

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: 978-975-11-6952-5

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

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

DENİZCİLİK
ALANI

MEKANİK VE TERMODİNAMİK



11

DERS
MATERYALİ



DENİZCİLİK ALANI | MEKANİK VE TERMODİNAMİK 11

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

DENİZCİLİK / GEMİ MAKİNELERİ İŞLETME

MEKANİK VE TERMODİNAMİK

11

Ders Materyali

Yazarlar

Bilge KARACA
Cemal KELEŞOĞLU



MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI8333
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ2225

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

HAZIRLAYANLAR

Dil Uzmanı

Dr. Nurhan GÜNER

Görsel Tasarım Uzmanı

Hatice DUMLU AK

ISBN: 978-975-11-6952-5

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,
Medeniyet 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 İlähî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmâhrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlähî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'sım;
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

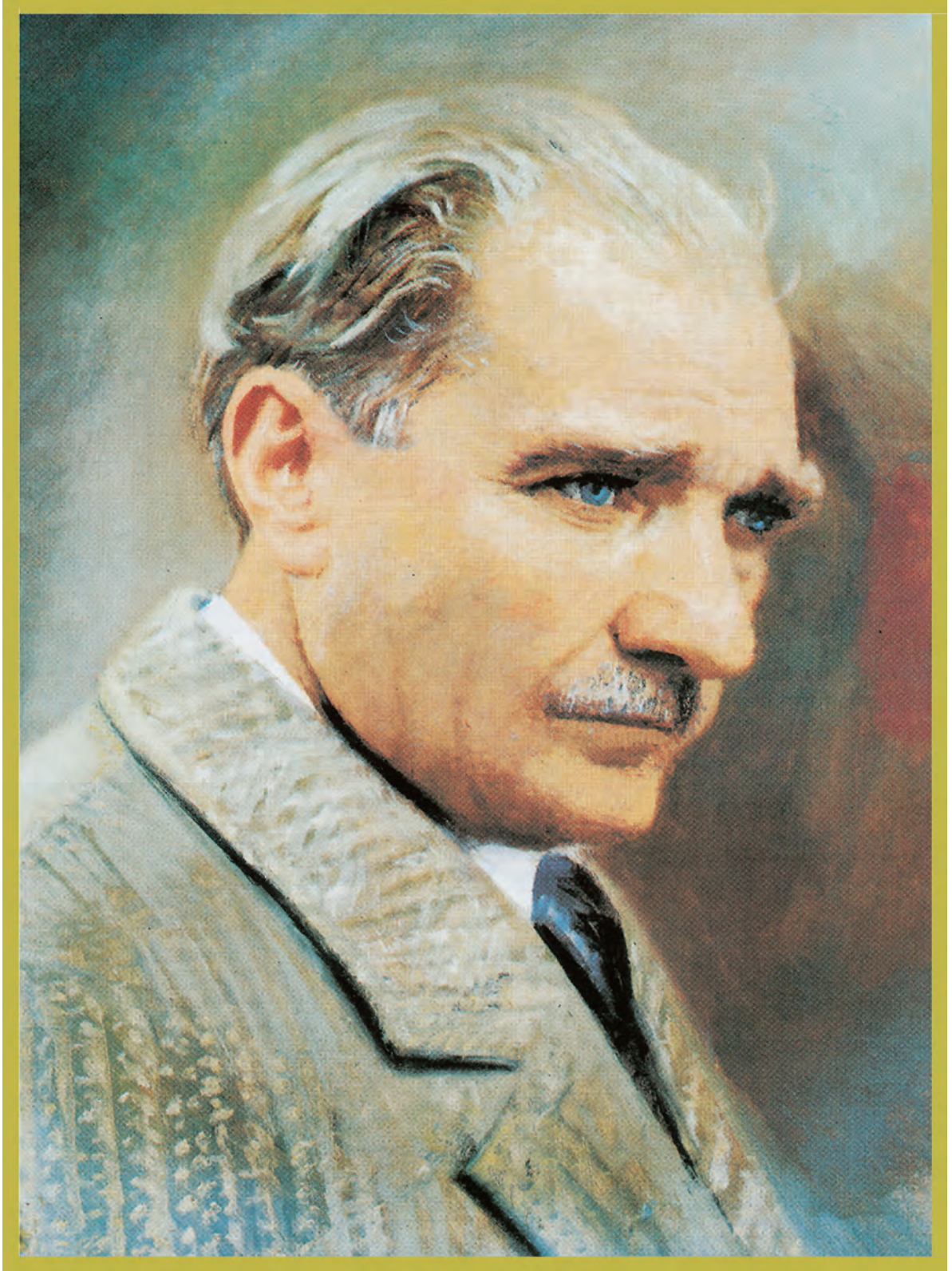
GENÇLİĞE HİTABE

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 namüsaît 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



DERS MATERYALİNİN TANITIMI	13
KISALTMALAR VE SEMBOLLER	14

1. ÖĞRENME BİRİMİ

1. ÖĞRENME BİRİMİ STATİK	16
1. MOMENT HESAPLAMALARI	18
1.1. Noktaya Göre Moment Alma	19
1.2. Denge Sistemlerine Göre Moment Hesaplama	20
1.3. Dolaylı Yüklere Göre Moment Hesaplama	22
1.4. Açılı Yüklere Göre Moment Hesaplama	23
2. MESNET HESAPLAMA	24
2.1. Mafsallı Mesnetler	24
2.2. Hareketli Mesnetler	26
2.3. Ankastre Mesnetler	27
3. AĞIRLIK MERKEZİ BULMA	28
3.1. Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması	29
3.2. Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması	29
3.2.1. Kuvvet Poligonu	29
3.2.2. İp Poligonu	30
3.3. Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması	31
3.3.1. Düzgün Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması	31
3.3.2. İçi Boş Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması	31
3.3.3. Üst Üste Katlanmış Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması	32
3.3.4. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması	32
3.3.5. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması	33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	36

2. ÖĞRENME BİRİMİ

2. ÖĞRENME BİRİMİ DAYANIM	40
1. DAYANIM VE GERİLİM	40
1.1. Cisimlere Uygulanan Dış Yükler	41
1.1.1. Statik Yükler	41
1.1.2. Periyodik (Dinamik) Yükler	41
1.1.3. Zorlamalar ve Olağanüstü Yükler	41
1.2. Gerilim (Gerilme)	42
1.2.1. Emniyet Katsayısı	42
1.2.2. Emniyetli Gerilim	42
2. BASILMA DAYANIMI (BASMA GERİLİMİ)	43
2.1. Basılmaya Zorlanan Elemanlar	44
2.2. Basılma Dayanımı Hesaplamaları	44
2.2.1. Direkt Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması	44
2.2.2. Dolaylı Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması	45
3. ÇEKİLME DAYANIMI	46
3.1. Hooke Kanunu	46
3.2. Çekilmeye Zorlanan Elemanlar ve Çekilme Dayanımı Hesaplamaları	48

4. KESİLME DAYANIMI	50
4.1. Kesilmeye Zorlanan Elemanlar ve Kesilme Dayanımının Hesaplanması.....	51
5. EĞİLME DAYANIMI	53
5.1. Eğilmede Yükleme Çeşitleri	55
5.1.1. Noktasal Yükleme	55
5.1.2. Yayıllı Yükleme	55
5.1.3. Karışık Yükleme	55
5.2. Eğilmede Atalet ve Dayanım Momenti Hesaplamaları	56
5.3. Eğilme Dayanımı Hesaplamaları ve Eğilme Diyagramı Çizilmesi	56
5.3.1. Noktasal Yüklere Göre Kesme Diyagramı	57
5.3.2. Yayıllı Yüklere Göre Kesme Diyagramı	57
5.3.3. Moment Diyagramının Çizilmesi	58
6. BURULMA DAYANIMI	61
6.1. Burulma Momentinin Bulunması	62
6.2. Polar Atalet ve Dayanım Momentinin Bulunması	62
6.3. Millerin Burulma Dayanımının Hesaplanması	63
7. BURKULMA (FLAMBAJ) DAYANIMI	64
7.1. Burkulma Dayanımı Hesaplamaları	65
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	68

3. ÖĞRENME BİRİMİ HIZ VE İVME	72
1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR	72
1.1. Konum	72
1.2. Yer Değiştirme	72
1.3. Hız	73
1.4. Ortalama Hız	75
1.5. Sürat	76
1.6. Anlık Hız (Ani Hız)	76
1.7. Bağlı Hız	77
1.8. İvme	80
1.8.1. Ortalama İvme	81
1.8.2. Ani (Anlık) İvme	81
1.9. Doğrusal Hareket Çeşitleri	82
1.9.1. Düzgün Doğrusal Hareket	82
1.9.2. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket	83
1.10. Serbest Düşme	84
1.10.1. Duran Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi	84
1.10.2. Aşağı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi	84
1.10.3. Yukarı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi	85
1.11. Atış Hareketleri	86
1.11.1. Yatay Atış Hareketi	86
1.11.2. Eğik Atış Hareketi	87

3. ÖĞRENME BİRİMİ

2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR	89
2.1. Kayma Sürtünmesi.....	90
2.1.1. Statik Sürtünme Kuvveti	90
2.1.2. Kinetik Sürtünme Kuvveti	91
2.2. Eğik Düzlem	91
2.2.1. Sürtünmesiz Eğik Düzlem.....	91
2.2.2. Sürtülmeli Eğik Düzlem.....	92
2.3. Newton'un İkinci Hareket Kanunu (Dinamiğin Temel Yasası)	93
3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMIĞI İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR	95
3.1. Merkezkaç Kuvvet	95
3.2. İş	96
3.3. Güç	98
3.4. Enerji	98
3.4.1. Kinetik Enerji	99
3.4.2. Potansiyel Enerji	99
3.5. Mekanik Enerjinin Korunumu	101
3.6. İtme (İmpuls)	102
3.7. Momentum	102
3.8. Dönme Momenti (Tork)	103
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	104

4. ÖĞRENME BİRİMİ

4. ÖĞRENME BİRİMİ TERMODİNAMİK KANUNLAR VE GAZLAR..	108
1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER	109
1.1. Büyüklükler ve Birimleri	109
1.2. Termodinamik Sistem	110
1.3. Sistemin Özellikleri	111
1.4. Enerji ve İş	112
1.5. Termodinamik Denge	114
1.6. Isı ve Sıcaklık	114
1.7. Hâl, Hâl Değişimi ve Çevrim	119
1.8. Basınç	120
1.9. Diğer Termodinamik Büyüklükler	122
2. ISI TRANSFERİ	123
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	128

5. ÖĞRENME BİRİMİ ÇEVİRİMLER	132
1. TERMODİNAMİK KANUNLAR	132
1.1. Mol Kavramı	133
1.2. Avogadro Kanunu	134
1.3. Boyle-Mariotte Kanunu	135
1.4. Charles Kanunu	136
1.5. Gay-Lussac Kanunu	137
1.6. İdeal Gaz Kanunu	138
1.7. Gazların Hâl Değişimleri	140
1.7.1. Sabit Hacimde (İzokorik) Hâl Değişimi	140
1.7.2. Sabit Basıncıta (İzobarik) Hâl Değişimi	141
1.7.3. Sabit Sıcaklıkta (İzotermal) Hâl Değişimi	142
1.7.4. Adyabatik (İzentropik) Hâl Değişimi	143
1.7.5. Çok Değişkenli (Politropik) Hâl Değişimi	145
1.8. Termodinamik Kanunlar	146
1.8.1. Termodinamiğin Sıfıncı Kanunu	146
1.8.2. Termodinamiğin Birinci Kanunu	146
1.8.3. Termodinamiğin İkinci Kanunu	148
1.8.4. Termodinamiğin Üçüncü Kanunu	149
2. SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ	150
3. BUHAR ÇEVİRİMLERİ	155
3.1. Carnot Buhar Çevrimi	155
3.2. Rankine Çevrimi	156
4. GAZ ÇEVİRİMLERİ	159
4.1. Gaz Güç Çevrimleri	159
4.1.1. Carnot Güç Çevrimi	160
4.1.2. Otto Çevrimi	162
4.1.3. Dizel Çevrimi	168
4.1.4. Karma (İkili) Çevrim	174
4.1.5. Brayton (Gaz Türbin Motorları) Çevrimi	178
4.2. Gerçek Dizel Motor Çevrimleri	180
4.2.1. İki Stoklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi	180
4.2.2. Dört Stoklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi	182
5. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE GÜÇ	183
5.1. İndike (İç) Güç	183
5.2. Efektif (Yararlı) Güç	184
5.3. Pervane Gücü	185
6. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE VERİM	186
6.1. Mekanik Verim	186
6.2. Isıl (Termik) Verim	186
6.3. Efektif (Yakıt) Verim	187
6.4. Hacimsel (Volumetrik) Verim	187
7. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE YAKIT TÜKETİMİ	188
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	191
KAYNAKÇA	195
CEVAP ANAHTARI	196


5. Öğrenme Birimi

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Gemi makine dairesinde bulunan ısı kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen ısı kullanım alanları ile ilgili bilgi ve gözlemlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Gemi ana makinesinin güç ve veriminin düşmesine nelerin sebep olabileceği ile ilgili görüşlerinizi belirtiniz.
3. İdeal (mükemmel) bir makinenin hangi özelliklere sahip olması gerektiğini ve bu özelliklerin gerçekte olup olmayacağını tartışınız.

ÇEVİMLER

Termodinamik çevrimlerde kullanılan çalışma akışkanı, bir veya birden fazla hâl değişimi gerçekleştirip tekrar ilk haline döner. Bir amaç doğrultusunda gerçekleşen bu çevrimler, güç çevrimi ve soğutma çevrimi olarak sınıflandırılır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Termodinamik çevrimler

Öğrenme Birimi Numarası

Hazırlık Çalışması

Konu Başlığı

Konu Alt Başlığı

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR

Termodinamik çevrimler, termodinamik kanunları gazlarda basınç, sıcaklık ve hacim gibi ilgili yapılan hesaplamalarda işleme konu olan oranla ihmal edilebilecek kadar küçük taneccikler arasında çekme ya da tıme kuvveti bulunmayan açmadaki varsayılan gazlara ideal gaz denir. İdeal gaz gerekçesidir. Taneccikler arası etkileşimin diğer durumlarda gerek gazlar, ideal gaz özelliklerine

132

Karekod okuyucu ile taratarak resim video, animasyon, soru ve çözümleri vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekod. Detaylı bilgi için <http://kitap.eba.gov.tr/karekod>

3. ÖĞRENME BİRİMİ

HIZ VE İVME

KONULAR

1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR
2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR
3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMİĞİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR



Öğrenme Birimi Numarası

Öğrenme Birimi Adı

Öğrenme Birimi Karekod

Öğrenme Birimi Konuları

MEKANİK VE TERMODİNAMİK-11

6.3. Etketif (Yakıt) Verim

Motorun elde edilen efektif gücün tüketilen yakıtın gücüne oranıdır.

η_e : Etketif verim
 N_e : Etketif güç (kW)
 B : Motorun tükettiği yakıt miktarı (kg/s)
 H_f : Yakıtın ısı değeri (kJ/kg)

$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_f}$

Örnek 41: Dizel bir motor, 40 kW güç üretecek şekilde çalıştığında saatte 12 kg motorin tüketmektedir. Motorinin yanma ısı 42300 kJ/kg olduğuna göre motorun efektif verimini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$N_e = 40 \text{ kW}$	$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_f} = \frac{40}{0,0033 \cdot 42300} = 0,28$
$B = 12 \text{ kg/h} = 0,0033 \text{ kg/s}$	$\eta_e = \%28$
$H_f = 42300 \text{ kJ/kg}$	
$\eta_e = ?$	

6.4. Hacimsel (Volumetrik) Verim

Hacimsel verim, doğal emişli (ayrı doldurması olmayan) bir motorda silindirin içerisine alınan havanın hacminin silindirin hacmine oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_v : Hacimsel verim
 V_s : Silindirin içerisine alınan gerçek havanın hacmi (m³)
 V_c : Silindirin hacmi (m³)

$\eta_v = \frac{V_s}{V_c}$

Örnek 42: Doğal emişli 2 stroklu bir dizel motorun silindirin hacmi 0,3 m³'tür. Hava filtresi tıkanmış bu motor emme zamanında silindirin içerisine 0,06 m³ hava alabiliyorsa bu motorun hacimsel verimini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$V_c = 0,3 \text{ m}^3$	$\eta_v = \frac{V_s}{V_c}$
$V_s = 0,06 \text{ m}^3$	$\eta_v = \frac{0,06}{0,3} = 0,2$
$\eta_v = ?$	$\eta_v = \%20$

Öğrenme Birimi Adı

Örnek Soru ve Çözümü

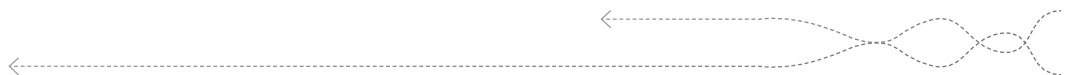
Kısaltmalar ve Formüller

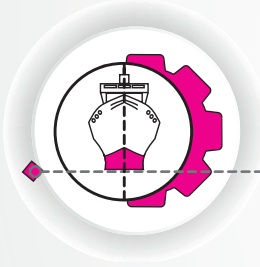
Sayfa Numarası



KISALTMALAR VE SEMBOLLER

A	: Alan	N	: Tanecik sayısı
a	: İvme	N	: Güç
B	: Motorun tükettiği yakıt miktarı	N _A	: Avogadro sayısı
b _e	: Özgül yakıt tüketimi	P	: Basınç
COP _{SM}	: Soğutma etkinlik katsayısı	P	: Momentum
COP _{IP}	: Isıtma etkinlik katsayısı	q	: Özgül ısı
c _p	: Sabit basınçta özgül ısı	Q	: Isı
c _v	: Sabit hacimde özgül ısı	r _c	: Sıkıştırma oranı
E	: Elastiklik modülü	r _p	: Basınç artış oranı
E _k	: Kinetik enerji	r _v	: Kesme oranı
E _p	: Potansiyel enerji	R	: Gaz sabiti
E.K.S.	: Emniyet katsayısı	R _u	: Evrensel gaz sabiti
F	: Kuvvet	s	: Entropi
f _s	: Sürtünme kuvveti	t	: Zaman
G	: Ağırlık	T	: Sıcaklık
g	: Yerçekimi ivmesi	u	: Özgül iç enerji
h	: Özgül entalpi	U	: İç enerji
h	: Sıvının derinliği	v	: Özgül hacim
h	: Isı taşınım katsayısı	V	: Hacim
H	: Entalpi	V	: Hız
H _u	: Yakıtın ısıl değeri	W	: İş
I	: Atalet momenti	W	: Kesitin dayanım momenti
I	: İtme (İmpuls)	Z	: Silindir sayısı
k	: Adyabatik üs	ρ	: Sıvının yoğunluğu
k	: Isı iletim katsayısı	η	: Verim
k	: Sürtünme katsayısı	Υ	: Özgül ağırlık
L	: Kalınlık	ε	: Yayma katsayısı
m	: Kütle	σ	: Stefan-Boltzman sabiti
M	: Moment	σ	: Gerilim
M	: Mol kütlesi	τ	: Kesilme dayanımı
n	: Mol sayısı	τ	: Burulma dayanımı
n	: Motor devri	τ	: Tork





1. ÖĞRENME BİRİMİ

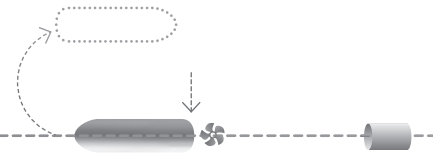
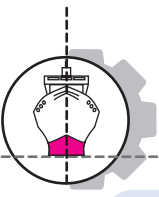
STATİK

Neler Öğreneceksiniz?

1. MOMENT HESAPLAMALARI
2. MESNET HESAPLAMA
3. AĞIRLIK MERKEZİ BULMA



KOD=16585



HAZIRLIK ÇALIŞMASI

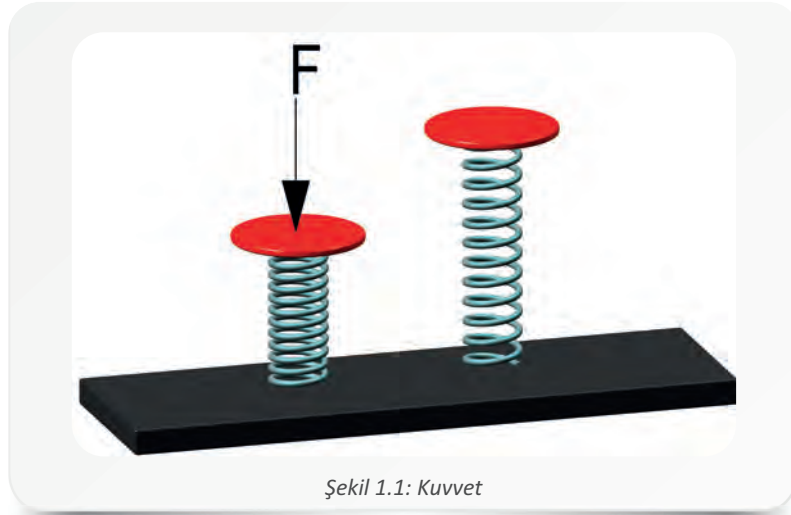
1. Geleneksel çocuk oyunlarından olan dokuztaş oyunu iki grupta oynanan bir oyundur ve üst üste dizilen benzer büyüklükteki dokuz yassı taşa atılan topun taşları devirmesi ile başlar. Oyunun amacı, taşları deviren grubun işbirliği içerisinde ve diğer grup tarafından topla vurulmadan taşları yeniden dengeli bir şekilde üst üste yerleştirmesidir. Bu yapılırken taşların devrilmemesi ve denge durumlarını koruyabilmeleri için nelere dikkat edilmesi gerekebileceği ile ilgili fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Uzun bir tahta parçası ve bir dayanaktan yapılmış olan tahterevallinin iki ucuna, farklı ağırlıklarda iki cisim yerleştirilmektedir. Bu tahterevallinin denge durumunu koruyabilmesi için neler yapılabileceği ile ilgili düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

STATİK

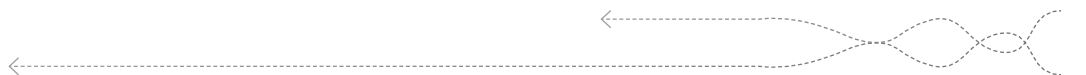
Makine işletim sistemleri üzerinde civata, saplama, somun, supap ve dişli gibi zorlu çalışma şartlarına dayanabilecek çok sayıda parça ve malzeme vardır. Bu malzeme ve parçaların işlevlerini kaybetmeden uzun süre görev yapabilmesi için cisimlerin dış kuvvetlere gösterdiği tepkinin bilinmesi gerekir. Cisimler dış kuvvetlerin etkisi ile şekil değiştirebilir ve aşınmaya uğrayabilir.

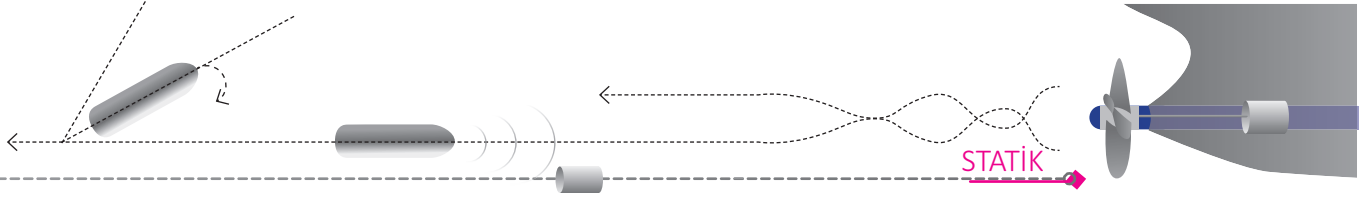
Kuvvetin etkisi ile cisimlerde meydana gelen şekil değişimi çok az ise önemsenmeyebilir ve sistemin denge durumu, hiç değişiklik olmamış gibi incelenebilir. Kuvvetler etkisindeki cisimlerin denge durumunu inceleyen bilim dalına **statik** denir. Statik, kuvvet etkiyen cismin şekil değişikliğini göz önünde bulundurmaz ve kuvvetler etkisindeki cismi tam katı olarak kabul eder. Statik prensiplerinin anlaşılabilmesi; moment, mesnet ve ağırlık merkezi bulma hesaplamalarının yapılabilmesi için kuvvet ve cisimler arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekir.

Cisimlerin denge durumunu değiştiren veya değiştirmeye zorlayan sebebe **kuvvet** denir. Kuvvet **F** ile gösterilir. Duran bir cismin itilince hareket etmesi, cisme uygulanan itme artırılınca cismin hızlanması, itmenin ortadan kalkması ile cismin durması gibi hareket değişikliklerinin nedeni kuvvettir. Ayrıca üzerine baskı uygulanan yayın kısalması (Şekil 1.1), sıkıştırılan bir cismin baskıyla ezilmesi ve çekilen bir lastiğin uzaması da kuvvetin etkisi ile meydana gelen şekil değişikliklerine verilebilecek örneklerdir.



Şekil 1.1: Kuvvet





Mekanikte kuvvet, iç ve dış kuvvetler olmak üzere ikiye ayrılır. Bir cismin moleküllerinin birbirine yaptığı etkiye **iç kuvvet** denir ve bunlarla dayanım bilgisi ilgilenir. Bir cisme dışardan etkileyen yüklere ise **dış kuvvet** denir. Dış kuvvetler, cismin üzerine binen ağırlık gibi cisme doğrudan etki edebilir veya mesnet tepkilerinde olduğu gibi cisimlerin birbiriyle bağlanması sonucu meydana gelebilir.

