülendirmeleri yapılır.
11. Kemer açıklayıcı bilgileri yazılır.

UYGULAMA KONTROLÜ

Bu uygulama kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için "Evet", kazanamadığınız beceriler için "Hayır" kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

	ÖĞRENCİ UYGULAMA KONTROL LİSTESİ	Evet	Hayır
1	Kemer yatay ve dikey eksenleri çizdiniz mi?		
2	1/20 ölçekli çizilecek kemerin M_1 ve M_2 merkezleri olan A ve B üzengi noktaları arası kemer açıklığını 120 cm (6 cm) alarak belirlediniz mi?		
3	Pergel açıklığını, kemer yüksekliği 150 cm (7,5 cm) kadar açılarak T noktasını belirlediniz mi?		
4	Pergeli M_1 noktasına koyup M_2 noktasına kadar açarak bir yay çizdiniz mi?		
5	Pergeli M_2 noktasına koyup ve M1 noktasına kadar açarak bir yay daha çizdiniz mi?		
6	Kemer kalınlığını (sütun genişliğini) 40 cm (2 cm) çizdiniz mi?		
7	Pergel açıklığını kemer yüksekliği 150 cm, kemer kalınlığı 40 cm ve toplamı 190 cm (9,5 cm) kadar açıp her iki kemer ayağına (sütunlara) yayları çizdiniz mi?		
8	Kemer ayaklarını çizdiniz mi?		
9	Çizilen kemer yüzeyine tuğla taramasını yaptınız mı?		
10	Kemer ölçülendirmelerini yaptınız mı?		
11	Kemer açıklayıcı bilgileri yazdınız mı?		

Aşağıda yer alan değerlendirme puanları, bilgi ve becerilerinizin ölçme değerlendirme işlemlerinde kullanılacağından ön bilgi olması amacıyla verilmiştir. Ana başlıklar hâlinde verilen bilgi, beceri, temizlik/düzen ve süre kullanım ölçütleri; ders öğretmeninin hazırlayacağı teorik ve uygulamalı beceri testleri doğrultusunda öğrenme birimi kazanım puanınızın belirlenmesi için kullanılacaktır.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme Alanları	Bilgi	Beceri	Temizlik/Düzen	Süre Kullanımı	Toplam
Alanlara Verilen Puan	30	60	5	5	100
Takdir Edilen Puan					
Öğrencinin Adı Soyadı :		Numarası :		Onay (İmza)	
Öğretmenin Adı Soyadı :		Tarih : ..... /..... / 20.....			

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

8. ÖĞRENME BİRİMİ

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıda verilen çoktan seçmeli test maddelerinden oluşan soruları cevaplayınız.

1. Klasik üsluplardan daha farklı dekoratif tasarım anlayışı, daha ince duvarlar ve kolonlar, metrelerce yükseklikte gözleri yukarı çekmeyi amaçlayan süslemeli camlar, sivri kemerler, tonozlar bu mimari akımın ana ögeleridir.

Yukarıda verilen bilgiler hangi mimari üslubun temel özellikleridir?

A) Baro

B) Bauhaus

C) Gotik

D) Rönesans

E) Tudor

2. 7. yüzyıldan itibaren İran, Kuzey Afrika, İspanya gibi farklı coğrafyalarda büyük değişimler ile kendini göstermiştir. 3 boyutlu tasvirlerin yasak olması inancı bu yapılarda düz yüzeyler üzerindeki dekorasyonları ön plana çıkarmıştır.

Yukarıda verilen bilgiler hangi mimari üslubun temel özellikleridir?

A) İslam

B) Neoklasik

C) Romanesk

D) Rokoko

E) Viktoryen

3. **Aşağıdakilerden hangisi klasik dönem Osmanlı mimarisinde en çok kullanılan Türk kemeri türlerinden biri değildir?**

A) Basık

B) Çift merkezli teğet

C) Penci

D) Tahfif

E) Üç merkezli sepet kulpu

4. Üst kata ait tüm kemerler ile alt kat yan cephe kemerleri ikiz kemer formundadır. İkiz kemerler ortada devşirme mermer sütuna, yanlarda payeler kenarında oluşturulan bir sıra tuğla dişe oturmaktadır. Alt kattaki sütunların yükseklikleri 2,55 m, başlıkları ise 0,45 m yüksekliğindedir. Yan cepheler ile üst cephede sivri kemer içinde, çift kemer (ikiz kemer) uygulaması yapılmıştır. Her sivri kemer ve çift kemer arasında ahşap gergiler bulunur. Alt kattaki sivri kemer yüksekliği 5,10 m, ahşap gergi yüksekliği 3,15 m'dir.