Kuvvetin Elemanları ve Vektörleri

Statik prensiplerine göre kuvvet, doğrultusu boyunca istenilen yere taşınabilir. **Kuvvet (F)**, ok işareti ile yönü belirtilmiş bir doğru parçası olan vektörel bir büyüklüktür. Bir kuvvet vektörünün şiddeti, cisme uygulanan kuvvetin büyüklüğünü; doğrultusu, cisme uygulanan kuvvetin konumunu ve yönü de kuvvetin etkilediği tarafı ifade eder. Vektör; şiddeti, yönü ve doğrultusu belirtilerek belli bir noktaya etki ettirilmemişse **serbest vektör**, belli bir noktaya etki ettirilmişse **sınırlandırılmış (sabitleştirilmiş) vektör** adını alır. Sınırlandırılmış kuvvet vektörünün cisme etki ettiği nokta, uygulama (tatbik) noktasını ifade eder ve dördüncü eleman olarak kabul edilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Kuvvet vektörü ve elemanları

Kuvvet Birimleri

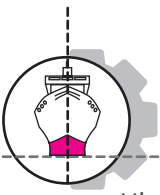
Kütle ve ağırlık genellikle birbiri ile karıştırılan ancak birbirinden farklı iki kavramdır. **Kütle (m)**, bir cismin değişmez madde miktarıdır. **Ağırlık (G)** ise bir cisme uygulanan yer çekimi kuvvetidir. Cismin kütlesi bulunduğu yere göre değişmez, aynı kalır; ancak ağırlığı bulunduğu yere göre değişiklik gösterir. Örneğin insanın dünyadaki kütlesi uzayda da aynıdır, değişmez; fakat ağırlığı değişir. İnsan ağırlığı, uzayda dünyadakinden daha azdır. Bunun nedeni yer çekimi ivmesinin değişmesidir.

Yerçekimi belirlenirken Fransa'da bulunan iridyumlu platinden yapılmış silindirin ağırlığı ve onu yere çeken kuvvet esas alınmıştır. Buna göre **yer çekimi ivmesi (g)** 9,81 m/s² olarak belirlenmiştir; ancak hesaplamalarda kolaylık sağlanması için 10 m/s² kabul edilir. Şekil 1.3'te kütle ve ağırlık arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1.3: Kütle ve ağırlık





1. Öğrenme Birimi

Uluslararası Birimler Sistemi'nde (SI) kütle birimi kilogram (kg), kuvvet birimi de newton (N) kabul edilmektedir. Ağırlık birimi de $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ 'dir ve N'ye eşittir. Kuvvet ve kütle birimlerinin birbirini yerine kullanılması ise hatalıdır.

Mutlak ve çekimsel birim sistemlerinde kullanılan kuvvet birimleri şunlardır:

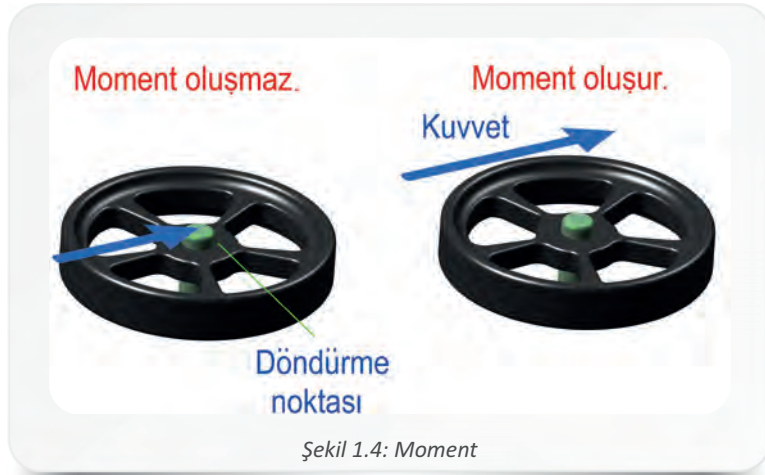
- Mutlak CGS (Santimetre-Gram-Saniye) birim sistemine göre : din (dyne)
- Mutlak MKS (Metre-Kilogram-Saniye) birim sistemine göre : newton (N)
- Çekimsel CGS (Santimetre-Gram-Saniye) birim sistemine göre : gram-kuvvet (g_f)
- Çekimsel MKS (Metre-Kilogram-Saniye) birim sistemine göre : kilogram-kuvvet (kg_f)

Örnek 1: Yer çekimi ivmesinin $4 \text{ m}/\text{s}^2$ olduğu yerdeki bir cismin ağırlığı 80 N ise kütlesi kaç kg'dır?

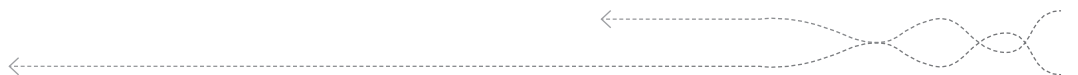
Verilenler:	Çözüm:
$G = 80 \text{ N}$	$G = m \cdot g$
$g = 4 \text{ m}/\text{s}^2$	$80 = m \cdot 4$
	$m = \frac{80}{4} = 20 \text{ kg olur.}$

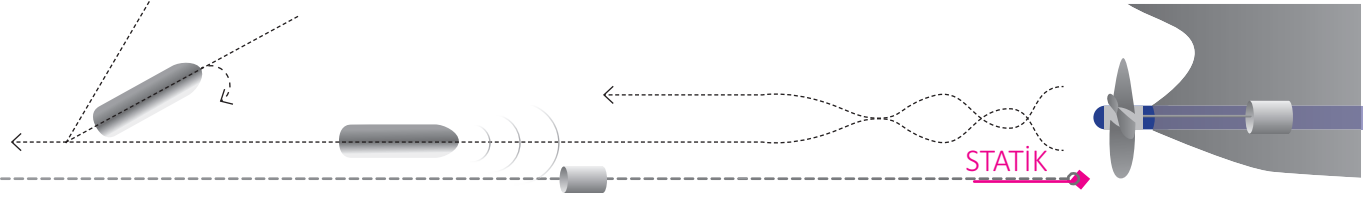
1. MOMENT HESAPLAMALARI

Kuvvetin cisim üzerindeki döndürme etkisine **moment** denir. Vektörel bir büyüklük olan moment **M** ile gösterilir. Momentin oluşabilmesi için cisme etki eden kuvvetin doğrultusu, döndürme noktasının dışından geçmelidir (Şekil 1.4).

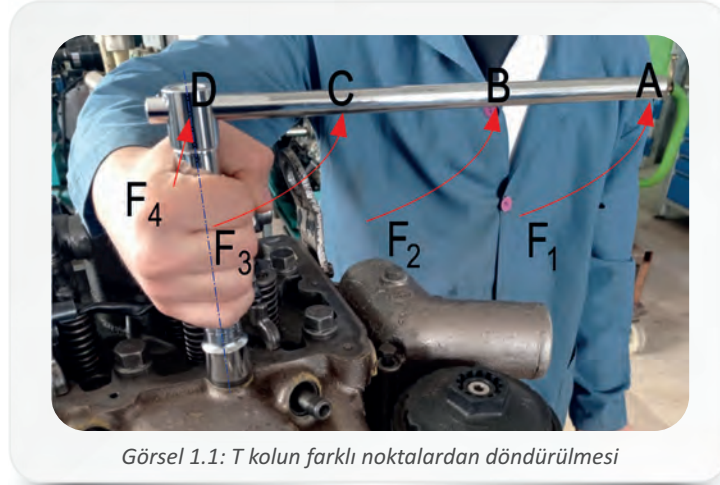


Görsel 1.1'de görülen T kol dört farklı noktadan kuvvet uygulanarak döndürülmeye çalışıldığında T kolun A noktasından F_1 kuvveti ile rahat döndürüldüğü ve eksen etrafında döndüğü görülür. T kol, B noktasından F_2 kuvveti ile döndürülmek istenildiğinde biraz zorlanıldığı, C noktasından F_3 kuvveti ile döndürülmek istenildiğinde ise zorluk derecesinin daha da arttığı görülür. D noktasında





(eksen), uygulanan kuvvet ne kadar artırılırsa artırılırsın T kolun dönme hareketi yapmadığı tespit edilir (Görsel 1.1).

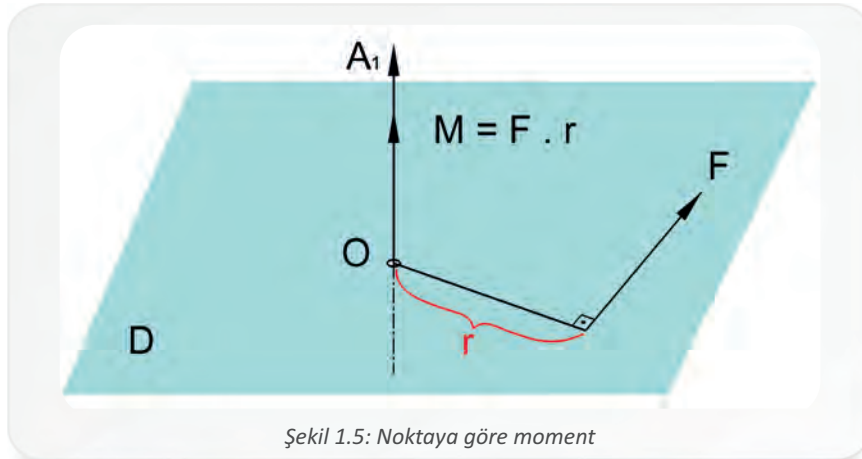


Görsel 1.1: T kolun farklı noktalardan döndürülmesi

Bu örnekten de anlaşılacağı üzere, moment oluşabilmesi için kuvvet uygulanan cismin bir eksen etrafında dönmesi gerekir. Bir kuvvet, doğrultusu üzerinde kaydırılırsa da momentin değeri korunur.

1.1. Noktaya Göre Moment Alma

Bir kuvvetin (**F**) etki ettirildiği cismi, bir nokta (**O**) veya sabit eksen etrafında döndürme eğilimine, kuvvetin noktaya veya eksene göre momentini denir. Cisme etkiyen kuvvet, cismi kendi etrafında döndürme eğilimindedir. **O** noktasındaki eksenden kuvvetin doğrultusuna (tesir çizgisi) inilen dikme, kuvvet kolu (**r**) olarak adlandırılır. Buradan eksene veya noktaya göre momentin değeri, kuvvetin büyüklüğü ile kuvvet kolunun çarpımına eşit ($M = F \cdot r$) bulunur. Bir noktaya göre alınan momentlerin toplamı Σ işareti ile belirtilir. Bir **O** noktasına göre alınan momentlerin toplamı ise ΣM_O şeklinde gösterilir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5: Noktaya göre moment

Moment = Kuvvet . Kuvvet kolu
 $M = F \cdot r$ (N . m)

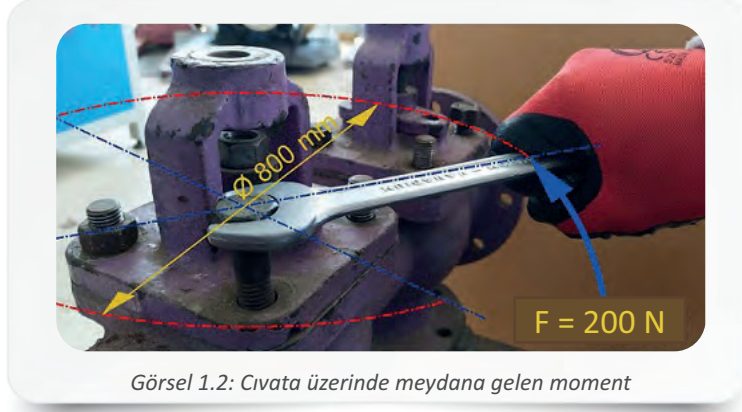
F = Kuvvet (N)
 r = Kuvvet kolu (m)





1. Öğrenme Birimi

Örnek 2: Görsel 1.2'de görülen cıvata açığağız anahtar ile sıkılmaktadır. Cıvata üzerinde meydana gelen momenti hesaplayınız.



Görsel 1.2: Cıvata üzerinde meydana gelen moment

Verilenler:

$$D = 800 \text{ mm} = 0,8 \text{ m}$$

$$r = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$F = 200 \text{ N}$$

Çözüm:

$$M = F \cdot r$$

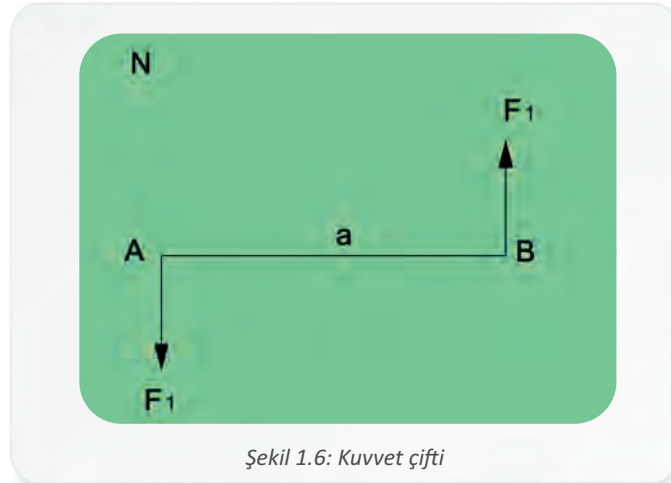
$$M = 200 \cdot 0,4$$

$$\mathbf{M = 80 \text{ N} \cdot \text{m olur.}}$$

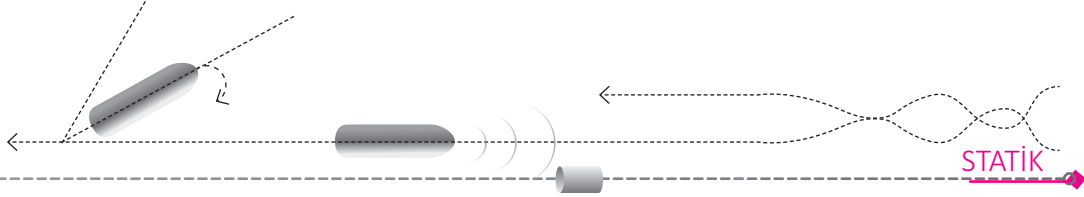
Bir düzlem üzerinde birden fazla kuvvet olduğunda kuvvetlerin yönlerinin belirlenmesi gerekir. Kuvvet yönü belirlenirken saat yönünün (-) negatif, saat yönünün tersinin pozitif (+) alınması alışılmış bir durum olsa da bu genelgeçer bir kural değildir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, yönlerin moment hesaplanmaya başlanırken seçilmesi ve hesaplama işlemi boyunca aynı şekilde kullanılmasıdır. Aksi hâlde moment doğru hesaplanamaz.

1.2. Denge Sistemlerine Göre Moment Hesaplama

Şiddetleri eşit, birbirine paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin meydana getirdiği sisteme **kuvvet çifti** denir. Şekil 1.6'da görülen kuvvet çifti örneğinde **a** kuvvet çifti kolunu, **N** kuvvet düzlemini ifade etmektedir.



Şekil 1.6: Kuvvet çifti



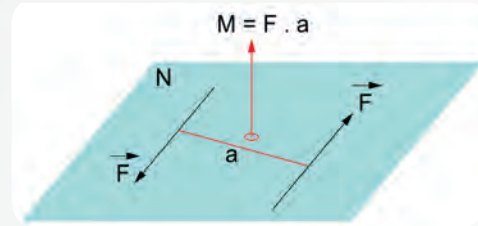
Bir kuvvet çifti, değerleri ve elemanları sabit kalmak üzere başka bir kuvvet çifti ile değiştirilebilir; kendi düzlemi üzerinde başka bir noktaya kaydırılabilir ve bulunduğu düzleme paralel başka düzleme doğru hareket ettirilebilir.

T kol ile cıvata sökölüp takılırken T kolun kollarına uygulanan eşit yüklü ve zıt yönlü kuvvetler, kuvvet çiftine örnek verilebilir (Görsel 1.3).



Görsel 1.3: T kol ile cıvata sökme ve takma işlemi

Kılavuz ile vida çekme işlemi de kuvvet çiftine örnektir. Kılavuzun dönüş yönü, moment vektörünün dönüş yönüdür. Şekil 1.7'de kuvvet çiftinin dönüş yönü görülmektedir.



Şekil 1.7: Kuvvet çiftinin dönüş yönü

Moment vektörel bir büyüklük olduğundan kuvvet çiftinin de moment vektörleri ile gösterilmesi moment hesaplamalarında kolaylık sağlar.

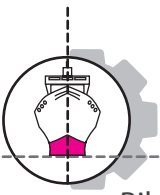
Örnek 3: Şekil 1.8'deki kasnağı döndüren 150 N şiddetindeki kuvvet çiftinin meydana getirdiği momenti hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$D = 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m}$	Kasnak bir kuvvet çifti tarafından döndürülmeye çalışılmaktadır.
$r = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$	$M = F \cdot r$
$F_1 = 150 \text{ N}$	$M = 150 \cdot 0,6 = 90 \text{ N} \cdot \text{m}$ olur.
$F_2 = 150 \text{ N}$	Aşağıdaki yöntem kullanılarak da çözüme ulaşılabılır.
$M_d = ?$	$\Sigma M_A = 0$
	$M_d = 0,3 \cdot 150 + 0,3 \cdot 150$
	$M_d = 45 + 45$
	$M_d = 90 \text{ N} \cdot \text{m}$ olarak bulunur.



Şekil 1.8: Kasnağı döndüren kuvvet çifti

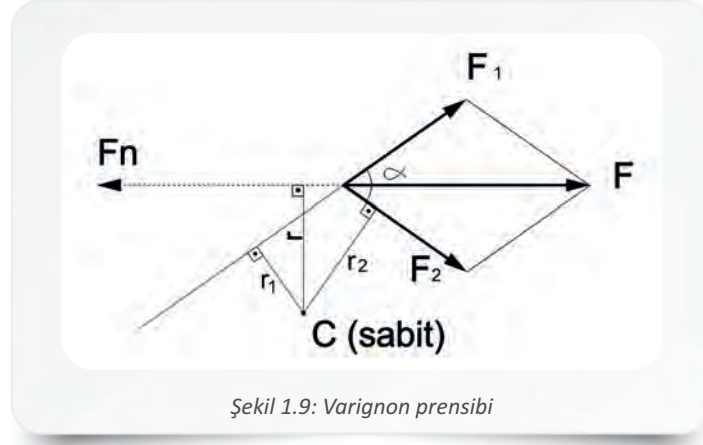




1. Öğrenme Birimi

Bileşkenin Sıfır Olması Şartı (Kuvvetler Çokgeninin Kapalı Olması Hâli)

İki veya daha fazla kuvvetin herhangi bir noktaya göre momentlerinin toplamı, bu kuvvetlerin yerini tutan bileşke kuvvetin aynı noktaya göre momentine eşittir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9: Varignon prensibi

Sistemin dengede olabilmesi için bileşke momentin sıfır olması gerekir.

$$F = F_n \text{ (Varignon prensibi)}$$

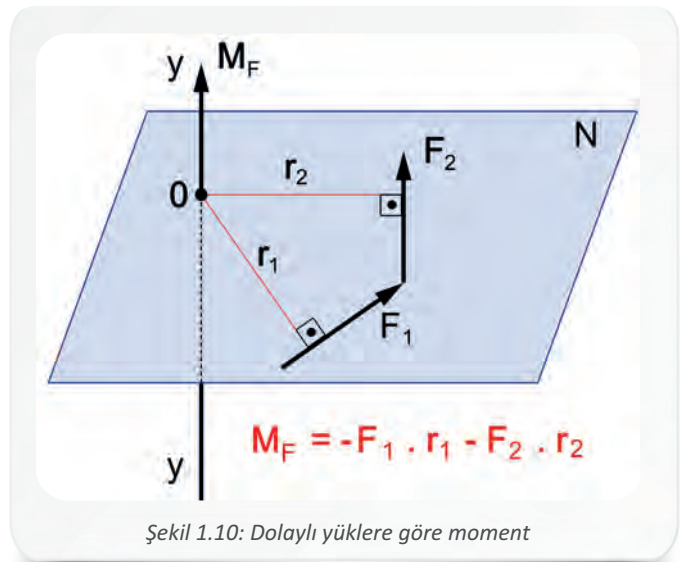
$$\Sigma M_c = 0 \text{ (Varignon teoremi prensibi)}$$

$$F_n \cdot r + F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = 0$$

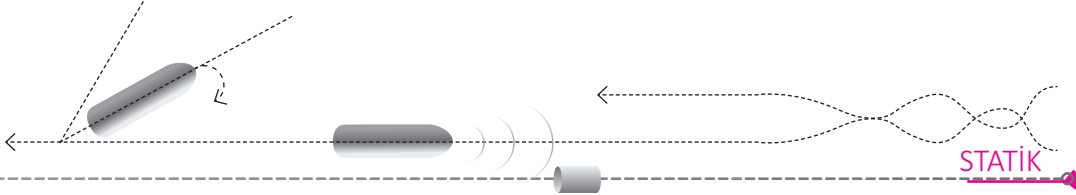
Bu bilgiler ışığında denge sistemine göre moment hesaplamaları, $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ ve $\Sigma M = 0$ denklemleri kurularak yapılabilir.

1.3. Dolaylı Yüklere Göre Moment Hesaplama

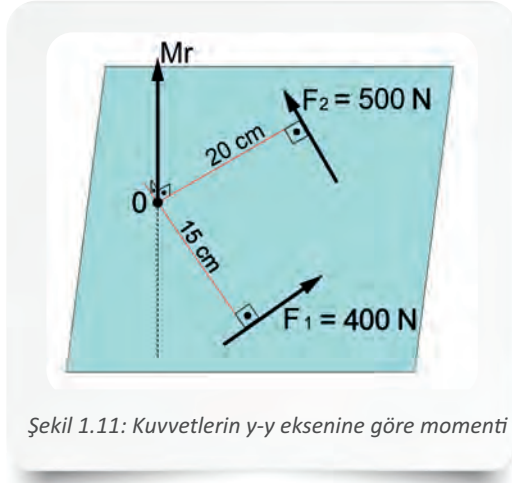
Makine içerisinde meydana gelen hareket enerjisi ve üretilen kuvvet; mil, kol, dişli gibi makine parçaları ile kullanım yerine iletilir. İletim sırasında üretilen kuvvetin tamamı sisteme yansımaz. Montaj durumlarına göre, makine parçalarının kuvvetten bileşenleri kadar etkilenmesi durumuna **dolaylı yük** denir. Şekil 1.10'daki **N** düzlemi **y-y** eksenine diktir. F_1 ve F_2 kuvvetleri **N** düzlemi üzerinde buldukları için iz düşümleri de kendileri kadardır. Bu nedenle **0** noktasına dolaylı yük olarak etkileri kendi şiddetleri kadardır.



Şekil 1.10: Dolaylı yüklere göre moment



Örnek 4: Şekil 1.11'de görülen kuvvetlerin y-y eksenine göre momentini hesaplayınız.



Şekil 1.11: Kuvvetlerin y-y eksenine göre momentini

Verilenler:

$$F_1 = 400 \text{ N}$$

$$F_2 = 500 \text{ N}$$

$$r_1 = 15 \text{ cm}$$

$$r_2 = 20 \text{ cm}$$

Çözüm:

Düzlem y-y eksenine dik olduğundan kuvvetlerin iz düşümleri kendileri kadardır.

$$Mr = F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2$$

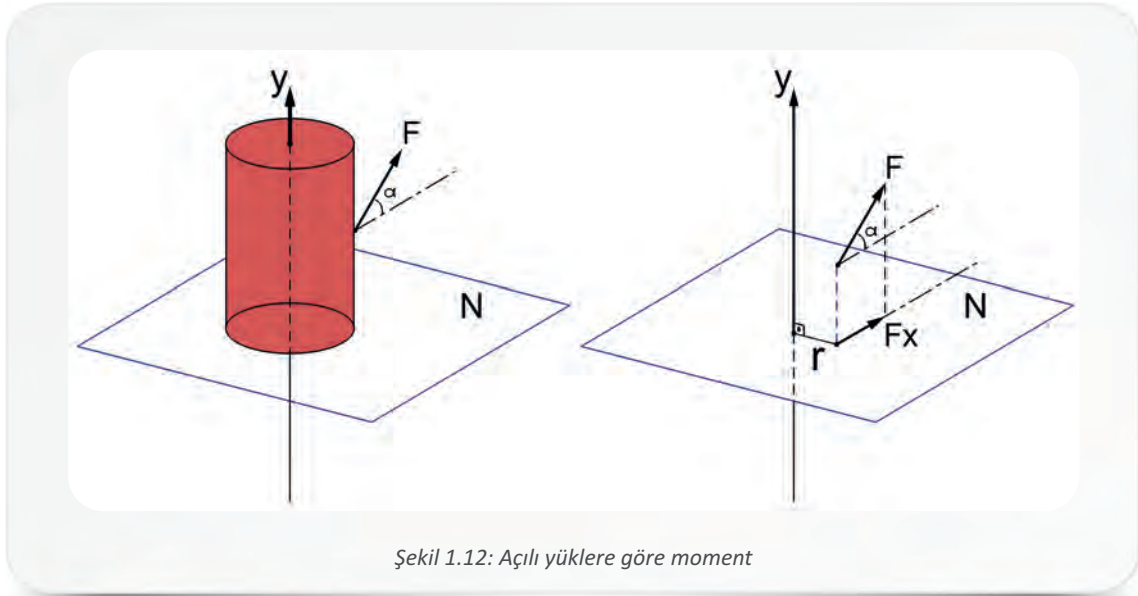
$$Mr = 400 \cdot 15 + 500 \cdot 20$$

$$Mr = 6000 + 10000$$

$$Mr = 16000 \text{ N} \cdot \text{cm} = 160 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ olur.}$$

1.4. Açılı Yüklere Göre Moment Hesaplama

Cisme belirli bir açı ile etki eden kuvvetin cisim üzerindeki etkisi, açının değeri ile çarpımına eşittir. Şekil 1.12'deki silindir N düzlemine dik olduğu için, F kuvveti doğrudan döndürme etkisi yapamaz. Burada F kuvvetinin N düzlemine iz düşümü kuvveti etkili olur.