Yukarıda verilen bilgiler Osmanlı mimarisinde hangi camiye aittir?

A) Bursa Alaeddin

B) Bursa Orhan Gazi

C) Bursa Hüdâvendigar

D) İznik Yeşil

E) İznik Nilüfer hatun

5. Altı düz ve gerçek merkezi olmayan, A ve B noktalarından üzengi çizgisi ile 60^0 açı oluşturacak şekilde çizilen, yardımcı doğruların kestiği M noktası teorik merkez olarak alınan kemerlerdir.

Yukarıda verilen bilgiler hangi kemer türüne aittir?

A) Atkı **B)** Basık **C)** Bursa **D)** Sivri **E)** Yuvarlak

6. Doğrultusu kemer merkezinden geçen ve ilk kemer taşının oturduğu yüzeydir.

Yukarıda verilen tanım kemeri oluşturan hangi elemana aittir?

A) Kemer alnı

B) Kemer gözü

C) Kemer sırtı

D) Takye

E) Üzengi yatağı

7. Kemerin ortasındaki en yüksek noktadır.

Yukarıda verilen tanım kemeri oluşturan hangi elemana aittir?

A) Kemer yüksekliği

B) Takye

C) Üzengi çizgisi

D) Üzengi noktası

E) Üzengi yatağı

8. Osmanlı mimarisinde sık rastlanan, ahşap yapılarda iki dikmenin üstüne binen yatay kirişi takviye eden iki paraçol zamanla taş mimaride bir biçim olarak kullanılmıştır.

Bu tür kemerlere Türk mimarisinde hangi ad verilmiştir?

A) Basık

B) Bursa

C) Normal sivri

D) Sepet kulpu

E) Yüksek sivri

9. Yüksekliği açıklığının yarısından az olan kemerlerdir. Kemer çiziminde kullanılan merkez sayısına göre üç ve beş merkezli olmak üzere iki şekilde planlanır.

Yukarıda verilen bilgiler hangi kemer türüne aittir?

A) Gotik

B) Normal sivri

C) Sepet kulpu

D) Parabol

E) Yüksek sivri

10. Fleş yüksekliği kemer açıklığından az olan kemerde T ve A noktalarını birleştiren doğrunun ortasından çıkılan dik doğrunun üzengi çizgisini kestiği M_1 ve eksene göre simetrik M_2 noktaları merkez alınır.

Yukarıda verilen bilgiler hangi kemer türüne aittir?

A) Basık sivri

B) Elips

C) Normal sivri

D) Parabol

E) Yüksek sivri

11. Kemer eğrisinin iç yüzü ya da alt yüzüdür.

Yukarıda verilen tanım kemeri oluşturan hangi elemana aittir?

A) Kemer alnı

B) Kemer altı

C) Kemer ayağı

D) Kemer genişliği

E) Kemer karnı

12. İslam mimarisinde kutsallığın simgesi olan kemer türü aşağıdakilerden hangisidir?

A) Atnalı **B)** Boyunduruk **C)** Sıralama **D)** Türk **E)** Üçüz

13. İkincil kaburgaların tepesini ve kemerlerin kilit taşını bağlayan, Gotik tonoz kaburgasında da kullanılan kemer türü aşağıdakilerden hangisidir?

A) Bağlama

B) Boyunduruk

C) Kaş

D) Parabol

E) Sıralama

14. Tonozların yan kısımlarına verilen ad aşağıdakilerden hangisidir?

A) Kaburga

B) Karın

C) Karıncık

D) Tepe

E) Tepecik

15. Ara kesitleri kordon şeklinde taştan çubuklarla donatılmış tonozdur.

Yukarıda verilen tanım hangi tonoz türüne aittir?