Şekil 1.12: Açılı yüklere göre moment

Açılı yüklere göre moment hesaplamaları aşağıdaki formüller kullanılarak yapılabilir.

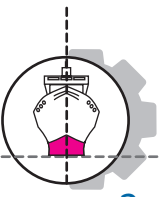
$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$M_y - y = F_x \cdot r$$

y-y eksenine göre moment

$$M_y - y = F \cdot r \cdot \cos \alpha \text{ olur.}$$



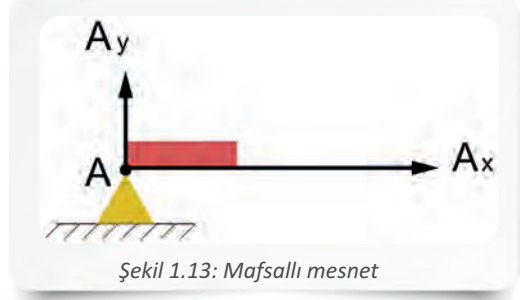


2. MESNET HESAPLAMA

Bir cismin dış kuvvetlerin etkisi altında ötelenmesini ve dönmesini engellemek amacıyla kullanılan dayanak veya sabit bağlantılara **mesnet** adı verilir. Mesnet tepkilerinin bulunabilmesi için mesnetlerin incelenmesi gerekir. Bir mesnet, cismin herhangi bir yönde hareket etmesini engelliyorsa o cisim üzerinde tepki kuvveti oluşturur. Statiğin temel prensipleri gereğince **etki** ve **teпки** birbirine eşittir.

2.1. Mafsallı Mesnetler

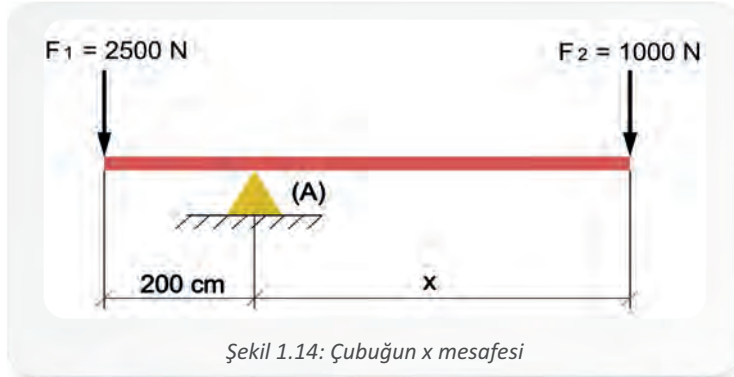
Bir pim ile sabitlenmiş, x ve y eksenleri yönünde hareket edemeyen, ancak serbestçe dönebilmesine izin verilen mesnetlerdir. Mafsallı mesnetler bu yapıları nedeniyle x ve y eksenleri yönünde iki kuvvet taşıyabilirler.



Şekil 1.13: Mafsallı mesnet

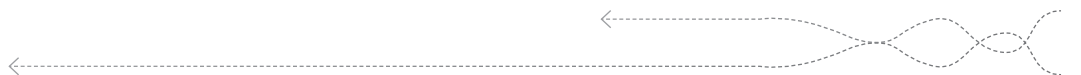
Mafsallı mesnetler serbestçe dönebildikleri için moment tepkisi oluşmaz. Mesnet tepkilerinin yönleri sabit değildir. Hesaplamalarda mesnetteki A_x ve A_y tepkilerinin yönleri, ilk başta rastgele belirlenir. Rastgele belirlenen yönler göre $\Sigma F_x = 0$ ve $\Sigma F_y = 0$ denklemleriyle hesaplama yapılır. İşlem sonucunda değer pozitif (+) çıkarsa tepki yönü doğru seçilmiştir, negatif (-) çıkarsa tepki yönü yanlış seçilmiştir. Bu durumda, tepki yönü düzeltilerek işlem yeniden yapılır (Şekil 1.13).

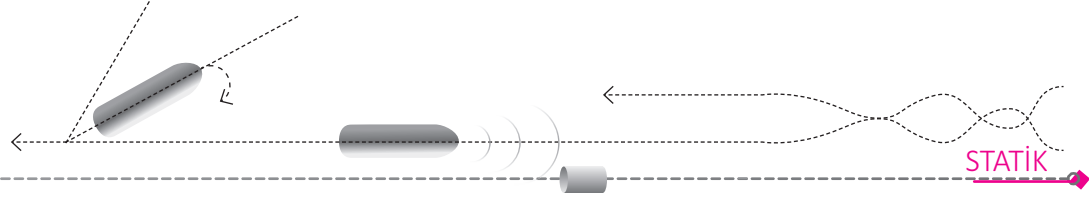
Örnek 5: Şekil 1.14'teki sistemin denge durumunu koruyabilmesi için x uzunluğunun kaç cm olması gerektiğini hesaplayınız.



Şekil 1.14: Çubuğun x mesafesi

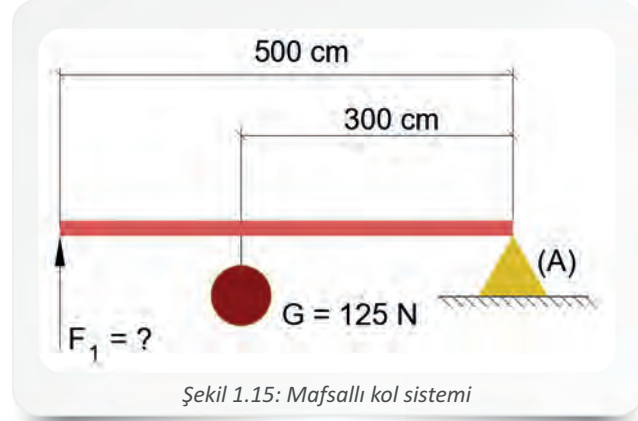
Verilenler:	Çözüm:
$F_1 = 2500 \text{ N}$	$\Sigma M = 0$
$F_2 = 1000 \text{ N}$	$2500 \cdot 200 - 1000 \cdot x = 0$
$L_1 = 200 \text{ cm}$	$500000 - 1000x = 0$
	$500000 = 1000x$
	$x = \frac{500000}{1000}$
	$x = 500 \text{ cm olur.}$



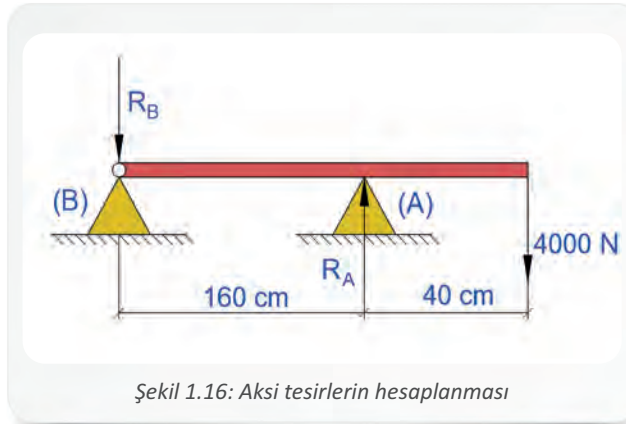


Örnek 6: Şekil 1.15'teki mafsallı kol sisteminin denge durumunu koruyabilmesi için gereken F_1 kuvvetini hesaplayınız.

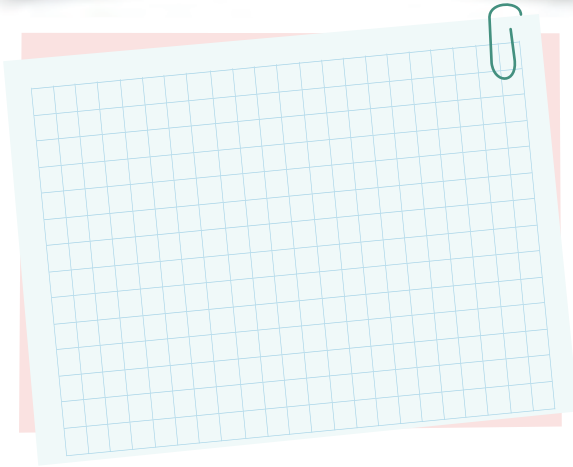
Verilenler:	Çözüm:
$F_G = 125 \text{ N}$	$\Sigma M_A = 0$
$X_F = 500 \text{ cm}$	$F_G \cdot x_G - F_1 \cdot x_F = 0$
$x_G = 300 \text{ cm}$	$125 \cdot 300 - F_1 \cdot 500 = 0$
$F_1 = ?$	$37500 - F_1 \cdot 500 = 0$
	$37500 = 500 \cdot F_1$
	$F_1 = \frac{37500}{500}$
	$F_1 = 75 \text{ N}$ bulunur.

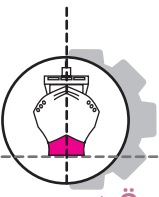


Örnek 7: Şekil 1.16'da görülen çubuğun A ve B mesnetlerinde meydana gelen aksi tesirleri hesaplayınız.



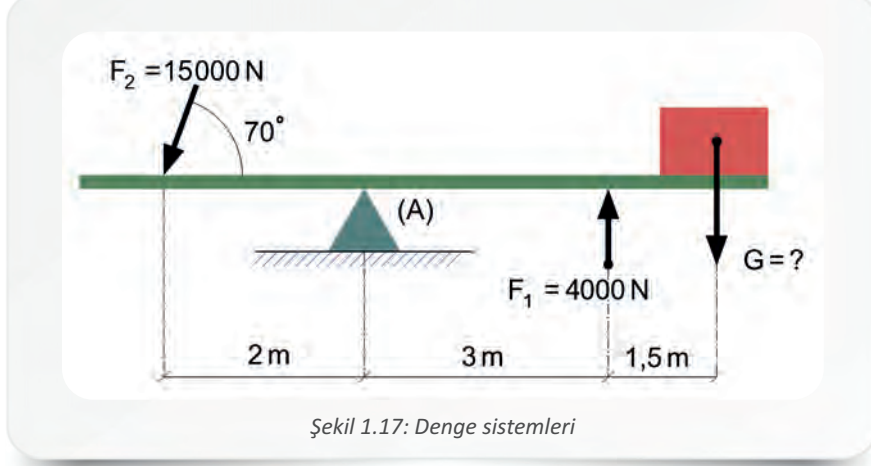
Verilenler:	Çözüm:
$x_1 = 160 \text{ cm}$	$\Sigma F_y = 0$ denkleminde
$x_2 = 40 \text{ cm}$	$-4000 + R_A + R_B = 0$
$F = 4000 \text{ N}$	$R_A + R_B = 4000$
$R_A = ?$	$\Sigma M_B = 0$ denkleminde
$R_B = ?$	$4000 \cdot 2 - R_A \cdot 1,6 = 0$
	$8000 = 1,6 \cdot R_A$
	$R_A = \frac{8000}{1,6} = 5000 \text{ N}$
	$R_A + R_B = 4000$
	$5000 + R_B = 4000$
	$R_B = 4000 - 5000$
	$R_B = -1000 \text{ N}$ aşağı doğru.
	$R_A = 5000 \text{ N}$ yukarı doğru.





1. Öğrenme Birimi

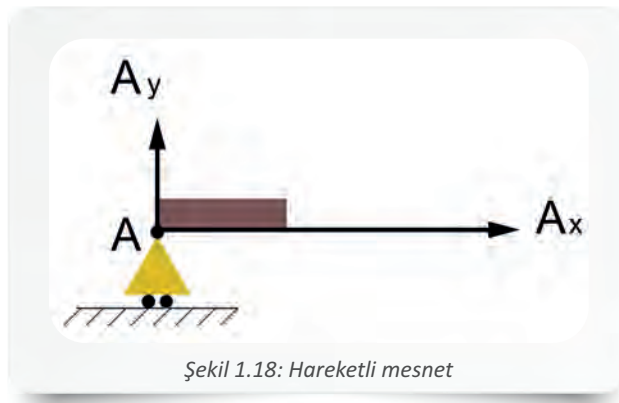
Örnek 8: Şekil 1.17'de görülen sistem, denge durumunda olduğuna göre G yükünü hesaplayınız.

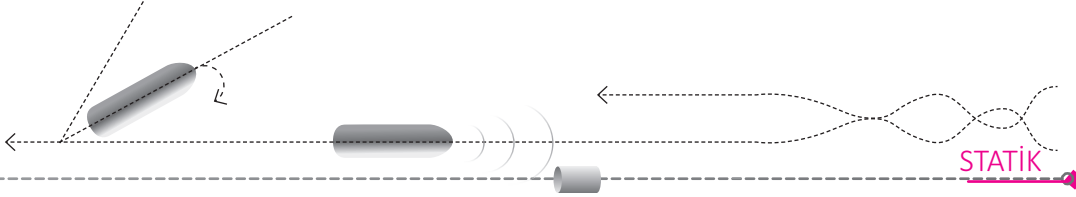


Verilenler:	Çözüm:
$\cos 70^\circ = 0,342$	$\Sigma M_A = 0$
$\sin 70^\circ = 0,94$	$-G \cdot 4,5 + F_1 \cdot 3 + F_2 \cdot \sin \alpha \cdot 2 = 0$
$F_1 = 4000 \text{ N}$	$4000 \cdot 3 + 15000 \cdot 0,94 \cdot 2 = 4,5 \cdot G$
$F_2 = 15000 \text{ N}$	$12000 + 28200 = 4,5 \cdot G$
$G = ?$	$40200 = 4,5 \cdot G$
	$G = \frac{40200}{4,5}$
	$G = 8933,33 \text{ N}$ olur.

2.2. Hareketli Mesnetler

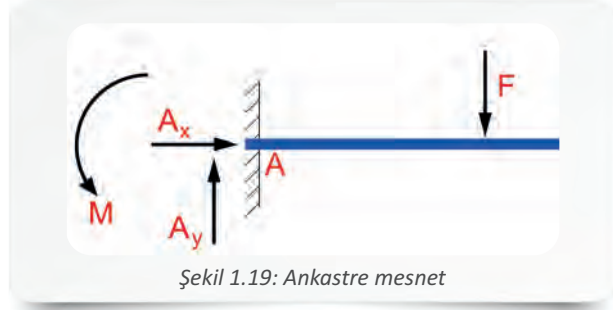
Kayar mesnet oldukları için sadece düşey konumda yük taşıyabilirler. Bu mesnetlerde düşey konumda harekete izin verilmediği için hareketin engellendiği yönde A_y tepkisi oluşur (Şekil 1.18).





2.3. Ankastre Mesnetler

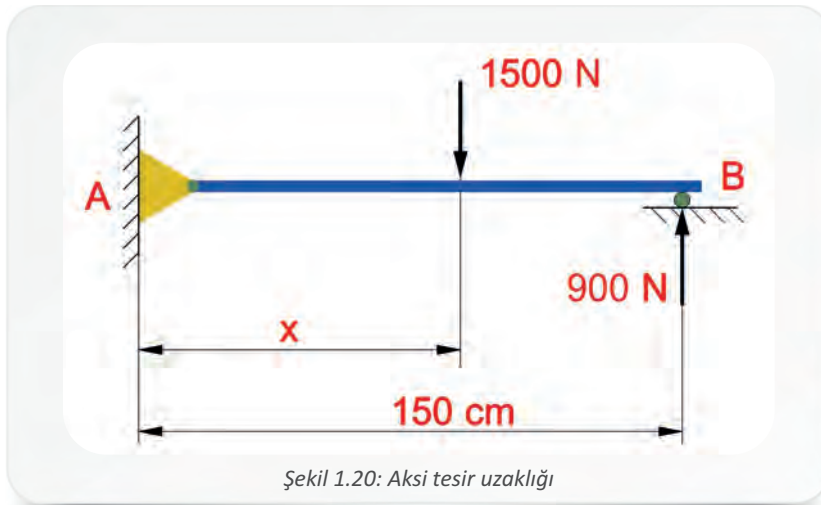
En sınırlayıcı mesnet türüdür. Bir ucu sabitlenmiş, diğer ucu serbest olan bu mesnetin her iki eksen üzerindeki hareketi ve dönmesi engellenmiştir. Dönme hareketi gibi x ve y eksenindeki hareketi de engellendiği için mesnette A_x , A_y ve M tepkileri meydana gelir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19: Ankastre mesnet

Mafsallı mesnetlerde iki bilinmeyenli denklemlerle hesaplama yapılır. Ankastre mesnetler ise üç bilinmeyenli oldukları için $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ ve $\Sigma M = 0$ denklemleri kurularak hesaplama yapılır.

Örnek 9: A noktasından sürtünmesiz pimle bağlı AB çubuğunun B dayanma yerindeki aksi tesirinin 900 N olabilmesi için 1500 N'luk kuvvetin A ucundan ne kadar uzağa etki ettirilmesi gerektiğini hesaplayınız (Şekil 1.20).



Şekil 1.20: Aksi tesir uzaklığı

Verilenler:

$$F_1 = 900 \text{ N}$$

$$F_2 = 1500 \text{ N}$$

$$L_1 = 150 \text{ cm}$$

$$L_2 = ?$$

Çözüm:

$$\Sigma M_A = 0 \text{ denkleminde}$$

$$1500 \cdot x - 900 \cdot 150 = 0$$

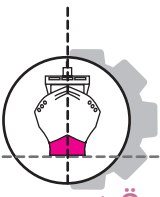
$$1500 \cdot x = 900 \cdot 150$$

$$1500 x = 135000$$

$$x = \frac{135000}{1500}$$

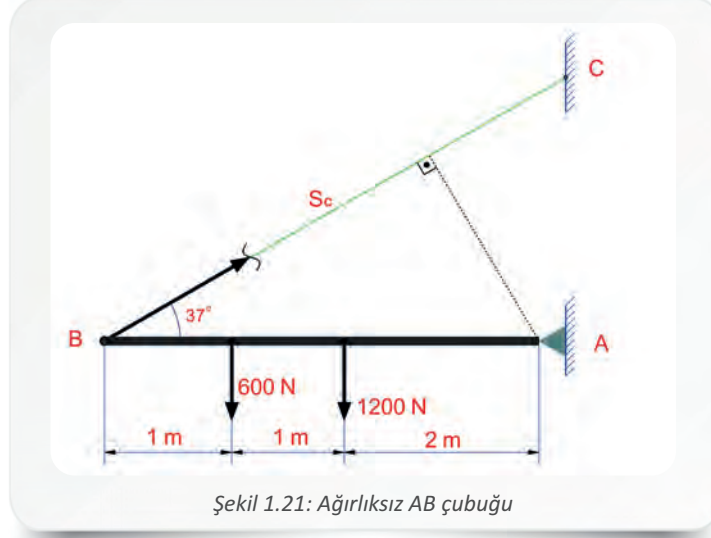
$$x = 90 \text{ cm bulunur.}$$





1. Öğrenme Birimi

Örnek 10: Ağırlessız AB çubuğu Şekil 1.21'de görüldüğü gibi yüklenmiştir. BC ipini geren kuvveti hesaplayınız.



Şekil 1.21: Ağırlessız AB çubuğu

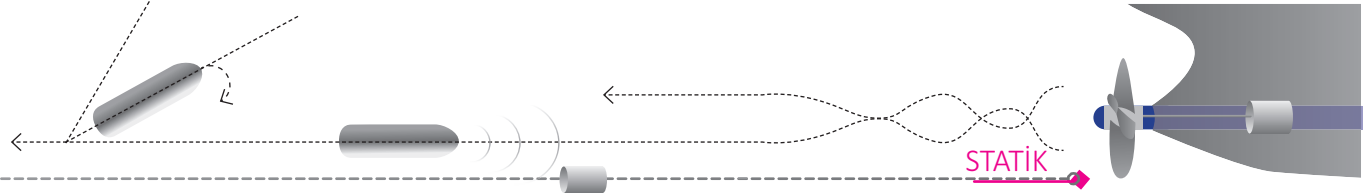
Verilenler:	Çözüm: Sistemin denge durumunu koruyabilmesi için, herhangi bir eksene göre toplam momentinin sıfıra eşit olması gerekir. Moment eksenini A'dan geçirelim.
$F_1 = 1200 \text{ N}$	$\Sigma M_A = 0$
$F_2 = 600 \text{ N}$	$1200 \cdot 2 + 600 \cdot 3 - S_c \cdot 4 \cdot \sin 37^\circ = 0$
$\sin 37^\circ = 0,6$	$S_c = \frac{2400 + 1800}{4 \cdot 0,6}$
	$S_c = \frac{4200}{2,4} = 1750 \text{ N}$ bulunur.

3. AĞIRLIK MERKEZİ BULMA

Bir cismin ağırlık merkezinin bilinmesi, cismin denge durumunun korunabilmesi açısından önemlidir. Cismin moleküllerine etkiyen yerçekimi kuvvetlerinin bileşkesinin tatbik noktasına **ağırlık merkezi** denir. Ağırlık merkezine kütle merkezi de denilebilir ama kütle merkezi yer çekiminden bağımsızdır. Bileşke kuvvet, cismin ağırlık merkezinden geçer (Şekil 1.22). Ağırlık merkezinden asılan cisim, her konumda dengededir. Ağırlık merkezi analitik ve grafik metotlar kullanılarak bulunabilir.



Şekil 1.22: Ağırlık merkezi



3.1. Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması

Cisimler uzunluk, genişlik ve derinliği olan üç boyutlu nesnelere oldukları için ağırlık merkezlerinin uzaydaki yeri x , y ve z koordinatlarına göre belirlenmelidir.

Homojen bir cismin ağırlık merkezi bulunurken geometrik şekli dikkate alınır. Simetrik cisimlerde ise ağırlık merkezi, simetri eksenlerinin kesiştiği noktadır. Cismi meydana getiren malzemenin simetrik ve homojen (türdeş) olmaması durumunda cismin ağırlık merkezi, yoğun olan tarafta bulunur.

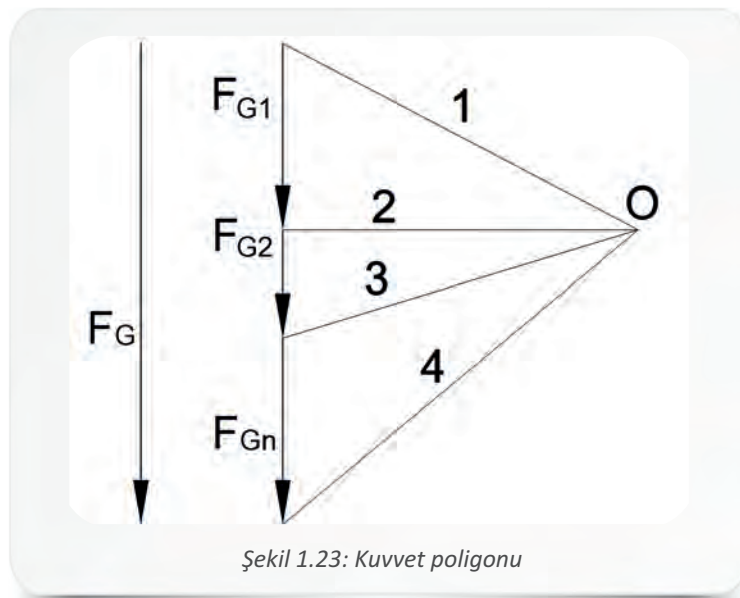
- **Çizgilerin ağırlık merkezi:** Cisim, tel çubuk şeklindeyse ağırlık merkezi çubuğun boyuna bağlı olarak bulunur.
- **Yüzeylerin ağırlık merkezi:** Sac, levha, ince plaka gibi kalınlıkları ihmal edilebilecek cisimlerin ağırlık merkezi, iki boyutlu bir cisimmiş gibi düşünülerek hesaplanır.
- **Hacimlerin ağırlık merkezi:** Cismin hacmi dikkate alınarak da ağırlık merkezi hesaplanabilir. Üç boyutlu cisimlerde ağırlık merkezi bulunurken cismin hacmi, ağırlık yerine kullanılabilir.

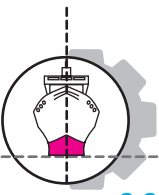
3.2. Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması

Aynı düzlem üzerinde yer alan paralel kuvvetlerin bileşkesi hesaplanırken grafik metot kullanılır. Bu metot, kuvvet poligonu ve ip poligonu olmak üzere iki aşamadan oluşur.

3.2.1. Kuvvet Poligonu

Bileşkenin şiddetini, yönünü ve doğrultusunu gösterir (Şekil 1.23).

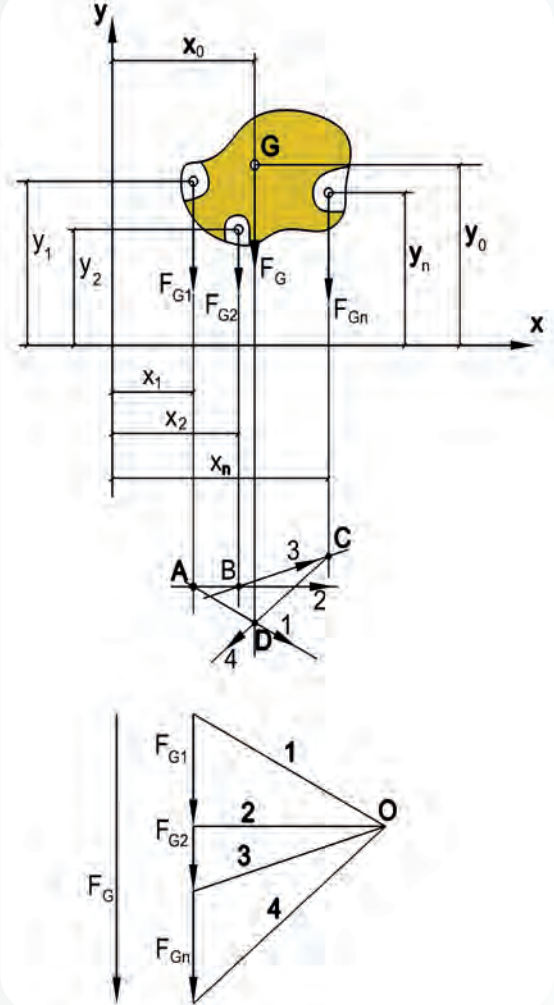




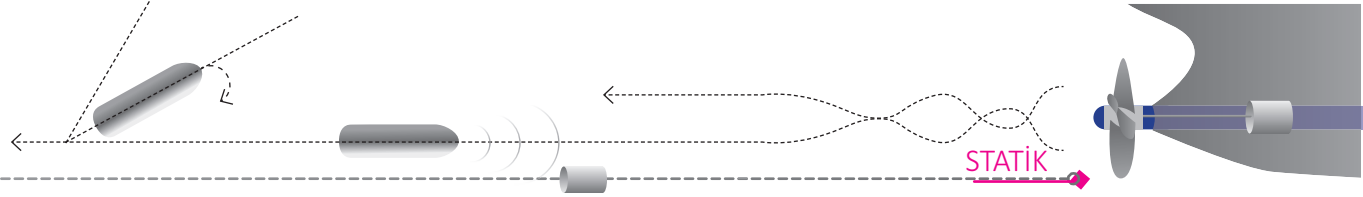
3.2.2. İp Poligonu

Bu yöntemin uygulanabilmesi için önce kuvvet poligonu çizilir. Ardından cisme etkiyen kuvvetler belirli bir ölçek ile uç uca eklenerek bileşke kuvvet (F_G) bulunur. Poligon dışındaki herhangi bir yerden bir O noktası belirlenerek F_{G1} , F_{G2} ve F_{Gn} kuvvetleri sırası ile başlangıç ve bitiş noktalarından O noktası ile birleştirilir (Şekil 1.24). Birleştirme sonucunda oluşan çizgilere **ışın** denir. İp poligonu aşağıdaki adımlar izlenerek oluşturulur.

- Kuvvet poligonunda bir kuvveti çevreleyen ışınlar, ip poligonunda aynı kuvvet üzerinde kesişirler (Şekil 1.24). Cisme etkiyen F_{G1} kuvvetinin düşey çizgisi üzerinde bir A noktası belirlenir. Kuvvet poligonunda F_{G1} e ait olan 1 ve 2 numaralı ışınlar, ip poligonunda A noktasından geçerler. Buna göre, kuvvet poligonu üzerindeki 1 numaralı ışına paralel olmak üzere A noktasından geçen bir doğru çizilir.
- Daha sonra 2 numaralı ışına paralel ve A noktasından geçen bir doğru çizilir. 2 numaralı ışın aynı zamanda F_{G2} ye ait olduğundan doğru uzatılır ve F_{G2} kuvvetinin düşey çizgisi ile kesiştirilerek B noktası elde edilir.
- F_{G2} ye ait olan 3 numaralı ışın da kendisine paralel olacak ve B noktasından geçecek şekilde çizilir. 3 numaralı ışın aynı zamanda F_{Gn} kuvvetine de ait olduğu için uzatılarak F_{Gn} kuvvetinin düşey çizgisi ile kesiştirilir ve elde edilen C noktasından kuvvet poligonundaki 4. ışına paralel olan bir doğru çizilir.
- 1 ve 4 numaralı ışınlar, aynı zamanda F_G yi sınırladıkları için uzatılarak kesiştirilir ve D noktası bulunur. Cismin ağırlık merkezi D noktasından geçen düşey çizgi üzerindedir. Ağırlık merkezinin tam yerinin bulunabilmesi için kuvvetler çokgeninin y koordinatı tarafından uygulanması gerekir. Buradan elde edilecek çizgi ile daha önce bulunan ve D noktasından geçen çizginin kesiştiği nokta, uygulama noktasıdır.



Şekil 1.24: İp poligonu

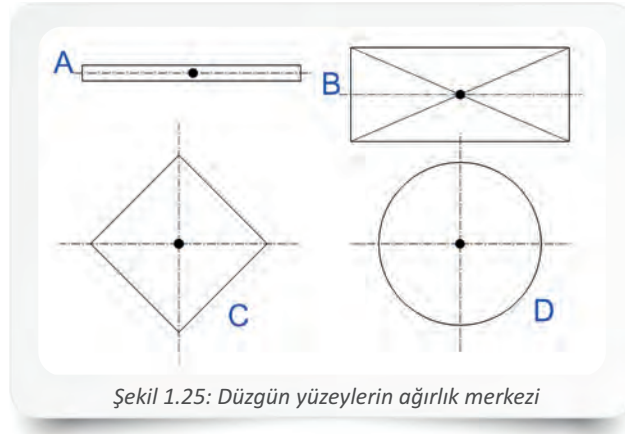


3.3. Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

Cisimlerin ağırlık merkezi yüzeylerine göre belirlenecekse cisimler iki boyutlu olarak incelenir. Düzgün, içi boş, katlanmış veya bileşik yüzeylerin ağırlık merkezleri farklı yöntemlerle bulunur.

3.3.1. Düzgün Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

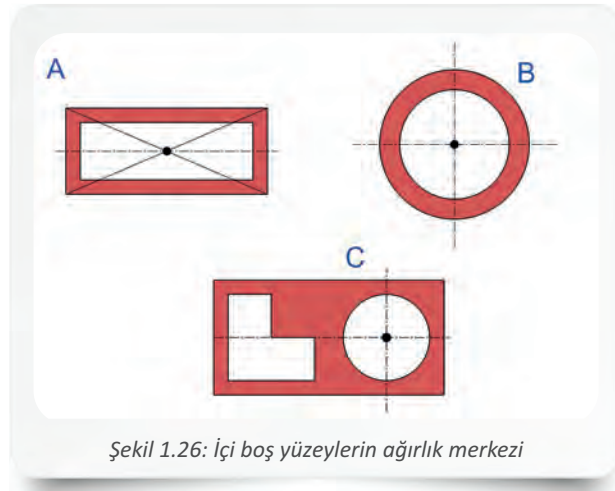
Kare, dikdörtgen, eşkenar dörtgen gibi düzgün yüzeylerin ağırlık merkezi, simetri eksenlerinin kesiştiği nokta üzerindedir. İnce ve düzgün bir çubuğun ağırlık merkezi çubuğun orta noktasıdır. Dairenin ağırlık merkezi ise eksen çizgilerinin kesiştiği merkez noktasıdır (Şekil 1.25).



Şekil 1.25: Düzgün yüzeylerin ağırlık merkezi

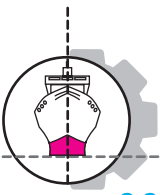
3.3.2. İçi Boş Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

Düzgün şekilli içi boş yüzeylerin ağırlık merkezleri de simetri eksenlerinin kesiştiği nokta üzerindedir. Dairenin ağırlık merkezi, dairenin merkez noktasıdır. Ağırlık merkezinin uygulama noktası cismin boşaltılmış kısmına gelse bile burası etki ettiği nokta olarak kabul edilir. Boşaltılan kısmın simetrik olmaması durumunda ağırlık merkezi grafik veya analitik metotla bulunur ve boşaltılan kısımlar denklemde negatif (-) olarak işaretlenir. Cismin ağırlık merkezi, dolu olan kısma doğru kayar (Şekil 1.26).



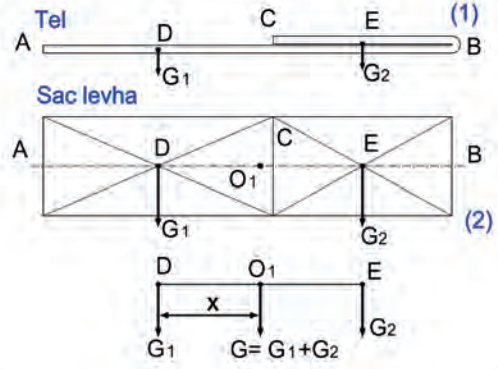
Şekil 1.26: İçi boş yüzeylerin ağırlık merkezi





3.3.3. Üst Üste Katlanmış Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

Tel çubuk, sac levha gibi cisimler katlanırsa katlanan kısımda ağırlık farkı oluşur. Bu nedenle üst üste katlanmış yüzeylerin ağırlık merkezi hesaplanırken cismin ağırlığı esas alınır. Cisme etki eden kuvvetlerin bileşkisi bulunur, grafik ve analitik metot uygulanarak hesaplama yapılır. Bu yöntemler yerine daha pratik bir şekilde hesaplama yapılabilmesi için katlanmış yüzeyler, vektörel bir çizgi ile ifade edilerek $G_1 \cdot DO_1 = G_2 \cdot EO_1$ denklemi kullanılabilir (Şekil 1.27).

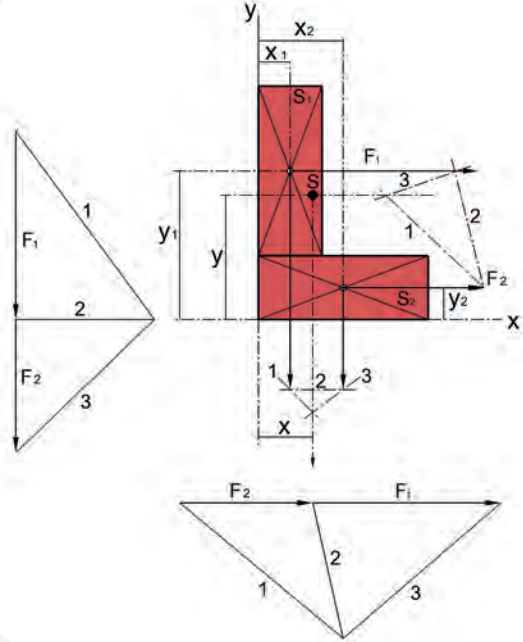


Şekil 1.27: Üst üste katlanmış yüzeylerin ağırlık merkezi

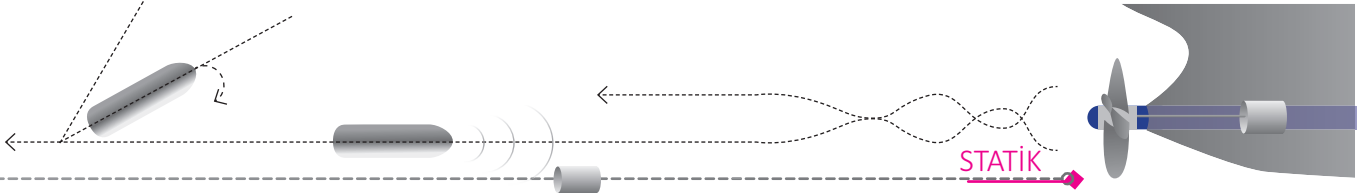
3.3.4. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması

Bileşik veya düzgün olmayan yüzeylerin ağırlık merkezleri grafik metotla (Şekil 1.28) bulunurken şu işlem basamakları izlenir.

- Bileşke cismi meydana getiren düzlemsel yüzey, basit yüzeylere ayrılarak ağırlık merkezleri işaretlenir.
- Ayrılan her basit yüzeyin alanı ile doğru orantılı kuvvetler seçilir.
- Seçilen bu kuvvetler, birbirleri ile paralel olacak şekilde ait oldukları merkez noktalara tatbik ettirilir.
- Geometrik metot uygulanarak bu kuvvetlerin bileşkeleri ve doğrultuları bulunur.
- Basit yüzeylerin alanları ile doğru orantılı seçilmiş olan kuvvetler, uygulama noktaları ve şiddetleri aynı kalacak şekilde herhangi bir açı ile döndürülür (Şekil 1.28'de 90° ile döndürülmüştür).
- Kuvvetlerin bileşkeleri ve bileşke kuvvetin doğrultusu tekrar bulunur.
- İki bileşkenin doğrultusunun kesişme yeri ağırlık merkezini verir.



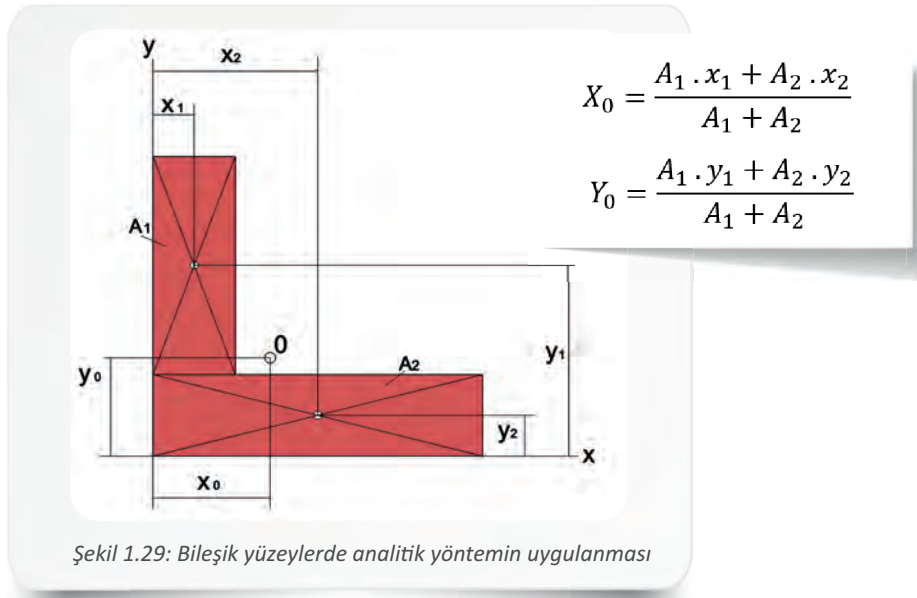
Şekil 1.28: Bileşik yüzeylerde grafik metot uygulanması



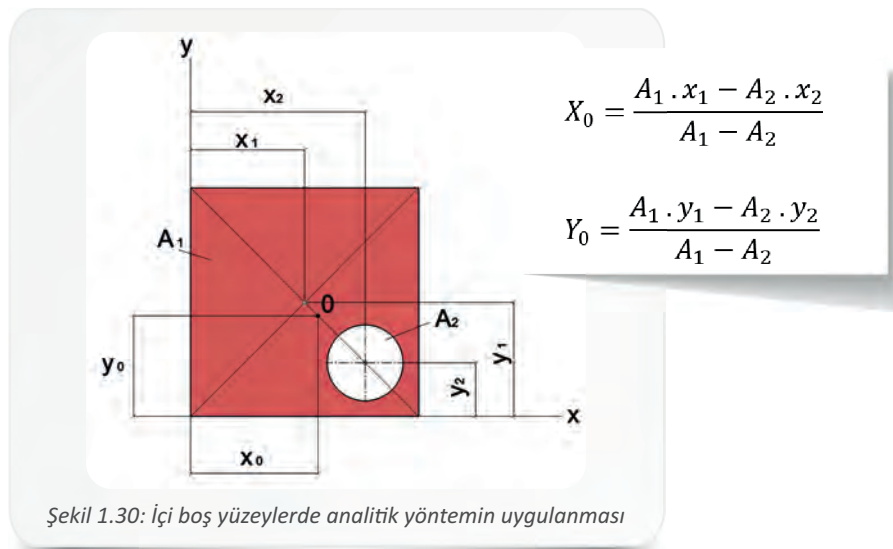
3.3.5. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması

Bileşik veya düzgün olmayan yüzeylerin ağırlık merkezlerinin analitik metotla bulunması için aşağıdaki işlem basamakları izlenir.

- Bileşke cismi meydana getiren geometrik şekillerin alanları (A_1, A_2) bulunur.
- Bulunan alanlar, ağırlık merkezlerinin y eksenine uzaklığı ile çarpılarak toplanır.
- Bulunan toplam değer ($A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2$) bileşke yüzeyin alanına ($A_1 + A_2$) bölüldüğünde ağırlık merkezinin x eksenine uzaklığı bulunur.
- Aynı işlem x eksenine göre yapılarak y eksenine uzaklığı hesaplanır (Şekil 1.29).



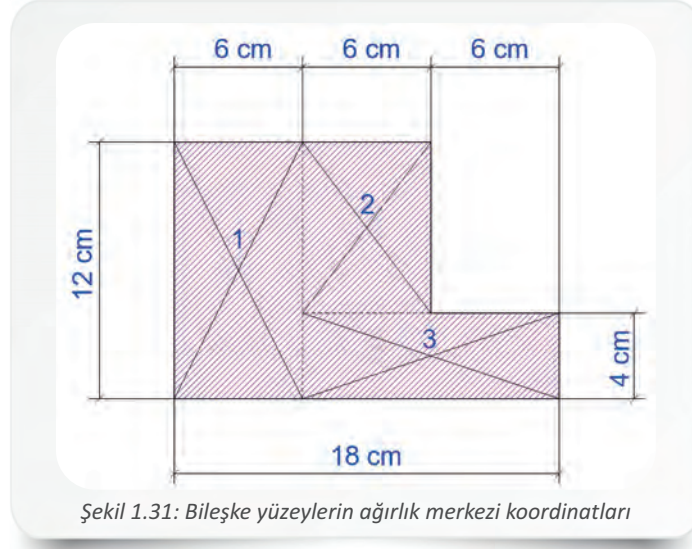
- Bileşke cisimlerin içi boş yüzeylerden oluşması durumunda boşaltılan kısımlar denklemden negatif (-) olarak işaretlenir (Şekil 1.30).





1. Öğrenme Birimi

Örnek 11: Şekildeki bileşke yüzeylerin ağırlık merkezi koordinatlarını hesaplayınız (Şekil 1.31).



Şekil 1.31: Bileşke yüzeylerin ağırlık merkezi koordinatları

Verilenler:

$$x_1 = 3 \text{ cm}$$

$$x_2 = 9 \text{ cm}$$

$$x_3 = 12 \text{ cm}$$

$$y_1 = 6 \text{ cm}$$

$$y_2 = 8 \text{ cm}$$

$$y_3 = 2 \text{ cm}$$

Çözüm:

$$A_1 = 6 \cdot 12 = 72 \text{ cm}^2 \quad A_2 = 6 \cdot 8 = 48 \text{ cm}^2 \quad A_3 = 4 \cdot 12 = 48 \text{ cm}^2$$

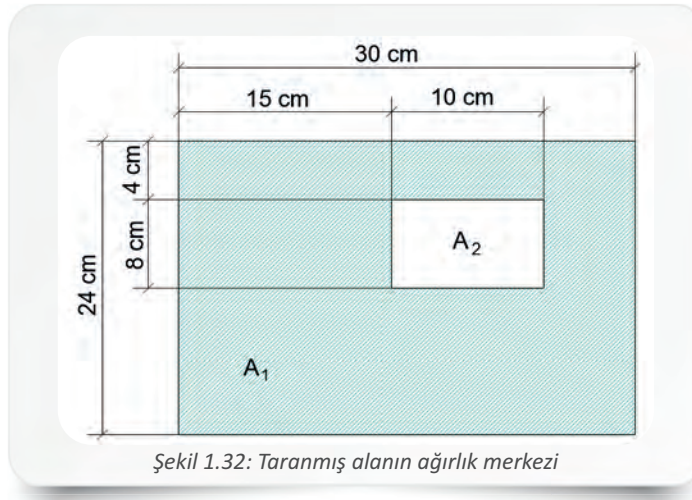
$$X_0 = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$X_0 = \frac{72 \cdot 3 + 48 \cdot 9 + 48 \cdot 12}{72 + 48 + 48} = \frac{216 + 432 + 576}{168} = \frac{1124}{168} = 6,69 \text{ cm olur.}$$

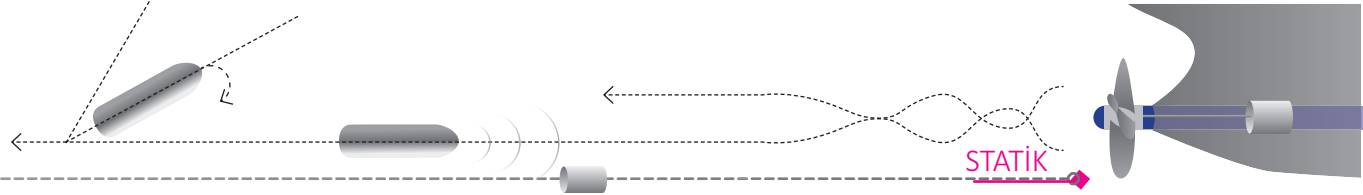
$$Y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$Y_0 = \frac{72 \cdot 6 + 48 \cdot 8 + 48 \cdot 2}{72 + 48 + 48} = \frac{432 + 384 + 96}{168} = \frac{912}{168} = 5,42 \text{ cm olur.}$$

Örnek 12: Şekildeki taranmış alanın ağırlık merkezinin koordinatlarını hesaplayınız (Şekil 1.32).

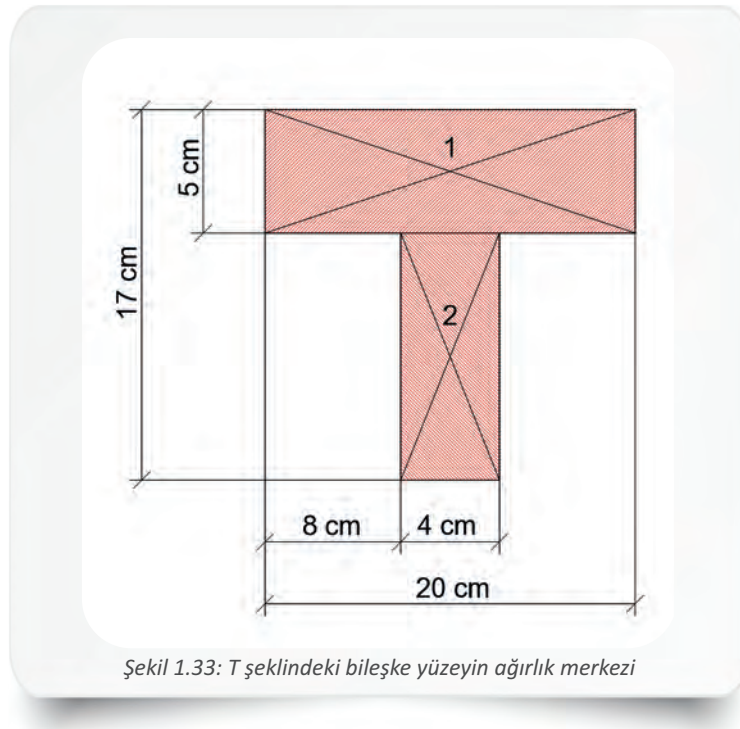


Şekil 1.32: Taranmış alanın ağırlık merkezi



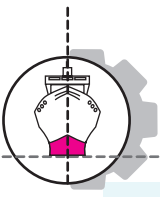
Verilenler:	Çözüm:
$x_1 = 15 \text{ cm}$	$A_1 = 30 \cdot 24 = 720 \text{ cm}^2$ $A_2 = 8 \cdot 10 = 80 \text{ cm}^2$
$x_2 = 20 \text{ cm}$	$X_0 = \frac{A_1 \cdot x_1 - A_2 \cdot x_2}{A_1 - A_2} = \frac{720 \cdot 15 - 80 \cdot 20}{720 - 80} = \frac{10800 - 1600}{640} = \frac{9200}{640} = 14,37 \text{ cm olur.}$
$y_1 = 12 \text{ cm}$	
$y_2 = 16 \text{ cm}$	$Y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 - A_2 \cdot y_2}{A_1 - A_2} = \frac{720 \cdot 12 - 80 \cdot 16}{720 - 80} = \frac{8640 - 1280}{640} = \frac{7360}{640} = 11,5 \text{ cm olur.}$

— Örnek 13: Şekil 1.33'te görülen T şeklindeki bileşik yüzeyin ağırlık merkezi koordinatlarını hesaplayınız.



Verilenler:	Çözüm:
$x_1 = 10 \text{ cm}$	$A_1 = 5 \cdot 20 = 100 \text{ cm}^2$ $A_2 = 12 \cdot 4 = 48 \text{ cm}^2$
$x_2 = 10 \text{ cm}$	
$y_1 = 14,5 \text{ cm}$	$X_0 = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2}{A_1 + A_2} = \frac{100 \cdot 10 + 48 \cdot 10}{100 + 48} = \frac{1000 + 480}{148} = \frac{1480}{148} = 10 \text{ cm olur.}$
$y_2 = 6 \text{ cm}$	$Y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{100 \cdot 14,5 + 48 \cdot 6}{100 + 48} = \frac{1450 + 288}{148} = \frac{1738}{148} = 11,74 \text{ cm olur.}$





A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Eksene veya noktaya göre momentin değeri, kuvvetin büyüklüğü ile kuvvet kolunun çarpımına eşittir.
2. () Cismin değişmez madde miktarına ağırlık denir.
3. () Momentin oluşabilmesi için cisme etki eden kuvvetin doğrultusu, döndürme noktasının dışından geçmelidir.
4. () İnce ve düzgün bir çubuğun ağırlık merkezi çubuğun orta noktasıdır.