A) Eğik

B) Kaburgalı

C) Kubbeli

D) Manastır

E) Yelken

16. I. Sivri kemer

II. Üç yapraklı yonca kemer

III. Kaburgalı tonoz

IV. Uçan payanda

V. Ağ tonoz

Yukarıda verilenlerden hangileri Gotik mimarinin yapısal üç temel özelliğidir?

A) I, II ve III

B) I, III ve V

C) II, III ve V

D) I, II ve V

E) I, III ve IV

17. **Aşağıdakilerden hangisi geometrik şekillere göre kubbe çeşitlerinden biri değildir?**

A) Aynalı

B) Daire kesitli yuvarlak

C) Haçvari

D) Parabol

E) Silindir

18. İki beşik tonozun çapraz ve birbirini dik olacak şekilde keserek geçmesinden meydana gelen tonozdur.

Yukarıda verilen tanım hangi tonoz türüne aittir?

A) Ağ **B)** Eğik **C)** Geçme **D)** Kaburgalı **E)** Yelpaze

19. **Klasik dönem Osmanlı mimarisinde cami ve türbelerde aşağıdaki malzemelerden hangisi kullanılmıştır?**

A) Taş

B) İki renkli taş

C) Kesme taş

D) Mermer

E) Tuğla

20. **Aşağıda verilen sanat yapılarından hangisi Mimar Sinan'a ait değildir?**

A) Edirne Selimiye Camisi

B) Güzelce Su Kemeri

C) Süleymaniye Camisi

D) İznik Nilüfer Hatun İmareti

E) Mağlova Su Kemeri

Ölçme ve Değerlendirme sorularını cevaplamayı tamamladıysanız kitabın sonunda verilen cevap anahtarından cevaplarınızı kontrol edebilirsiniz. Yanlış cevapladığınız soruları öğretmeninize sorunuz.

TERİMLER SÖZLÜĞÜ

B

bowstring : kuşak kemer köprü sistemi

balast : demiryolu platformunun üzerine serilen ve taşıdığı travers cinsi ile gelen yüke göre belli bir tabaka kalınlığı olan kırılmış, keskin köşeli ve kenarlı taşlar.

D

debuşe : sel suları ile daima akarsular geçirmek üzere köprü altındaki boşluğun tamamı

F

fil gözü pencere : fil gözlerini andıran aydınlatma amaçlı yapılan yuvarlak pencereler

G

gömlekleme : yapı taşıyıcı elemanının çevresini saracak şekilde güçlendirme

H

haddeleme : metalin işlenerek ısıl işlemlerle belirli bir şekle bürünmesi işlemi

K

korniyer : çelik köşebent

M

mahmuz : suyun açıklara yönelmesi ve çarparak köprü ayaklarına zarar vermemesi için, memba tarafına yapılan üçgen, yarım daire veya çokgen planlı masif taş bölüm.

minimalist : sade ve düz

P

paraçol : **1.** genellikle açı oluşturan yapı elemanlarını birbirine bağlayan ve onlara ek sağlamlık sağlayan eleman, gemi çatmasında eğri konulan parça.

2. cumba ve benzeri şeylerin altına eğri biçimde konulan ağaç destek.

prekast : fabrikalarda betonarme panel, kiriş vb. elemanların cam elyaf takviyeli beton veya fiber katkılı beton olarak önceden üretilmesi

R

ray : tren, metro, tramvay vb. taşıtların tekerleklerinin üzerinde hareket ettiği, birbirine eklenmiş çeliklerden oluşan, birbirine koşut biçimdeki çelik yol.

revzenli pencere : alçı kayıtlar arasına renkli veya renksiz cam parçaları yerleştirilerek desen oluşturulmuş pencere

ripaj : yol güvenliğini sağlamak için yol ekseninin enine kesit içinde kaydırılması

S

segment : bölüm, kısım, parça

sehim : basit eğilme etkisi altındaki bir yapı elemanının eğilme göstermeden önceki çubuk ekseni durumu ile elastik eğri durumu arasındaki deformasyon miktarıdır. Anılan kuvvet altında yapı elemanın yaptığı deplasman sehim olarak anılır.