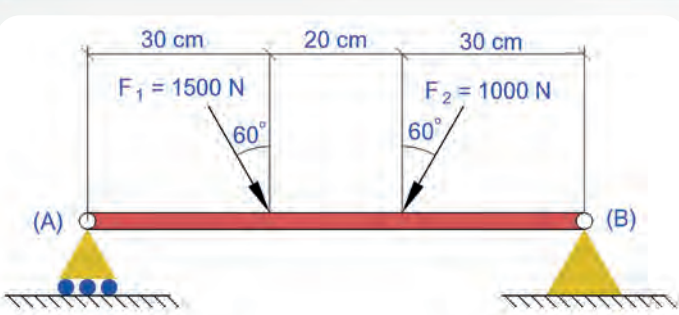
B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Kuvvetler etkisindeki cisimlerin denge durumunu inceleyen bilim dalına denir.
2. Şiddetleri eşit, birbirine paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin meydana getirdiği sisteme denir.
3. Bir cismin, dış kuvvetlerin etkisi altında ötelenmesini ve dönmesini engellemek için kullanılan dayanak veya sabit bağlantılara adı verilir.
4. Cismin moleküllerine etkileyen yerçekimi kuvvetlerinin bileşkesinin tatbik noktasına denir.
5. Kuvvetin cisim üzerindeki döndürme etkisine denir.

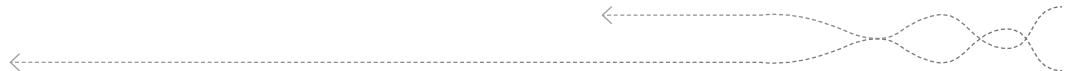
C) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak çözünüz.

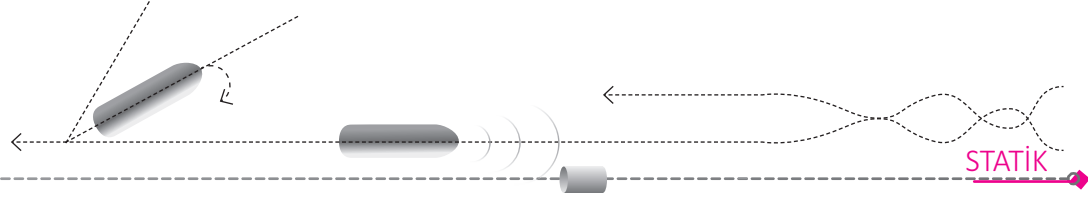
1. Bir öğrenci silindir kapağı montajını 100 cm uzunluğunda bir tork anahtarı ile 450 N'luk kuvvet uygulayarak yapmaktadır. **Bu durumda civata üzerinde meydana gelecek momenti hesaplayınız.**

2. Şekildeki bir ucu kayar mesnet, diğer ucu sabit mesnetli olan AB çubuğu her biri yatay düzlemle 60° lik bir açı yapan F_1 (1500 N) ve F_2 (1000 N) kuvvetlerinin etkisindedir. **AB çubuğunda oluşan mesnet tepkilerini hesaplayınız** (Şekil 1.34).



Şekil 1.34: AB çubuğunda oluşan mesnet tepkileri



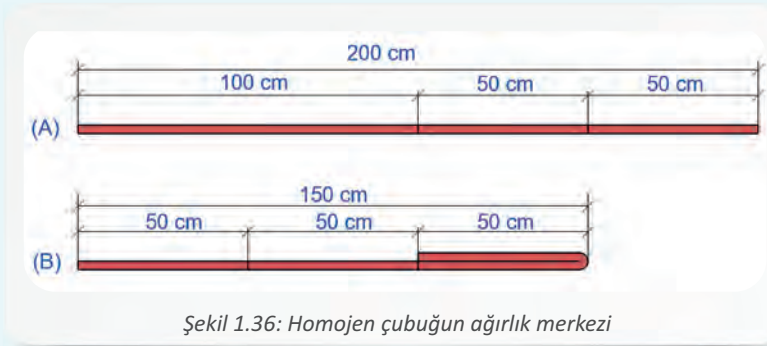


3. Şekildeki AB çubuğuna 4000 N'luk kuvvet etki ettirilmiştir. B mesnedindeki aksi tesiri hesaplayınız (Şekil 1.35).



4. Şekil 1.36'da 200 cm uzunluğunda homojen bir çubuk görülmektedir. Buna göre:

- a) Çubuğun ağırlık merkezini hesaplayınız.
b) Şekildeki çubuk (B durumunda gösterildiği gibi) katlandığında oluşacak ağırlık merkezini hesaplayınız.

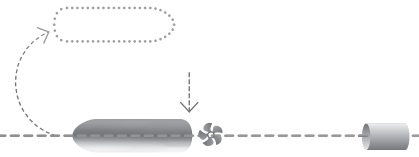


5. Şekil 1.37'deki taramış alanın ağırlık merkezi koordinatlarını hesaplayınız.

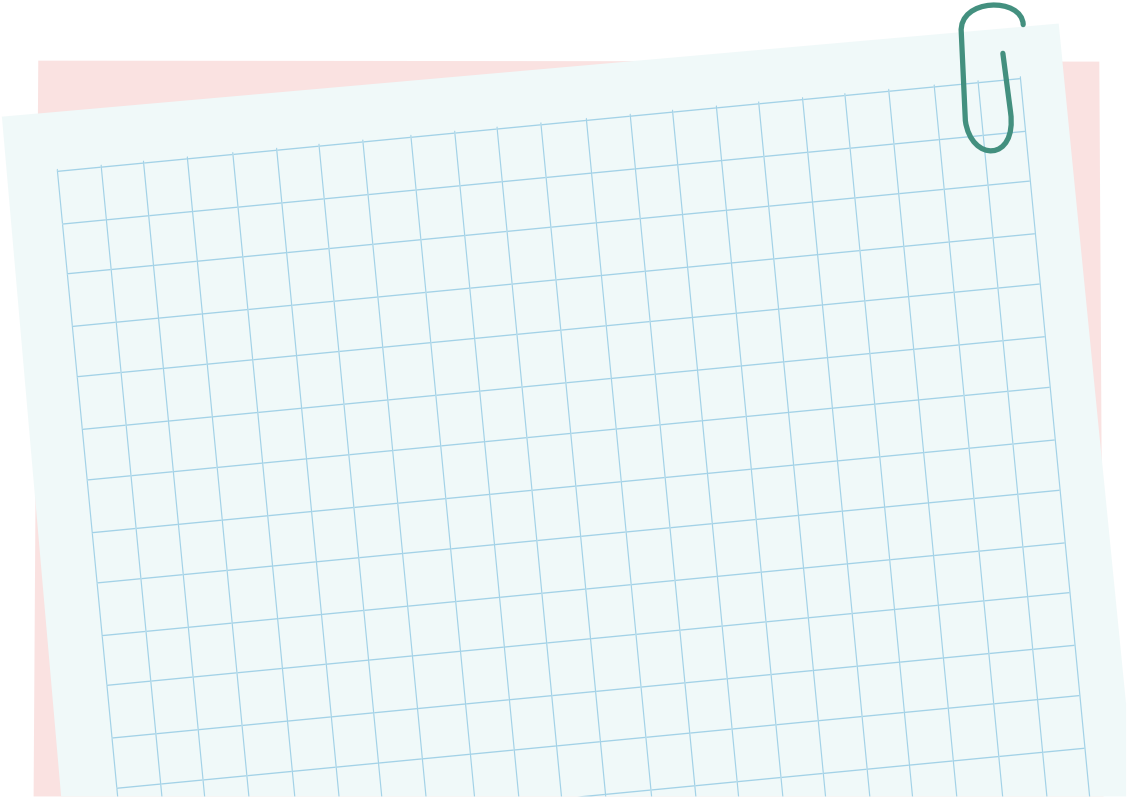
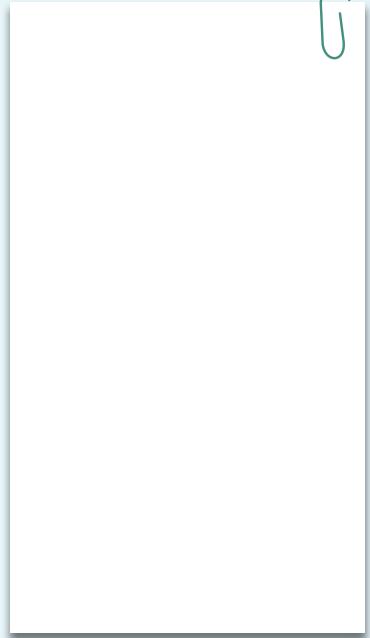
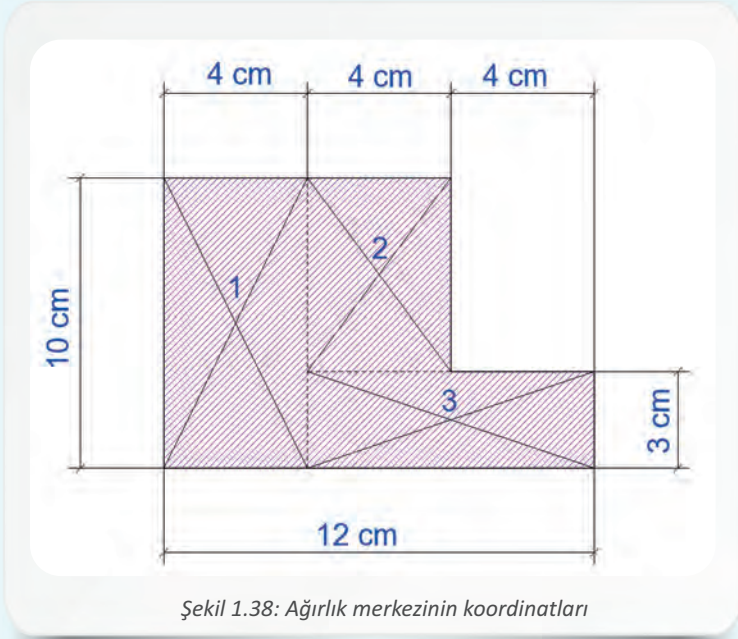




1. Öğrenme Birimi



6. Şekil 1.38'deki taralı alanın ağırlık merkezinin koordinatlarını bulunuz.





2. ÖĞRENME BİRİMİ

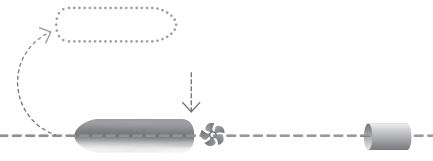
DAYANIM

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. DAYANIM VE GERİLİM
2. BASILMA DAYANIMI (BASMA GERİLİMİ)
3. ÇEKİLME DAYANIMI
4. KESİLME DAYANIMI
5. EĞİLME DAYANIMI
6. BURULMA DAYANIMI
7. BURKULMA (FLAMBAJ) DAYANIMI



KOD=16586



HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. Binaların deprem gibi olağanüstü yük ve zorlamalar karşısında dayanıklı olması ve böylece yaşanabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi için neler yapılabileceği hakkında fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Bina yapımında kullanılan inşaat malzemelerinin önemini ve bu malzemeler seçilirken nelere dikkat edilmesi gerekebileceğini tartışınız.

DAYANIM

Makine işletim sistemlerindeki parçalar; çalışma koşullarına bağlı olarak çekilme, burulma, basılma, eğilme ve kesilme gibi dış kuvvetlerin etkisinde kalır. Bu dış kuvvetlerin iç kuvvetlerden daha büyük olması durumunda ise parçalarda bazı şekil ve özellik kayıpları meydana gelir. Makine parçalarının dış kuvvetlerden mümkün olduğu kadar az etkilenmesi ve görevlerini uzun süreler boyunca en yüksek verimle yerine getirmesi istenir. Dış kuvvetlere dayanıklı sistem ve mekanizmalar yapılarak çalışma ortamlarında can ve mal kayıplarının önüne geçilebilir. Bir gemi adamının gemi makinelerini oluşturan parçaların dayanma sınırlarını ve dış kuvvetlere gösterdikleri tepkileri bilmesi, bu parçaların bakım, onarım ve değişimlerinin zamanında yapılması için önemlidir. Bu bilgiler sayesinde hem makinelerin daha uzun süre ve yüksek verimle çalışması hem de iş yeri güvenliği sağlanabilir.

1. DAYANIM VE GERİLİM

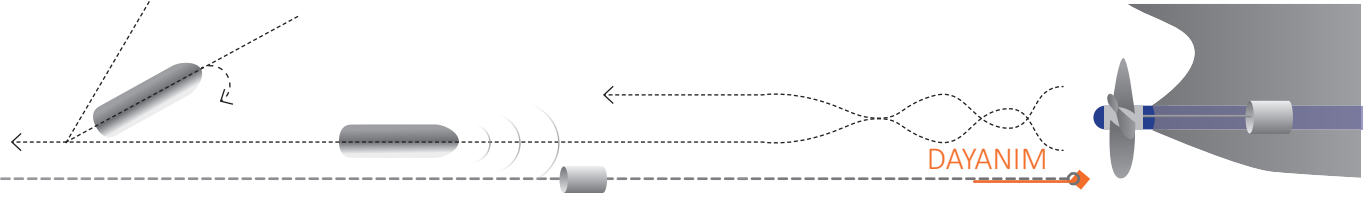
Taşıyıcı sistemler, yapılar ve makine elemanları pek çok dış kuvvete maruz kalır. Bu sistemlerin ve katı cisimlerin dış yüklere dayanıklı olup olmadığını, dayanıklı olabilmesi için seçilmesi gereken malzemenin cinsinin ve boyutlarının nasıl olması gerektiğini inceleyen bilim dalına **dayanım** denir. Çeşitli dış kuvvetlere maruz kalan malzemelerin dayanım ve gerilim hesaplamaları yapılırken kullanılan semboller ve yazılışları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Dayanım ve Gerilim Hesaplamaları Yapılırken Kullanılan Semboller ve Açılımları

Küçük harf	Büyük harf	Açılımları
α	A	Alpha
β	B	Beta
γ	Γ	Gamma
δ	Δ	Delta
ϵ	E	Epsilon
ζ	Z	Zeta
η	H	Eta
ι	I	Iota
κ	K	Kappa
λ	Λ	Lamda
μ	M	Mu

Küçük harf	Büyük harf	Açılımları
ν	N	Nu
ξ	Ξ	Xi
\omicron	O	Omicron
π	Π	Pi
ρ	P	Rho
σ	Σ	Sigma
τ	T	Tau
υ	Υ	Upsilon
χ	X	Chi
ψ	Ψ	Psi
ω	Ω	Omega





Sistemin kararlı ve güvenli çalışabilmesi için malzemeler bütünlüklerini koruyabilmeli, eğilmemeli ya da kırılmamalıdır. Görsel 2.1'de dış yüklere maruz kalarak kırılan bir pervane ve shaft görülmektedir.



Görsel 2.1: Dış yüklere maruz kalarak kırılan pervane ve shaft

1.1. Cisimlere Uygulanan Dış Yükler

Dış kuvvetlerin etkisi altında kalan bir cismin moleküllerinin birbirine yaptığı etkiye **iç kuvvet** denir. İç kuvvetlerin oluşmasına sebep olan dış yükler statik, periyodik (dinamik) ve olağanüstü yükler ile zorlamalardır.

1.1.1. Statik Yükler

Cıvata, mil, saplama gibi makine parçalarına veya yapı elemanlarına yavaşça ve daha önce belirlenen sabit değerlerle etki eden yüklerdir.

1.1.2. Periyodik (Dinamik) Yükler

Makine elemanlarına etkileyen yüklerin şiddetleri ve yönleri zamanla değişiyorsa bu yükler **periyodik (dinamik) yükler** denir. Sistemin çalışma şartlarına bağlı olarak sıcaklık etkisi ile cisimlerde uzama ve kısalmalar meydana gelir. Geniş aralıklı sıcaklık farklarının neden olduğu genleşmeler yüzünden cisimde şekil değişimleri oluşur. Tren raylarının sıcaklık etkisiyle genleşmesi bu duruma örnek olarak verilebilir.

Sıcaklık etkisi ile oluşan yük (F) sonucu, cisimde meydana gelen gerilme aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

σ = Gerilme (daN/cm ²) α = Uzama katsayısı (birimsiz) E = Elastiklik modülü (daN/cm ²) Δt = ($t_2 - t_1$) Sıcaklık farkı (°C)	$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t$
--	--

1.1.3. Zorlamalar ve Olağanüstü Yükler

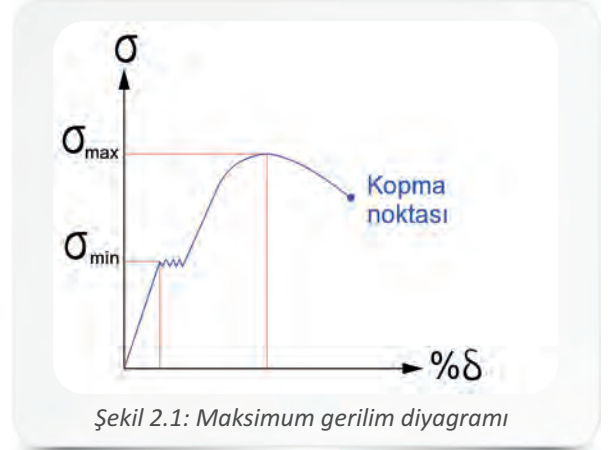
Sisteme, yapıya veya makine elemanlarına çok kısa zaman aralığında etkileyen yüklerdir. Dalga, anlık manevra ya da pervanenin deniz üstüne çıkması, gemide karşılaşılabilecek zorlamalara ve olağanüstü yükler örnek verilebilir.





1.2. Gerilim (Gerilme)

Sistemin ya da katı cismin birim kesit alanına etki eden iç kuvvete **gerilim (gerilme)** denir. Gerilim σ (**sigma**) işareti ile gösterilir. Dış kuvvetlerin etkisi altında olan cismin kesit alanındaki iç kuvvetlerin hepsine birden ise **toplam gerilim** denir. Makine elemanlarının maruz kaldığı dış yükler, elemanların içinde gerilmeler oluşturur. Gerilmeler yüzünden cismin içyapısında meydana gelen yıpranmalar, cismin zamanla uzamasına ve yorularak kopmasına neden olur. Kopmadan az önceki en büyük gerilime **maksimum gerilim** denir ve bu σ_{\max} sembolü ile gösterilir. Malzemeye uygulanan çekme kuvveti ile malzemede oluşan gerilme ve yüzdelik uzama eğrisi maksimum gerilim diyagramı ile gösterilir (Şekil 2.1). Makinedeki dişli, mil ve bağlantı elemanı gibi parçaların, taşıyıcı sistemlerin ve yapıların etkisi altında kaldıkları dış yüklere dayanabilecek şekilde tasarlanması, iş güvenliği açısından önemlidir.



Şekil 2.1: Maksimum gerilim diyagramı

1.2.1. Emniyet Katsayısı

Malzemelerin üzerlerine yüklenen kuvvetleri emniyetli bir şekilde karşılayarak bütünlüklerini uzun süre koruyabilmesi için malzemeye verilen tolerans değerine **emniyet katsayısı (E.K.S.)** denir. Can güvenliğinin önemli olduğu mekanizmalarda ve yapılarda bu katsayının daha yüksek olmasına dikkat edilir.

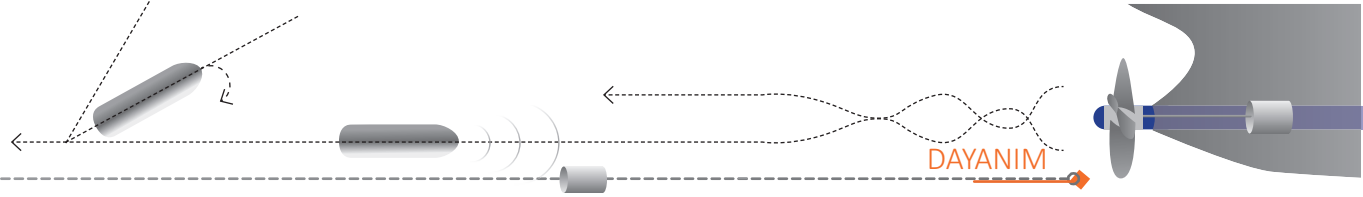
Makine parçaları üretilirken hammadde olarak kullanılan malzemelerin içyapısında çatlaklar veya boşluklar oluşabilir. Bunun yanında malzemelerin dayanıklılık analizlerinde ve malzemeye uygulanacak yüklemelerde hatalar yapılabilir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı makine elemanları her zaman kendileri için tehlikeli sayılan sınır değerlerin altında yüklenmelidir.

1.2.2. Emniyetli Gerilim

Malzemelerin kendilerine tesir eden dış kuvvetleri emniyetle taşıyabileceği ve bütünlüklerini koruyarak görevlerini aksatmadan sürdürebilecekleri gerilime **emniyetli gerilim** denir. Emniyetli gerilim aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

Emniyetli gerilim = $\frac{\text{Maksimum gerilim}}{\text{E.K.S.}}$	σ_{zem} = Emniyetli çekme gerilimi	$\sigma_{\text{zem}} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\text{E.K.S.}}$
Emniyetli gerilim = (N/mm ² , daN/cm ²)	σ_{max} = Maksimum çekilme gerilimi	
E.K.S. = Emniyet katsayısı	τ_{zem} = Emniyetli kesilme gerilimi	$\tau_{\text{zem}} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\text{E.K.S.}}$
	τ_{max} = Maksimum kesme gerilimi	





Örnek 1: Maksimum kopma gerilmesi 6000 daN/cm^2 olan malzemeden bir makine elemanı yapılacaktır. Emniyet katsayısının 6 olması durumunda emniyetli gerilim değeri kaç olur?

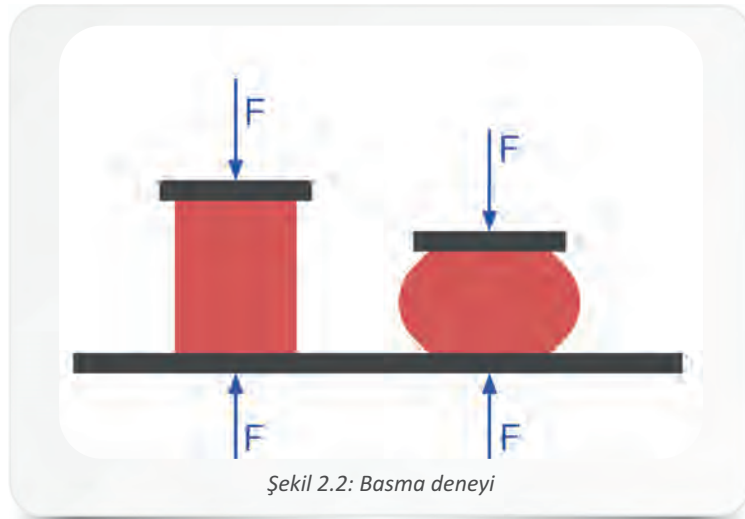
Verilenler:	Çözüm:
$\sigma_{\max} = 6000 \text{ daN/cm}^2$	$\sigma_{\text{zem}} = \frac{\sigma_{\max}}{\text{E.K.S.}}$
E.K.S.= 6	
$\sigma_{\text{zem}} = ?$	$\sigma_{\text{zem}} = \frac{6000}{6} = 1000 \text{ daN/cm}^2 \text{ dir.}$

2. BASILMA DAYANIMI (BASMA GERİLİMİ)

Bir malzeme iki ucundan kuvvet uygulanarak eksenini doğrultusunda sıkıştırıldığında malzemenin iç yapısında bir basınç oluşur. Oluşan bu iç kuvvetlerin malzemenin birim alanına oranına **basılma dayanımı (basma gerilimi)** denir. Basılma dayanımı σ sembolü ile gösterilir. Basılma dayanımı hesaplamalarında cisme etki eden kuvvetin basınç olduğunun belirtilmesi için bu sembol, Almancada basınç anlamına gelen **drucl** (dırakt) kelimesinin baş harfi ile birlikte σ_d şeklinde kullanılır. Basılma dayanımı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

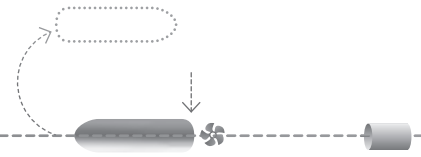
$F = \text{Dış kuvvet (N, daN)}$	$\sigma_d = \frac{F}{A}$
$A = \text{Kesit alanı (mm}^2, \text{cm}^2)$	
$\sigma_d = \text{Basılma dayanımı (daN/cm}^2, \text{N/mm}^2)$	

Bir malzemenin küçük bir kesiti alınarak bu kesite basma kuvveti uygulanır ve malzemenin basılma dayanımı ölçülür. Şekil 2.2'de basılma gerilimine maruz kalan yumuşak bir cismin şekil değişimi görülmektedir.



Şekil 2.2: Basma deneyi



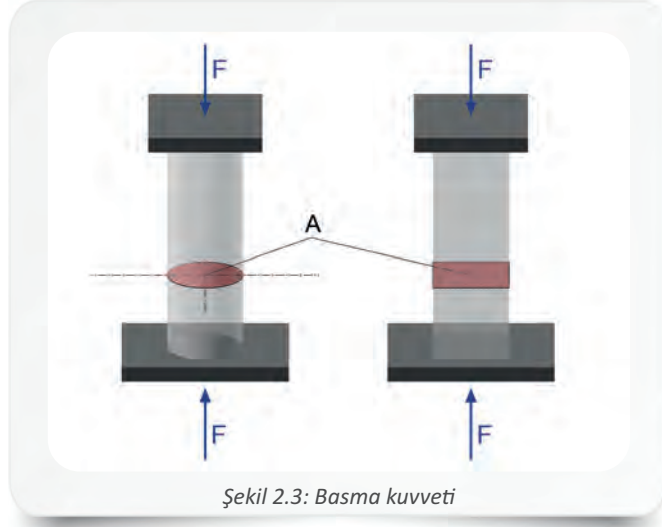


2.1. Basılmaya Zorlanan Elemanlar

Bir cisme eksenini doğrultusunda bir kuvvet etki ettiğinde cisim kısalmaya çalışır ve cisimde Şekil 2.3'teki gibi dik gerilmeler meydana gelir. Pres milleri, piston kolları ve kalıp zımbaları bu şekilde çalışan elemanlara örnek verilebilir. Cisimlerin birbiri üzerine yaptığı etki ile meydana gelen basınç, cisimde ezilmelere neden olur. Basınç ve ezilmelerde, temas yüzeyinin konumu ve büyüklüğü önemlidir. SI birim sistemine göre basınç birimleri ve aralarındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Bar}$$

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ daN/cm}^2$$



Şekil 2.3: Basma kuvveti

2.2. Basılma Dayanımı Hesaplamaları

Basılma dayanımı, kuvvetlerin cisme etki etme şekline göre hesaplanır. Kuvvet, cisme doğrudan veya dolaylı şekilde etki edebilir. Ayrıca kuvvetin yönü, miktarı ve etki ettiği alan da cismin basılma dayanımına etki eder.

2.2.1. Direkt Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması

Cisme etki eden yükler ya da dış kuvvetler, cisme eksenini doğrultusunda ve doğrudan etki ediyorsa bu duruma **direkt yükleme** denir. Direkt yüklere göre basılma dayanımı hesaplamalarında, basma gerilimi bağıntısı kullanılır.

Örnek 2: Kare kesitli betonarme bir kolonun kenar uzunluğu 30 cm'dir. Kolona binen yük 18000 daN olduğuna göre, kolonda meydana gelen basılma dayanımını hesaplayınız.

Verilenler:

$$F = 18000 \text{ daN}$$

$$a = 30 \text{ cm}$$

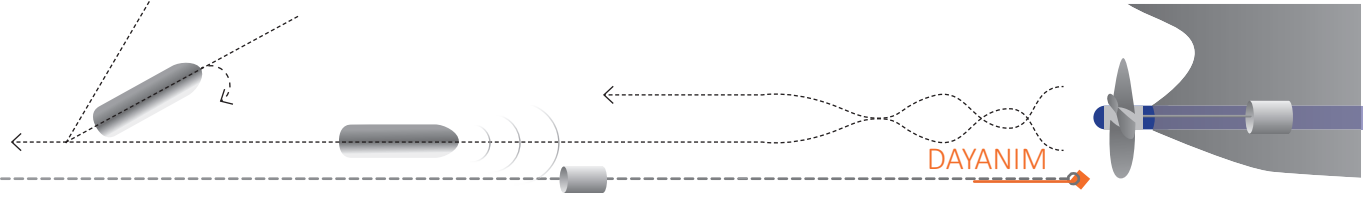
$$\sigma_d = ?$$

Çözüm:

$$A = a \cdot a = a^2 = 30^2 = 900 \text{ cm}^2$$

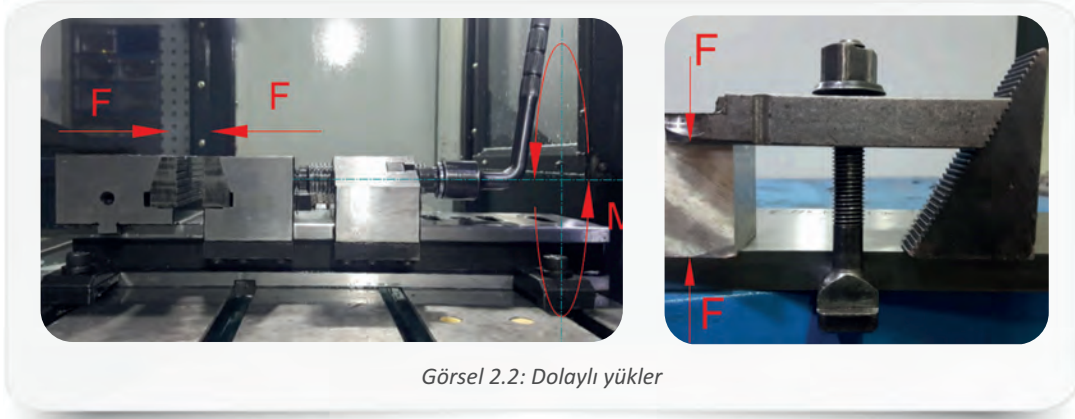
$$\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{18000}{900} = 20 \text{ daN/cm}^2 \text{ dir.}$$





2.2.2. Dolaylı Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması

Makine içerisinde meydana gelen hareket enerjisi ve üretilen kuvvet; mil, kol, dişli gibi makine parçaları aracılığıyla kullanım yerine iletilir. İletim sırasında, üretilen kuvvetin tamamı sisteme aktarılamaz. Örneğin Görsel 2.2'deki gibi bir mngenenin döndürme koluna uygulan moment, mngenenin çeneleri arasına sıkıştırılan parçanın yüzeylerine F kuvveti şeklinde etki eder.



Görsel 2.2: Dolaylı yükler

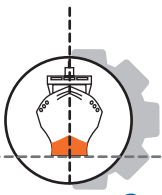
Örnek 3: Şekil 2.4'te yarı çapı 50 mm olan dairesel kesitli dökme demire etkiyen kuvvet ve etkilediği kesit gösterilmektedir. Dökme demirde meydana gelen basma gerilmesini hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacak.).



Şekil 2.4: Dökme demire etkiyen açılı yük

Verilenler:	Çözüm:
$F = 9000 \text{ daN}$	$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 5^2 = 3,14 \cdot 25 = 78,5 \text{ cm}^2$
$r = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$	$F_{\text{dik}} = F \cdot \sin 45^\circ = 9000 \cdot 0,707 = 6363 \text{ daN}$
$\sin 45^\circ = 0,707$	$\sigma_d = \frac{F_{\text{dik}}}{A} = \frac{6363}{78,5} = \mathbf{81,057 \text{ daN/cm}^2 \text{ dir.}}$
$\sigma_d = ?$	





3. ÇEKİLME DAYANIMI

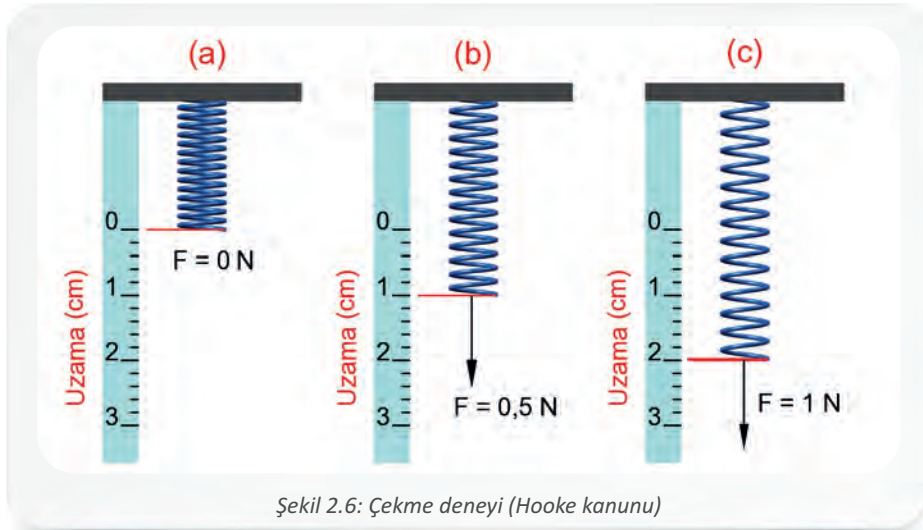
Bir cisme etki eden kuvvetler eksen boyunca birbirinden uzaklaşırlarsa cisimde çekme ya da çekilme meydana gelir (Şekil 2.5). Meydana gelen dayanıma da **çekilme dayanımı** denir. Çekilme dayanımı, cismin kesit alanına (A) ve molekül yapısına bağlıdır.



3.1. Hooke Kanunu

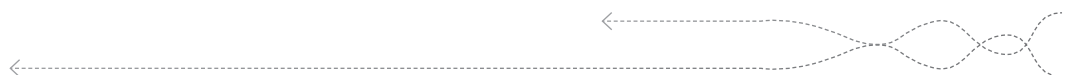
Cisme uygulanan kuvvet ile cismin uzaması arasındaki ilk bağıntı, İngiliz bilim insanı Robert Hooke tarafından keşfedildi. Hooke kanununa göre, malzemenin elastiklik sınırları içerisinde kalması koşuluyla bir cismi gerdirmek için kullanılan kuvvet ile cisimde meydana gelen şekil değiştirme (uzama) doğru orantılıdır.

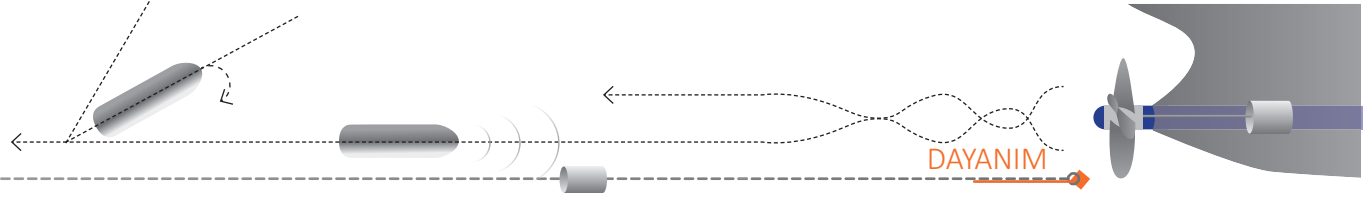
Makine elemanlarının üretiminde kullanılacak malzemelerde görülebilecek şekil değişimleri ve mekanik özelliklerin tespiti için en sağlıklı sonuçlar standart çubukların kullanıldığı **çekme deneyi**nde alınır. Şekil 2.6'daki gibi bir cetvel yardımı ile yapılan çekme deneyinde yayda meydana gelen şekil değişimleri görülmektedir.



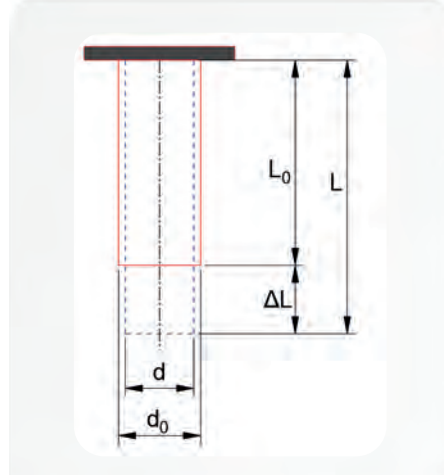
- Birinci durumda (a), ucunda herhangi bir yük bulunmayan ($F = 0 \text{ N}$) yayda etki kuvveti oluşmaz yani uzama görülmez.
- İkinci durumda (b), yayın ucuna etki eden kuvvet ($F = 0,5$), yayın uzamasına sebep olur (1 cm).
- Üçüncü durumda (c) ise yayın ucuna etkiyen kuvvetle ($F = 1 \text{ N}$) doğru orantılı olarak uzama miktarının da (2 cm) arttığı görülür.

Çekme deneyi ile malzemenin elastiklik modülü, çekme dayanımı ve malzemenin uzaması gibi değerler elde edilir.





Elastiklik sınırları içerisinde olmak şartıyla malzemede meydana gelen şekil değişiklikleri ile bunlara karşılık gelen gerilme miktarları doğru orantılıdır. Bu oran malzemenin **elastiklik modülünü** verir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Malzemede şekil değişikliği

Elastiklik modülü aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

ΔL = Toplam uzama (mm, cm)

F = Eksenel kuvvet (N, daN)

L_0 = İlk boy (mm, cm)

A_0 = Kesit alanı (mm², cm²)

E = Elastiklik modülü (N/mm², daN/cm²)

$$\Delta L = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot A_0}$$

$$E = \frac{\sigma_E}{\delta_E} = \frac{F / A_0}{\Delta L / L_0}$$

Çekilmeye maruz kalan malzemenin boyu uzarken kesit alanı daralır. Malzemenin boyunun uzama miktarının malzemenin daralan enine oranı **Poisson oranı** olarak adlandırılır. Poisson oranı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

ΔL = Toplam uzama (mm, cm)

L_0 = İlk boy (mm, cm)

L = Son boy (mm, cm)

d_0 = İlk en (mm, cm)

d = Son en (mm, cm)

Δd = Daralma miktarı (mm, cm)

ν = Poisson oranı (0-0,5 arasındadır.)

δ = Boyca birim uzama

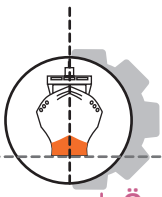
δ_1 = Ence birim daralma

$$\nu = \frac{-\delta_1}{\delta}$$

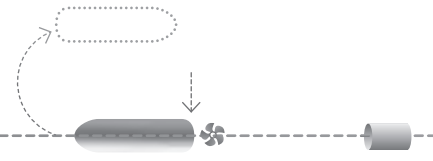
$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\delta_1 = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$$





2. Öğrenme Birimi



Örnek 4: Kenar uzunluğu 14 mm olan kare kesitli bir çubuk 21000 N'luk kuvvetle çekiliyor. Elastiklik modülü $2,1 \cdot 10^5$ N/mm² olan çubuğun uzama miktarı 10 mm olduğuna göre, çubuğun ilk boyunu hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$a = 14$ mm	$A = a^2 = 14^2 = 196$ mm ²
$F = 21000$ N	$\Delta L = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot A_0}$
$E = 2,1 \cdot 10^5$ N/mm ²	$10 = \frac{21000 \cdot L_0}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 196}$
$\Delta L = 10$ mm	
$L_0 = ?$	$L_0 = \frac{10 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 196}{21000} = 19600$ mm = 19,60 m bulunur.

3.2. Çekilmeye Zorlanan Elemanlar ve Çekilme Dayanımı Hesaplamaları

Kayışlar, zincirler, cıvatalar, çubuklar ve halatlar çekilmeye zorlanan elemanlardır. Çekilmeye zorlanan elemanlar üzerinde meydana gelen gerilmeler, malzemenin yüzey alanına göre değişkenlik gösterir.

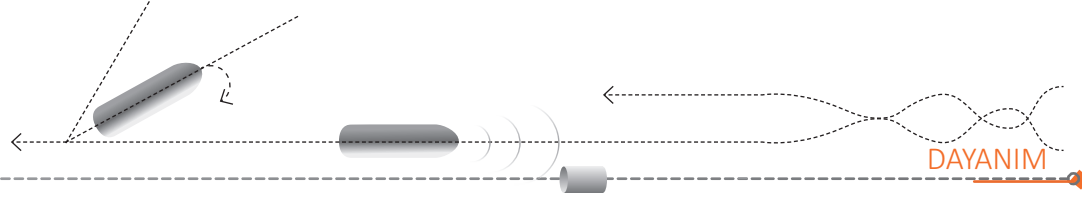
Örnek 5: Şekil 2.8'deki Fe 40 malzemesinden yapılmış olan askı çubuğunun çapı 18 mm'dir. Bu askı çubuğunun 5 emniyetle eksenini doğrultusunda taşıyabileceği yük kapasitesini hesaplayınız. (Fe 40 malzemesinin çekme dayanımı 40 daN/mm²dir, ve $\pi = 3,14$ alınacak.)



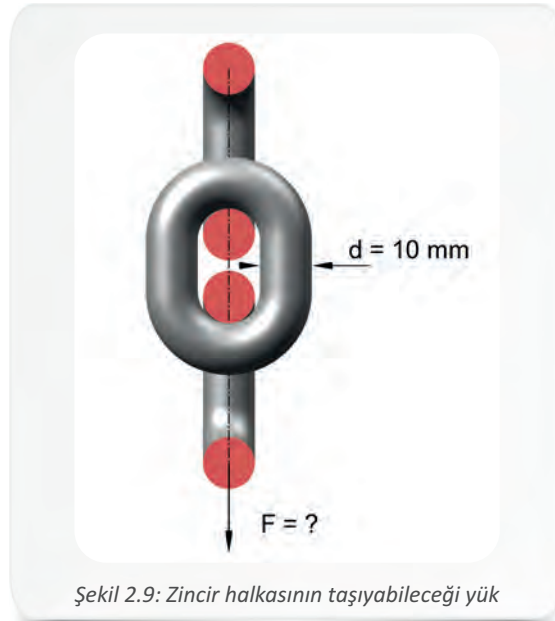
Şekil 2.8: Askı çubuğunun emniyetle taşıyabileceği yük

Verilenler:	Çözüm:
$d = 18$ mm	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 18^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 324}{4} = 254,34$ mm ² dir.
E.K.S. = 5	
Fe 40 = $\sigma_z = 40$ daN/mm ²	$\sigma_{zem} = \frac{\sigma}{E.K.S.} = \frac{40}{5} = 8$ daN/mm ²
$A = ?$	$\sigma_{zem} = \frac{F}{A}$
$F = ?$	$F = \sigma_{zem} \cdot A = 8 \cdot 254,34 = 2034,72$ daN olur.





Örnek 6: Şekil 2.9'daki zincir halkasının maksimum kopma gerilmesi 36 daN/mm^2 ve çubuk çapı 10 mm 'dir. Bu bilgilere göre zincir halkasının taşıyabileceği yükü hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacak.).



Şekil 2.9: Zincir halkasının taşıyabileceği yük

Verilenler:	Çözüm:
$d = 10 \text{ mm}$	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 100}{4} = 78,5 \text{ mm}^2 \text{ dir.}$
$\sigma_{\max} = \sigma_z = 36 \text{ daN/mm}^2$	Zincirlerde kuvvetin etki ettiği alan, zincirin yapıldığı çubuğun kesit alanının iki katı olduğu için gerilim formülünde A yerine 2A yazılmalıdır.
$A = ?$	$\sigma_z = \frac{F}{2 \cdot A}$
$F = ?$	$F = \sigma_z \cdot 2 \cdot A = 36 \cdot 2 \cdot 78,5 = 5652 \text{ daN olur.}$

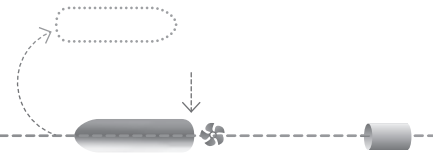
Örnek 7: Kopma gerilmesi 6000 daN/cm^2 olan bir civatanın emniyet katsayısı 5'tir. Civatanın kesit alanı $1,6 \text{ cm}^2$ olduğuna göre, bu civatanın emniyetle taşıyabileceği yük miktarını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$A = 1,6 \text{ cm}^2$	$\sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma_{\max}}{\text{E.K.S.}} = \frac{6000}{5} = 1200 \text{ daN/cm}^2 \text{ dir.}$
$\sigma_{\max} = 6000 \text{ daN/cm}^2$	$\sigma_{\text{em}} = \frac{F}{A}$
$\text{E.K.S.} = 5$	$F = \sigma_{\text{em}} \cdot A = 1200 \cdot 1,6 = 1920 \text{ daN bulunur.}$
$F_{\text{em}} = ?$	





2. Öğrenme Birimi



Örnek 8: Şekil 2.10'daki gibi bir telinin çapı 1,2 mm olan ve 120 telden meydana gelen çelik çekme halatın kopma dayanımı 180 daN/mm²dir. Buna göre çelik halatın 6 emniyet katsayısı ile taşıyabileceği yükü hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacak.).



Şekil 2.10: Çelik halatın taşıyabileceği yük miktarı

Verilenler:	Çözüm:
$d = 1,2 \text{ mm}$	Halatta kuvvetin etki ettiği toplam alan, halattaki her bir telin alanı ile tel sayısının çarpımına eşittir.
$\sigma_z = 180 \text{ daN/mm}^2$	$A = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 120 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 135,648 \text{ mm}^2$
E.K.S.= 6	$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_z}{E.K.S.} = \frac{180}{6} = 30 \text{ daN/mm}^2$
$n = 120$ (halattaki tel sayısı)	$\sigma_{zem} = \frac{F}{A}$
$\sigma_{zem} = ?$	$F = 30 \cdot 135,648 = \mathbf{4069,44 \text{ daN bulunur.}}$
$F = ?$	

4. KESİLME DAYANIMI

Zıt yönlü kuvvetler, parçanın eksenine dik durumda birbirine yaklaştığında makaslama yaparak kesilmeye neden olur. Parçada bu duruma karşı oluşan dayanıma ise **kesilme dayanımı** (kesilme gerilmesi/kayma gerilimi) denir. Kesilme dayanımı τ (**Tau**) ile gösterilir ve birimi **N/mm²**dir. Kesilme dayanımı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

τ = Kesilme dayanımı (kayma gerilimi) (N/mm²)

F = Kesme (kaydırma) kuvveti (N, daN)

A = Kesit alanı (mm², cm²)

τ_{em} = Emniyetli kayma gerilimi

τ_{max} = Kesilmeden önceki en büyük gerilim

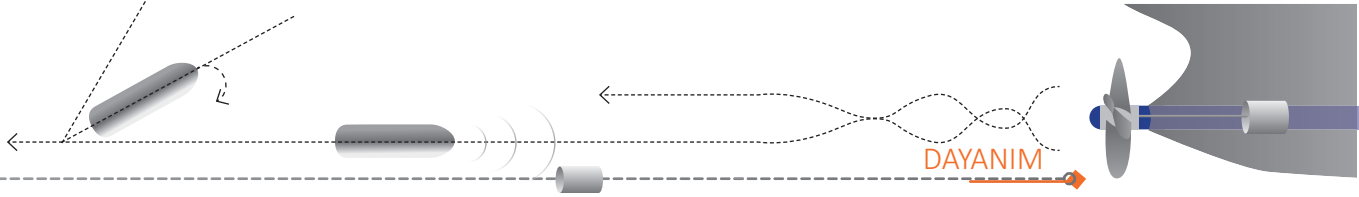
E.K.S. = Emniyet katsayısı

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{em} = \frac{\tau_{max}}{E.K.S.}$$

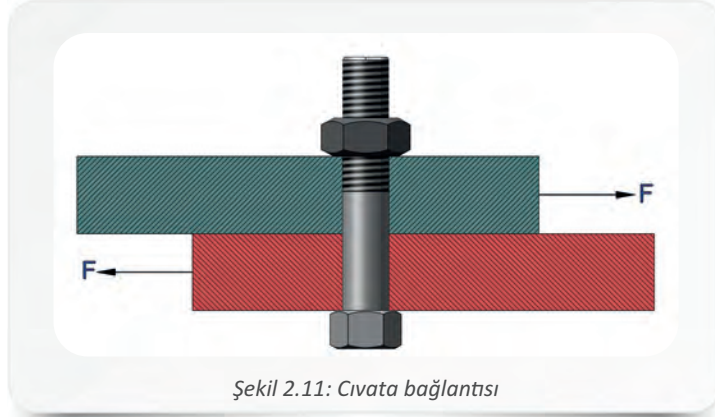
$$F_{em} = \tau_{em} \cdot A$$





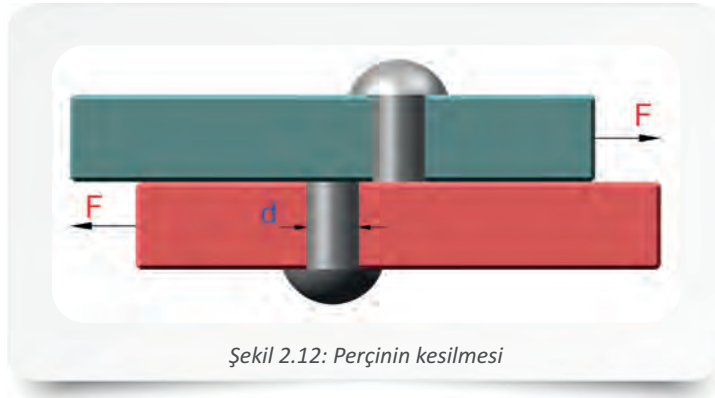
4.1. Kesilmeye Zorlanan Elemanlar ve Kesilme Dayanımının Hesaplanması

Perçin, perno ve radyal pim gibi birleştirme elemanları kesilmeye maruz kalan makine elemanlarıdır. Cıvatar ise hem çekilmeye hem de kesilmeye maruz kalır. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi bazı çelik yapılarda zıt yönlü kuvvetlerin etkisi altındaki yüzeyler birbiri üzerinde kaymaya çalışır. Bu esnada kayma yüzeyleri ile bu yüzeyleri birbirine bağlayan cıvatarların temas ettiği kısımlarda kesilme meydana gelir.



Şekil 2.11: Cıvata bağlantısı

Perçinli bağlantılarda bağlantının emniyeti için perçinin dayanıklı olması tek başına yeterli değildir, birbiri ile bağlanan yüzeylerin de dayanıklı olması gerekir. Bu bağlantılarda emniyet, perçin sayısı ve kesilen yüzey sayısına bağlıdır. Şekil 2.12’de perçinin kesilmesi görülmektedir.