strüktür : bir yapının taşıyıcı kısımları

sürşarj yükü : taşıyıcı bir yapı elemanının ilave yükle yüklenmesi

Ş

şose : kırık taş veya çakıltaşı döküldükten sonra üzerinden silindir ile geçilerek sıkıştırılarak ve düzleştirilerek yapılan bir tür yol

T

travers : demiryolu ulaşımında raylara dik yönde belirli aralıklarla döşenen, üzerine gelen yükleri daha geniş alana yayarak balastlar aracılığıyla alt kısma ileten ve raylarla birlikte platformu oluşturan parçalar

V

verev : güzergâhı kesen bir yapının yol eksenine dik olmayan bir açı ile yolu kesmesi

CEVAP ANAHTARI

1. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D	B	E	E	C	A	C	A	B	E	A	B	A	E	E	B	E	C	E	B

2. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B	C	A	B	D	A	C	D	E	C	D	A	C	B	C	C	B	D	E	A

3. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	C	D	E	B	D	D	C	E	A										

4. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E	A	A	C	C	E	E	D	E	E										

5. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B	C	E	B	D	B	B	D	A	C	E	A	C	E	B	D	E	A	D	E
21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**
E	B	C	E	C	C	A	C	E	D	A	B	C	B	A	B	D	B	E	E

6. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	C	E	D	E	C	A	C	D	E	B	D	B	A	E	E	A	B	D	D

7. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	B	E	D	C	C	E	E	D	E										

8. ÖĞRENME BİRİMİ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C	A	D	C	A	E	B	B	C	A	E	A	A	C	B	E	D	C	C	D

KAYNAKÇA

1. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Sanat Yapıları Dairesi Başkanlığı, Kutu Menfez Tipleri, 2012, Ankara.
2. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Tasarım El Kitabı, 2016, Ankara.
3. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013, Ankara.
4. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi, 2019, Ankara.
5. T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü, 2012, Ankara.
6. TABANLIOĞLU Rıza, Otoyollarda Drenaj Teknikleri ve Hidrolik Çözümler, 2008 Kırıkkale.
7. PATIR Mehmet, Büyük Açıklıklı Tek ve Çift Gözlü Betonarme Menfez Tasarımı, 2018, Trabzon.
8. AYAANLE Maxamed, Ali IJISRT, Manual RC Box Culvert Analysis and Designing, 2018
9. TOPUKSAK Şeymanur, Menfezlerin Projelendirilmesinde Taşkın Debisi Saptama Yöntemlerinin İrdelenmesi, 2021, Karabük.
10. GÖRMEZ Fatih, Orman Yollarında Sanat Yapılarının Planlama ve Yapım Esaslarının İrdelenmesi, 2012, İstanbul.
11. BRAHİMOĞLU, F. Fırat Asma köprülerde projelendirme ve uygulama tekniklerinin Lillebaelt ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsü örnekleri ile incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2002, İstanbul.
12. ALABOZ Murat Mimar Sinan Köprülerinin Güncel Durum Değerlendirmesi Ve Kapuağası Köprüsü Restorasyon Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eylül 2008, İstanbul Asma Köprüler, Bilim ve Teknik Aylık popüler Dergi Cilt 1 Sayı 6, Nisan 1968, Ankara.
13. CENGİZOĞLU Harun, Asma Bir Köprünün Orijinal Tasarım Dayanımının Kopan Bağlantı Plağından Sonraki Durumu İle Kıyaslanması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2006, İstanbul.
14. MERİÇ CEVAHİR Çiğdem, Tarihi Taş Köprülerin Yapım Teknikleri Ve Malzeme Kullanımı Açısından İncelenmesi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ekim 2019, Bursa.
15. Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, İnşaat Teknolojisi Alanı Sanat Yapıları Ders Bilgi Formu, Ankara, 2020.
16. Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, İnşaat Teknolojisi Alanı Çerçeve Öğretim Programı, Ankara, 2020.

GENEL AĞ KAYNAKÇASI VE GÖRSEL KAYNAKÇASI

Materyalin genel ağ kaynakçasına ve görsel kaynakçasına buradan ulaşılır.

Karekoda ulaşılamaması durumunda aşağıdaki linki kullanabilirsiniz.

http://kitap.eba.gov.tr/karekod/Kaynak.php?KOD=2275