Şekil 2.12: Perçinin kesilmesi

Perçinlerde meydana gelen kesme gerilmesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

τ = Kesilme dayanımı (kayma gerilimi) (N/mm^2 , daN/cm^2)

F = Kesme (kaydırma) kuvveti (N , daN)

A = Kesilmeye çalışılan toplam alan (mm^2 , cm^2)

τ_{em} = Emniyetli kayma gerilimi

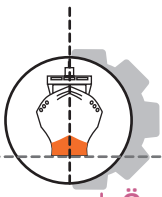
n = Perçin sayısı

i = Kesilmeye çalışılan yüzey sayısı

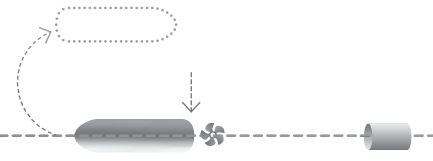
$$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{em}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n \cdot i$$





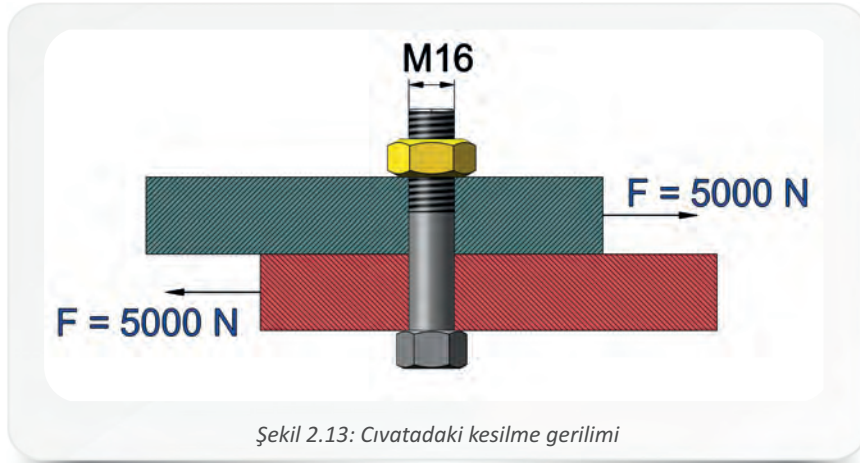
2. Öğrenme Birimi



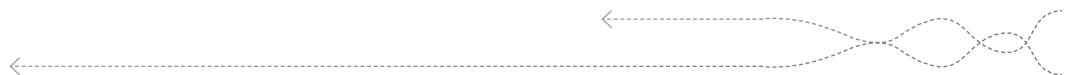
Örnek 9: 4 sıralı ve her sırasında her biri 12 mm çapında 5 perçin bulunan bir birleştirme işleminde emniyet gerilmeleri toplam 400 daN/cm²dir. Bu perçinlerin güvenle taşıyabileceği yükü hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacak.).

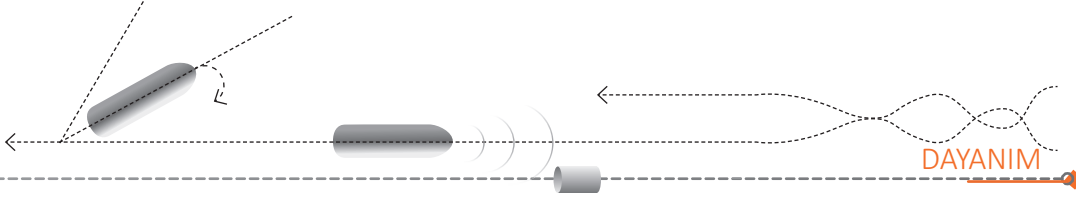
Verilenler:	Çözüm:
$d = 12 \text{ mm} = 1,2 \text{ cm}$	$A = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,44}{4} = 22,608 \text{ cm}^2 \text{ dir.}$
$\tau_{em} = 400 \text{ daN/cm}^2$	$\tau_{em} = \frac{F_{em}}{A}$
$n = 5 \cdot 4 = 20$	
$A = ?$	$F_{em} = \tau_{em} \cdot A = 400 \cdot 22,608 = 9043,2 \text{ daN bulunur.}$
$F_{em} = ?$	

Örnek 10: M16 ölçüsündeki cıvata iki parçayı Şekil 2.13'teki gibi birleştirmektedir. Parçalara kaydırma yönünde uygulanan kuvvet 5000 N olduğuna göre, makaslama bölgesindeki cıvata kesit alanını ve bu bölgedeki kesilme gerilimini hesaplayınız (M16 cıvatada dış üstü çapı 1,6 cm'dir, $\pi = 3,14$ kabul edilecektir.).



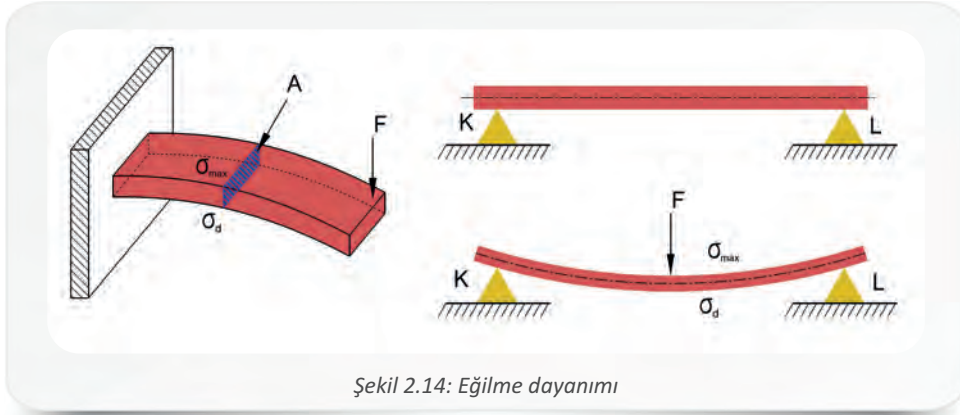
Verilenler:	Çözüm:
$d = 1,6 \text{ cm}$	$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,4701^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,161}{4} = 1,696 \text{ cm}^2$
$d_0 = d_2 = 1,4701 \text{ cm (bölüm çapı)}$	
$F = 5000 \text{ N}$	$\tau = \frac{F}{A_0} = \frac{5000}{1,696} = 2948,11 \text{ N bulunur.}$
$A_0 = ?$	
$\tau = ?$	



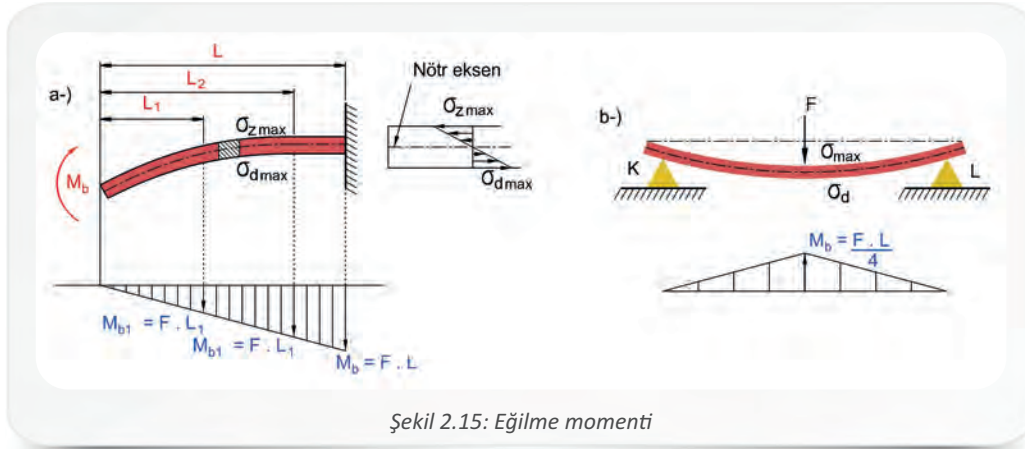


5. EĞİLME DAYANIMI

Şekil 2.14'teki gibi bir ya da daha fazla noktadan mesnetlenmiş bir cisme, boy eksenine dik şekilde kuvvet etki ettiğinde cisimde bir eğri boyunca şekil değişimi meydana gelir. Meydana gelen bu şekil değişimine **eğilme** denir. Eğilme cismin her yerinde görülür. Cisme etkiyen kuvvet mesnetlerden uzaklaştıkça cisimdeki eğilme miktarı artar.



Kiriş, mil, aks gibi bir yapı veya makine elemanını bükmeye çalışan dış kuvvetin ya da momentin etkisiyle elemanların iç yapısında oluşan gerilime **eğilme momenti** denir. Eğilme momenti, M_b ile gösterilir ve uygulanan kuvvetin kuvvet kolu ile çarpılmasıyla ($M_b = F \cdot L$) bulunur. Yapı ya da makine elemanlarına birden fazla kuvvetin değişik aralıklarla yüklenmesi ile oluşan eğilme, basit eğilme olmayacağı için eğilme momenti, diyagramlar çizilerek hesaplanır. Çizilen diyagramdaki kritik nokta ve karşısında bulunan maksimum moment, eğilme momenti olarak alınır (Şekil 2.15).



Eğilmeye zorlanan elemanların yapısı incelendiğinde elemanın iç kısmında liflerin kısaldığı ve basma gerilimi (σ_d) olduğu, elemanın dış kısmında ise liflerin uzaldığı ve çekme gerilimi (σ_b) olduğu görülür. Meydana gelen bu gerilimlerin kesite yayılı hâli, **eğilme gerilimini** oluşturur. Eğilme gerilimi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

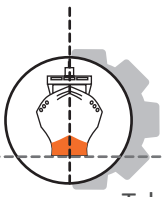
$$\sigma_b = \text{Eğilme gerilimi (daN/cm}^2\text{)}$$

$$M_b = \text{Eğilme momenti (daN} \cdot \text{cm)}$$

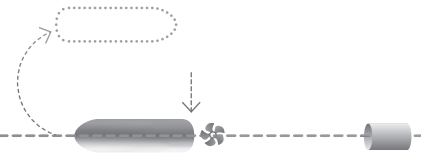
$$W = \text{Kesitin dayanım momenti (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$$




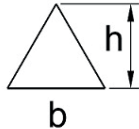

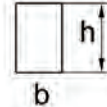



2. Öğrenme Birimi



Tablo 2.2'de temel şekillerin eğilme momentinin hesaplanması için ihtiyaç duyulan dayanım ve atalet momentleri verilmiştir.

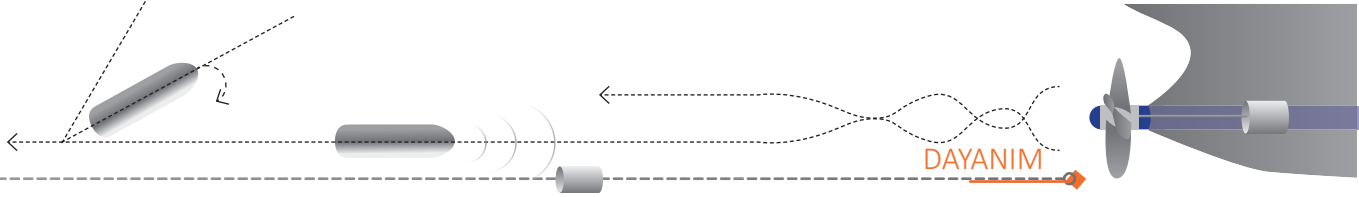
Tablo 2.2: Temel Şekillere Ait Dayanım ve Atalet Momentleri

Kesit	Dayanım momentini ($W = \text{cm}^3$)	Atalet momentini ($J = \text{cm}^4$)
 a	$\frac{a^3}{6}$	$\frac{a^4}{12}$
 b	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	$\frac{b \cdot h^3}{12}$
 d	$\frac{d^3}{10}$	$\frac{d^4}{20} \cong \frac{\pi \cdot d^4}{64}$
 b	$\frac{b \cdot h^2}{24}$	$\frac{b \cdot h^3}{36}$
 D d	$\frac{D^4 - d^4}{10 \cdot D}$	$\frac{D^4 - d^4}{20}$

Örnek 11: Çapı 10 cm, uzunluğu 100 cm olan dairesel kesitli bir mil, 12000 daN . cm'lik bir eğilme momentini ile zorlanmaktadır. Bu milin eğilme gerilmesini ve mile etkiyen kuvveti hesaplayınız.

Verilenler: d = 10 cm L = 100 cm $M_b = 12000 \text{ daN} \cdot \text{cm}$ $\sigma_b = ?$ F = ?	Çözüm: $W_b = \frac{d^3}{10} = \frac{10^3}{10} = 100 \text{ cm}^3$ $\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{12000}{100} = 120 \text{ daN/cm}^2 \text{ olur.}$ $M_b = F \cdot L$ $F = \frac{M_b}{L} = \frac{12000}{100} = 120 \text{ daN bulunur.}$
---	--



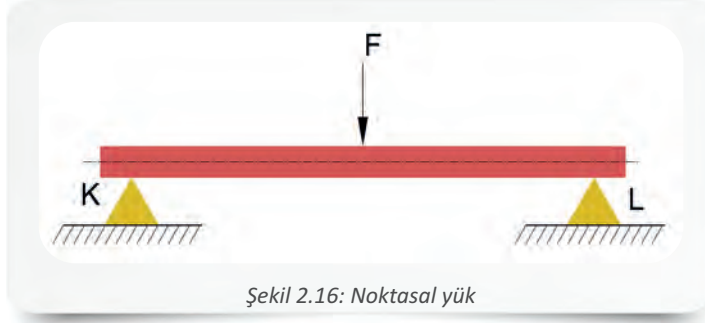


5.1. Eğilmede Yükleme Çeşitleri

Kiriş, mil, aks gibi yapı ve makine elemanları eksenlerine dik doğrultuda etkiyen yükler sebebi ile eğilmeye maruz kalır. Bu elemanları eğilmeye zorlayan yükleme çeşitleri; noktasal, yayılı ve karışık yüklerdir.

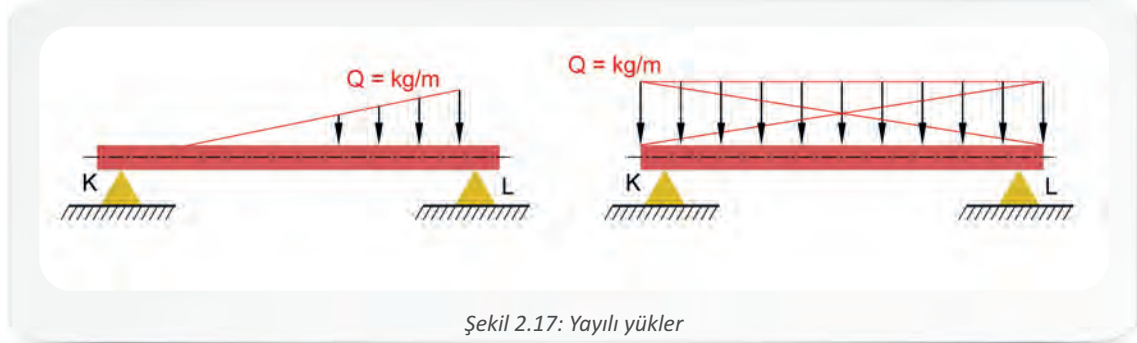
5.1.1. Noktasal Yükler

Yapı ve makine elemanlarının eksenlerine dik doğrultuda ve tek bir noktadan etki eden yüklemeye **noktasal yük** denir (Şekil 2.16).



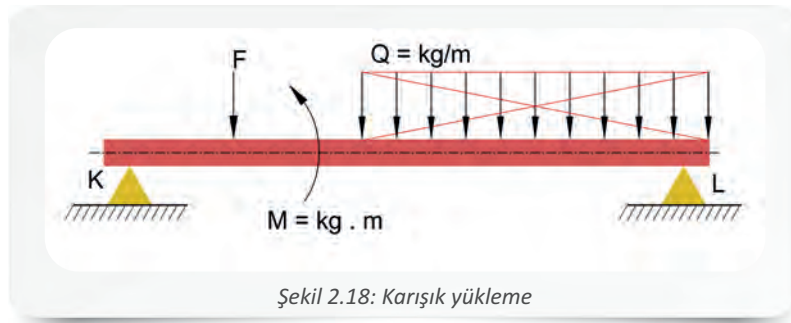
5.1.2. Yayılı Yükler

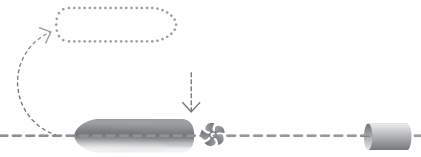
Bir elemanın tamamına ya da belirli bir alanına etkiyen yüklere **yayılı yükler** denir (Şekil 2.17).



5.1.3. Karışık Yükleme

Noktasal ve yayılı yüklerin bir elemanın eksenine dik doğrultu ile aynı anda etki etmesi durumuna **karışık yükleme** denir (Şekil 2.18).





5.2. Eğilmede Atalet ve Dayanım Momenti Hesaplamaları

Eğilmeye zorlanan elemanların yapısı incelendiğinde elemanın iç kısmındaki liflerin kısaldığı, dış kısmındaki liflerin ise uzadığı görülür. Bu noktadaki gerilmeler en yüksek değeri alır. Hooke kanununa göre en büyük uzama, en büyük gerilme sınırında meydana gelir. Elemanın dayanabileceği en büyük moment, eğilme momenti (M_{bmax}) olsa da makine elemanlarının boyutlandırılmasında **dayanım momenti (W)** esas alınır. Dayanım momenti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\sigma_{em} = \text{Emniyetli gerilme (daN/cm}^2\text{)}$$

$$M_b = \text{Eğilme momenti (daN . cm)}$$

$$W = \text{Kesitin dayanım momenti (cm}^3\text{)}$$

$$W = \frac{M_b}{\sigma_{em}}$$

Atalet momenti; kolon, kiriş gibi yapı elemanlarının ya da aks, mil gibi makine parçalarının hareketlerine karşı oluşan bir dirençtir. Atalet momenti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$I = \text{Atalet momenti (cm}^4\text{)}$$

$$A = \text{Kesit alanı (cm}^2\text{)}$$

$$d = \text{Ağırlık merkezinin eksene uzaklığı (cm)}$$

$$m = \text{Kütle (kg)}$$

$$I = m \cdot d^2$$

$$I = A \cdot d^2$$

Not: Hesaplamalarda ihtiyaç duyulabileceği için bazı yüzeylere ait dayanım momenti ve atalet momenti bağıntıları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Örnek 12: Emniyetli gerilmesi 150 daN/cm² ve eğilme momenti 9000 daN . cm olan kare kesitli bir kirişin kenar uzunluğunun kaç cm olduğunu hesaplayınız?

Verilenler:

$$M_b = 9000 \text{ daN . cm}$$

$$\sigma_b = 150 \text{ daN/cm}^2$$

$$a = ?$$

Çözüm:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$W_b = \frac{M_b}{\sigma_b} = \frac{9000}{150} = 60 \text{ cm}^3\text{tür.}$$

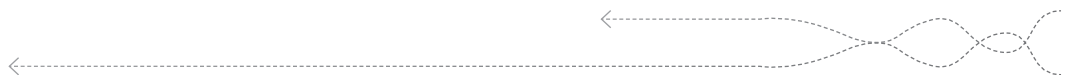
$$W_b = \frac{a^3}{6}$$

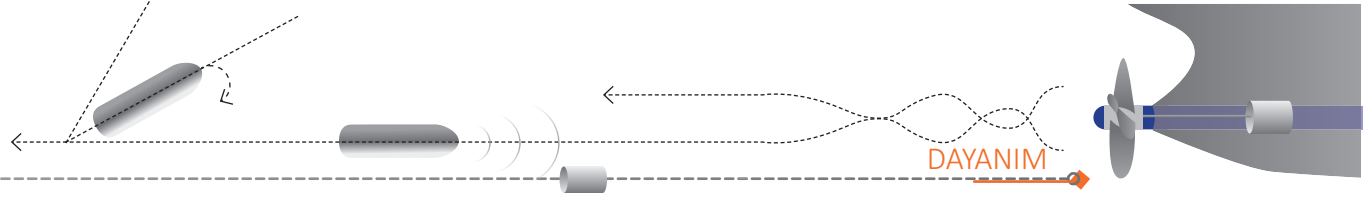
$$a^3 = 60 \cdot 6 = 360$$

$$a \cong 7,12 \text{ cm'dir.}$$

5.3. Eğilme Dayanımı Hesaplamaları ve Eğilme Diyagramı Çizilmesi

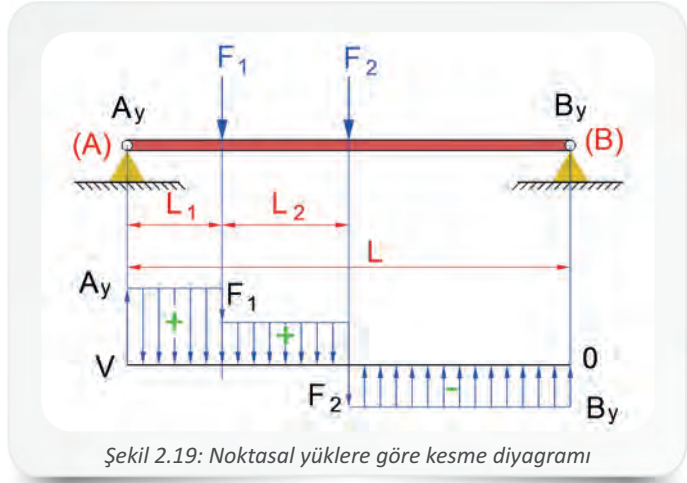
Yapı ya da makine elemanlarına birden fazla kuvvetin değişik aralıklarla yüklenmesi sonucu oluşan eğilme, basit eğilme olmayacağı için hesaplamalar **kesme kuvveti diyagramı** veya **moment diyagramı** çizilerek yapılır.





5.3.1. Noktasal Yüklere Göre Kesme Diyagramı

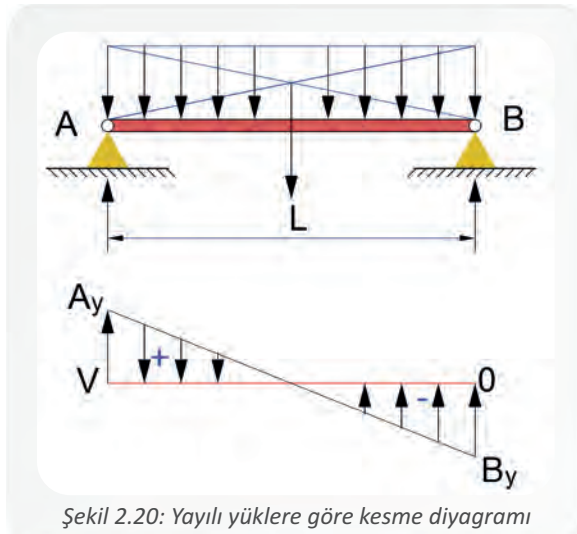
Şekil 2.19' daki gibi **A** ve **B** noktalarından mesnetlenmiş bir yapı elemanına (kiriş) etkiyen iki farklı noktasal yükün kesme diyagramının çizilebilmesi için öncelikle $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ ve $\Sigma M = 0$ denklemleri kullanılarak mesnet tepkileri hesaplanır. Daha sonra, diyagram çizimi için ayrılan kısma kirişe etkiyen kuvvetlerden düşey konumda ışınlar indirilerek kiriş eksenine paralel bir **kesme kuvveti (V)** çizilir. Kirişte oluşan tepki kuvvetlerinden A_y okunun uç kısmından kiriş eksenine paralel olarak çizilen bir çizgi ile F_1 kuvvetine ait ışın kesiştirilir. F_1 ışının şiddeti, belirlenmiş olan ölçek dâhilinde ve kuvvetin yönünde (aşağı yönde) çizilir. F_1 ışınının uç kısmından F_2 ışınının kestiği noktaya kadar paralel bir çizgi çizilir ve kesişim noktasından aynı ölçekle F_2 şiddeti kadar aşağı yönlü inilir. F_2 ucundan ve kiriş eksenine çizilen paralel çizgi B_y ile kesiştirilir. B_y mesnet tepkisi de şiddeti kadar ve yönü doğrultusunda (yukarı yönlü) çizilir. Sistemin dengede olabilmesi için mesnet tepkisi okunun uç kısmı kesme kuvveti çizgisinde **0** (sıfır) noktasında olmalıdır. Başka bir şekilde ifade edilecek olursa diyagram tamamlandığında pozitif (+) ve negatif (-) alanların birbirine eşit olması diyagramın doğru çizildiğini gösterir. Diyagramdaki pozitif alandan negatif alana geçilen nokta **E.T.K. (en tehlikeli kesit)** noktasıdır ve kirişin en fazla zorlandığı nokta bu noktadır. Noktasal yüklere ait elde edilen kesme diyagramı dikdörtgenler şeklindedir.



Şekil 2.19: Noktasal yüklere göre kesme diyagramı

5.3.2. Yayılı Yüklere Göre Kesme Diyagramı

Bu tür diyagramlar çizilirken öncelikle yayılı yükler vektörel yük hâline getirilir. Ölçekli bir kâğıt üzerine çizilen kesme kuvveti çizgisi üzerine her kuvvetten düşey ışınlar indirilir. Işınların kesim noktalarından itibaren kuvvet yönlerinde ve belirlenen ölçek dâhilinde işaretlemeler yapılarak diyagram çizilir. Hesaplamalar sonucu bulunan A_y tepki kuvveti kendi ışını üzerinde kesme kuvveti çizgisinden itibaren yukarı yönlü ve ölçekli bir şekilde çizilir. Yayılı yüklerde kesme diyagramının üçgenler şeklinde olması sebebiyle A_y tepki kuvvetinin uç kısmından kesme kuvveti çizgisine paralel olarak çizilen geçici ince çizgilerin B_y ışını ile kesiştiği noktadan $G = Q \cdot L$ kadar inilir. Kesişme noktası ile A_y tepkisinin uç kısmındaki ilk nokta birleştirilir ve son noktadan kesme kuvveti çizgisine B_y kuvveti kadar çıkıldığında kesme diyagramı tamamlanır. Diyagram tamamlandığında B_y mesnet tepkisi okunun ucu kesme kuvveti çizgisinde sıfır oluyorsa diyagram doğru çizilmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20: Yayılı yüklere göre kesme diyagramı





2. Öğrenme Birimi

Yayıllı yüklere göre mesnet tepkileri aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$Q = \text{Yük (kg/m)}$

$F = \text{Kuvvet (N/m)}$

$L = \text{Uzunluk (m)}$

$A_y - B_y = \text{Mesnet tepkileri (kg)}$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$Q \cdot L \cdot \frac{L}{2} - B_y \cdot L = 0$$

$$B_y = \frac{Q \cdot L}{2}$$

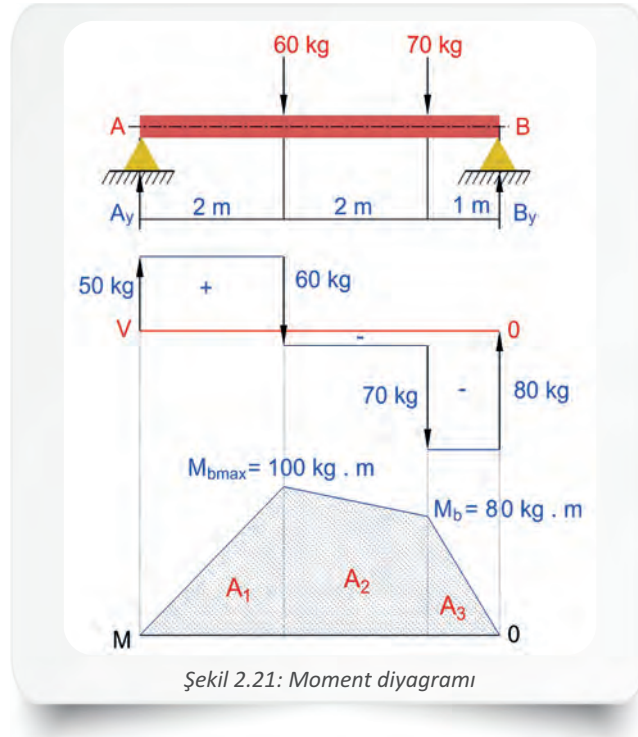
$$\Sigma F_y = 0$$

$$A_y - Q \cdot L + \frac{Q \cdot L}{2} = 0$$

$$A_y = \frac{Q \cdot L}{2}$$

5.3.3. Moment Diyagramının Çizilmesi

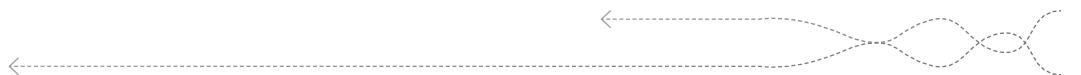
Moment diyagramı kesme kuvveti diyagramındaki A_1 , A_2 ve A_3 alanlarından yararlanılarak çizilir. Kesme kuvveti diyagramındaki kesme kuvveti çizgisinin üstündeki alanlar pozitif (+), altındaki alanlar ise negatif (-) olarak belirlenir. Kesme kuvveti diyagramında kullanılan her kuvvetten indirilmiş ışınlar, moment diyagramına ait referans doğrusuyla (M) kesiştirilir. Diyagram tamamlandığında M , A_1 , A_2 , A_3 ve 0 noktaları birer doğru ile birleştirildiğinde ortaya çıkan taralı alan, moment diyagramını verir. Moment diyagramında başlangıç ve bitiş noktaları sıfırdır. Diyagramdaki en büyük mutlak değer, M_{\max} değeridir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Moment diyagramı

Yayıllı yüklere göre alan aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$A_1 = \frac{\text{Taban} \cdot \text{Yükseklik}}{2} = \frac{L \cdot A_y}{2} = \frac{Q \cdot L^2}{8}$$



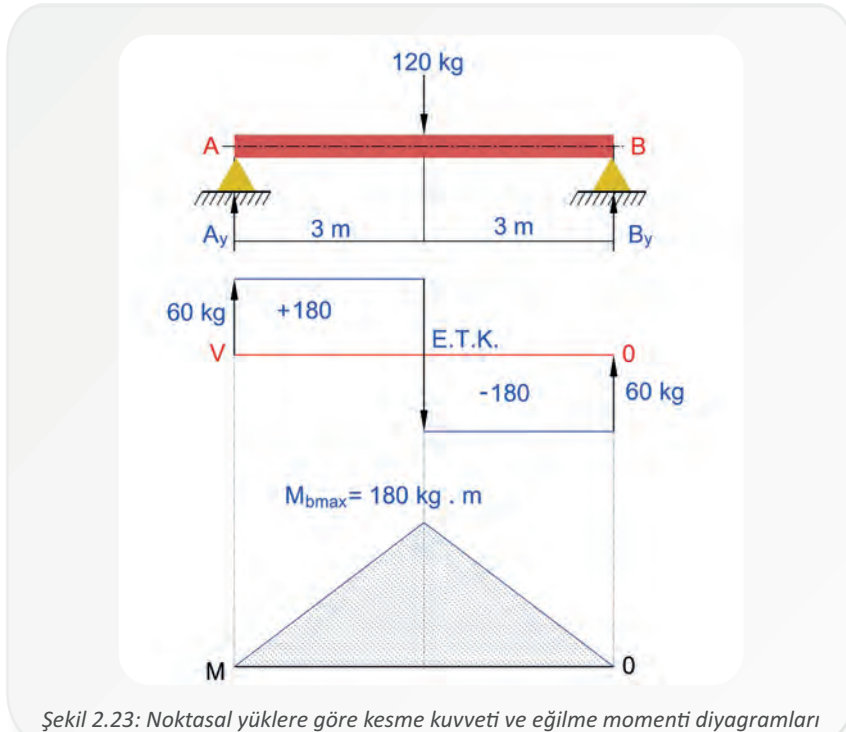
Örnek 13: A ve B uçlarından mesnetlenmiş bir kirişe 120 N'luk noktasal bir yük etki etmektedir (Şekil 2.22). Bu bilgilere göre,

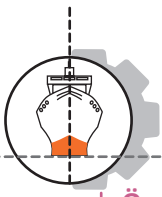
- Mesnet tepkilerini hesaplayınız.
- Kesme kuvveti diyagramını çiziniz.
- Eğilme momenti diyagramını çiziniz.



Verilenler:	Çözüm:	
$F = 120 \text{ N}$	$\Sigma M_A = 0$	$\Sigma F_y = 0$
	$120 \cdot 3 - B_y \cdot 6 = 0$	$A_y + B_y - 120 = 0$
	$B_y \cdot 6 = 360$	$A_y = 120 - 60 = 60 \text{ N olur.}$
	$B_y = \frac{360}{6} = 60 \text{ N olur.}$	1. Bölge : $60 \cdot 3 = 180 \text{ kg/m bulunur.}$
		2. Bölge : $60 \cdot 3 = 180 \text{ kg/m bulunur.}$

Mesnet tepkileri bulunduktan sonra belirlenen ölçek dâhilinde kesme kuvveti diyagramı ve eğilme momenti diyagramı, ilgili bölümdeki işlem basamakları takip edilerek çizilir ve Şekil 2.23'teki diyagram oluşturulur.

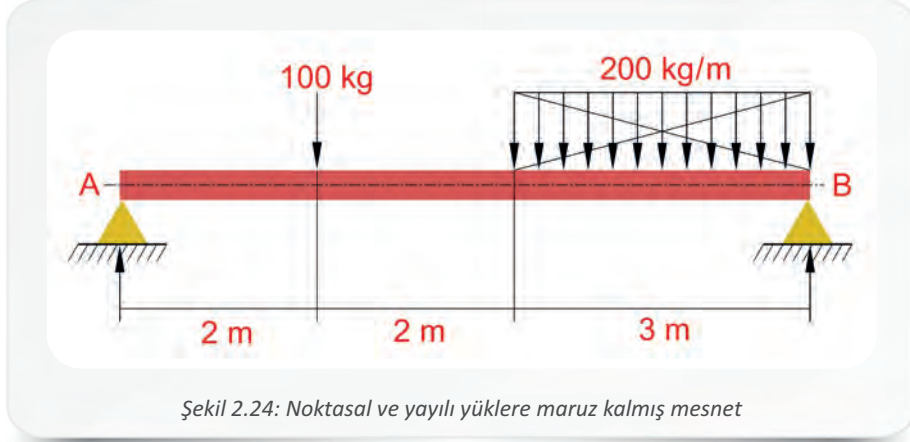




2. Öğrenme Birimi

Örnek 14: A ve B uçlarından mesnetlenmiş bir kirişe 100 kg'lık bir noktasal yük ve 200 kg/m'lik yayılı yük etki etmektedir (Şekil 2.24). Bu bilgilere göre,

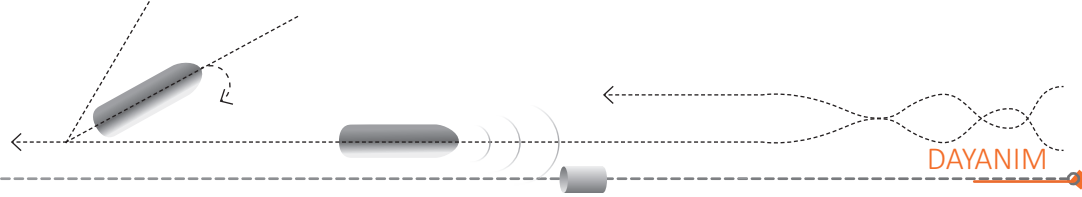
- Mesnet tepkilerini hesaplayınız.
- Kesme kuvveti diyagramını çiziniz.
- Eğilme momenti diyagramını çiziniz.



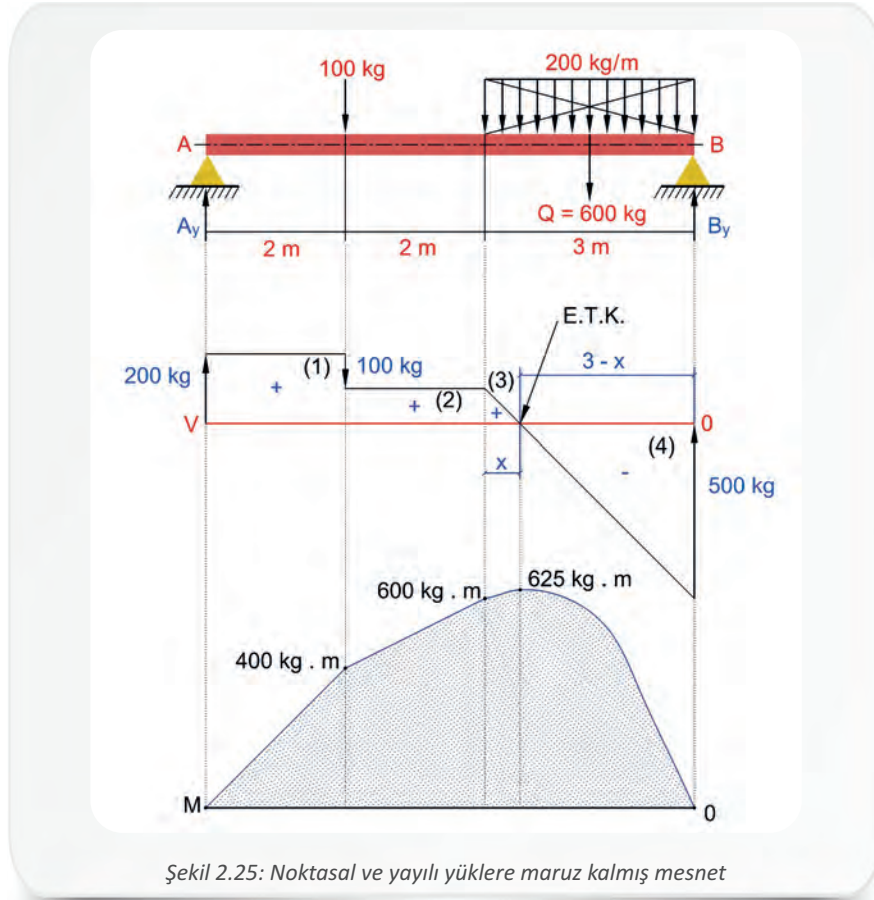
Verilenler:	Çözüm:
$Q_n = 100 \text{ kg}$	$\Sigma M_A = 0$
$Q_{\text{yayılı}} = 300 \text{ kg/m}$	$100 \cdot 2 + 600 \cdot 5,5 - B_y \cdot 7 = 0$
	$200 + 3300 = 7 \cdot B_y$
	$3500 = 7 \cdot B_y$
	$B_y = \frac{3500}{7} = 500 \text{ N olur.}$
	$\Sigma F_y = 0$
	$A_y + B_y - 100 - 600 = 0$
	$A_y = 700 - 500$
	$A_y = 200 \text{ N olur.}$
	$\frac{x}{3-x} = \frac{100}{500}$
	$500 \cdot x = 300 - 100 \cdot x$
	$500x + 100x = 300$
	$600x = 300$
	$x = \frac{300}{600} = 0,5 \text{ m bulunur.}$
	$3 - x = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ m'dir.}$
	1. bölge: $200 \cdot 2 = 400 \text{ kg/m'dir.}$
	2. bölge: $100 \cdot 2 = 200 \text{ kg/m'dir.}$
	3. bölge: $\frac{100 \cdot 0,5}{2} = 25 \text{ kg/m'dir.}$
	4. bölge: $\frac{500 \cdot 2,5}{2} = 625 \text{ kg/m'dir.}$

Mesnet tepkileri bulunduğundan sonra belirlenen ölçek dâhilinde kesme kuvveti diyagramını ve eğilme momenti diyagramını, ilgili bölümdeki işlem basamakları takip edilerek çizilir ve Şekil



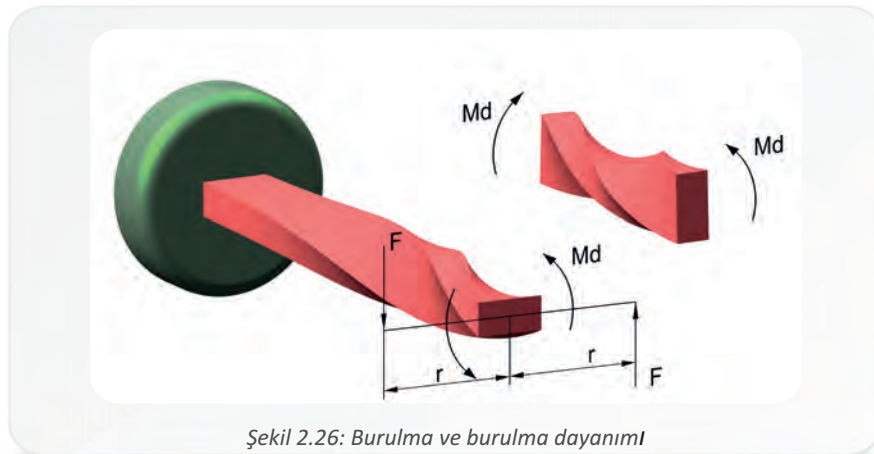


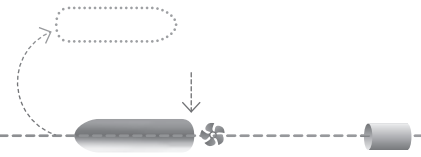
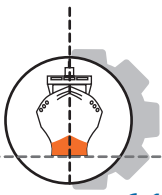
2.25'teki diyagram elde edilir.



6. BURULMA DAYANIMI

Şekil 2.26'daki gibi bir ucundan sabitlenmiş bir cisme diğer ucundan etkiyen döndürme momenti sonucu cismin kendi ekseninde dönmeye zorlanmasına **burulma** denir. Döndürme etkisi sonucu oluşan dayanıma da **burulma dayanımı** denir.





6.1. Burulma Momentinin Bulunması

Bir ucundan sabitlenmiş bir cisimde meydana gelen burulma momenti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

M_d = Burulma (döndürme) momenti (daN cm)

N = İletilen güç (beygir gücü)

n = Devir sayısı (devir/dk.)

F = Kuvvet (daN)

r = Kuvvet kolu (cm)

$$M_d = 2 \cdot F \cdot r$$

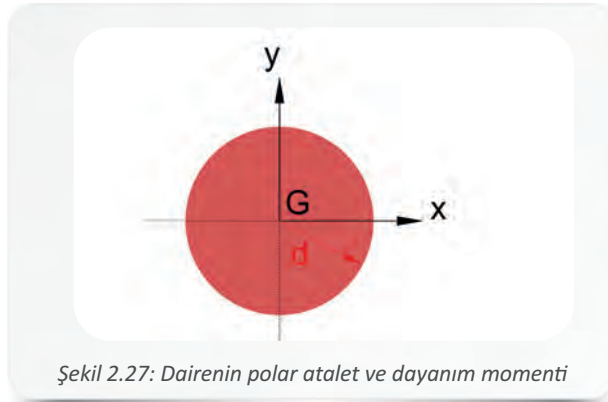
$$M_d = 71620 \cdot \frac{N}{n}$$

6.2. Polar Atalet ve Dayanım Momentinin Bulunması

Polar atalet momenti, bir cismin burulmaya karşı gösterdiği dirençtir, yani cismin burulmaya ne kadar dayanabileceğini belirtir.

İki eksene göre tanımlanmış atalet momentlerinin toplamı ($I_p = I_x + I_y$) polar atalet momentini (I_p) verir.

Şekil 2.27'deki dairenin polar atalet momenti ve dayanım momenti aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir.



Şekil 2.27: Dairenin polar atalet ve dayanım momenti

I_p = Polar atalet momenti (cm⁴)

I_x = X eksenindeki atalet momenti (cm⁴)

I_y = Y eksenindeki atalet momenti (cm⁴)

W_p = Polar dayanım momenti (cm³)

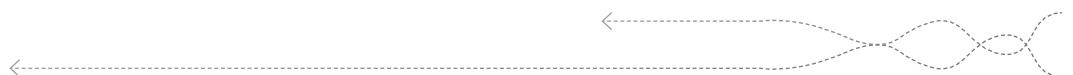
I_p = Polar atalet momenti (cm⁴)

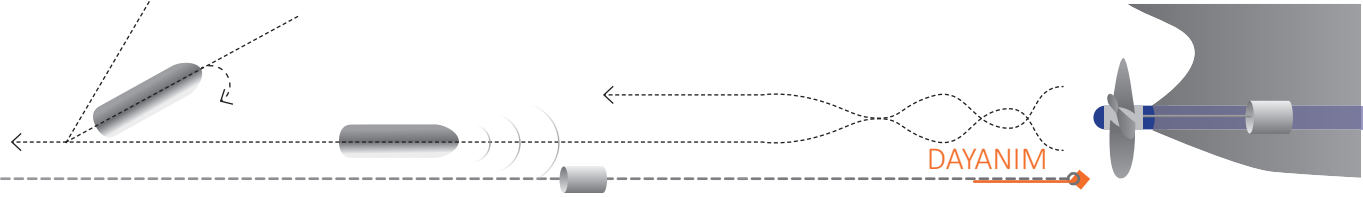
d = Yarıçap (cm)

$$I_p = I_x + I_y$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{64} + \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$W_p = \frac{I_p}{d/2} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \cdot \frac{2}{d} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$





6.3. Millerin Burulma Dayanımının Hesaplanması

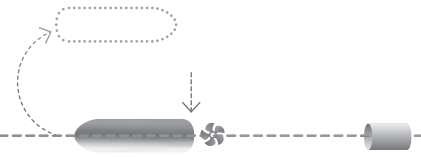
Taşıyıcı sistem elemanlarından olan miller, mafsallara yataklandırılmışlardır ve dönerek çalışırlar. **Burulma açısı (θ)**, burulana mildeki şekil değişikliğini ifade eder. Milde oluşan burulma dayanımı ve burulma açısı aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

M_d = Döndürme momenti (daN cm) W_p = Polar dayanım momenti (cm ³) τ = Burulma dayanımı (daN/cm ²) τ_{max} = Milde oluşan maksimum kayma gerilmesi (daN/cm ²)	$\tau = \frac{M_d}{W_p}$ $\tau_{max} = \frac{M_d}{W_p}$ $\tau_{max} = \tau_{em}$
θ = Burulma açısı (Radyan) L = Milin uzunluğu (cm) G = Kayma modülü (N/mm ²) I_p = Polar atalet momenti (cm ⁴)	$\theta = \frac{M_d \cdot L}{G \cdot I_p}$

Örnek 15: 10 cm çapındaki bir milin emniyetli kayma gerilmesi 1400 daN/cm² ve devir sayısı dakikada 250 olduğuna göre mile uygulanan gücü hesaplayınız ($\pi = 3$ alınacak.).

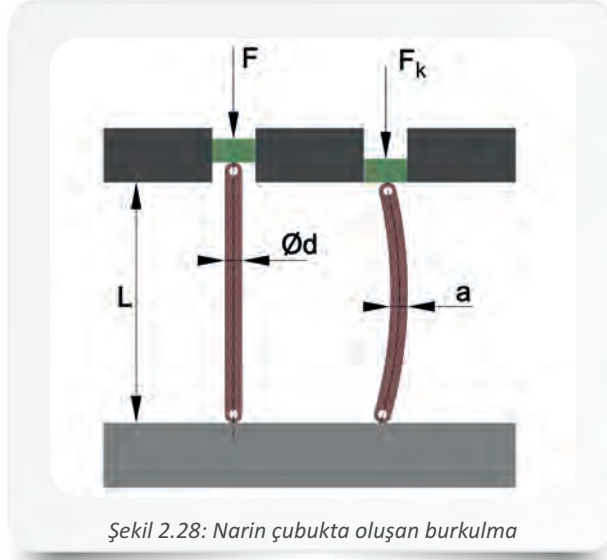
Verilenler:	Çözüm:	
$d = 10$ cm $n = 250$ devir/dk. $\tau_{em} = 1400$ daN/cm ² $N = ?$	$\tau_{em} = \frac{M_d}{W_p}$ $1400 = \frac{M_d}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}}$ $1400 = \frac{M_d}{\frac{3 \cdot 10^3}{16}}$ $M_d = 1400 \cdot \frac{3000}{16}$ $M_d = 262500 \text{ daN} \cdot \text{cm}'\text{dir.}$	$M_d = 71620 \cdot \frac{N}{n}$ $262500 = 71620 \cdot \frac{N}{250}$ $N = \frac{262500 \cdot 250}{71620}$ $N \cong 916,3 \text{ BG bulunur.}$





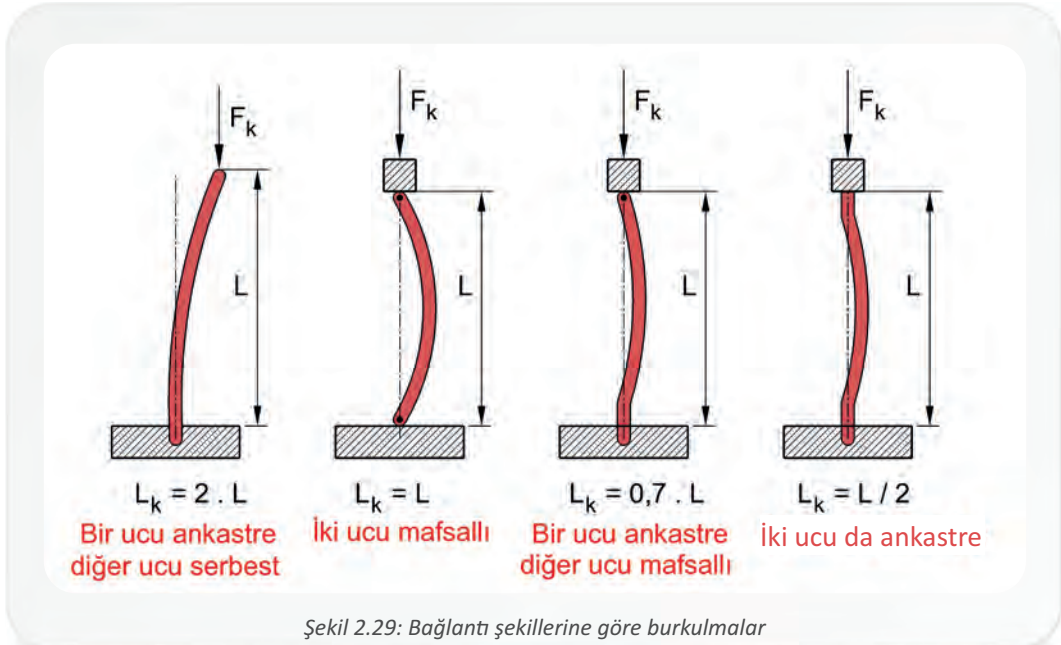
7. BURKULMA (FLAMBAJ) DAYANIMI

Boyu uzun, kesit alanı dar cisimlere **narin çubuk** denir. Cismin kesit alanı ve uzunluğu ile ilgili bir büyüklük olan narinlik derecesi λ (lamda) sembolü ile gösterilir. Narin çubuğa kırılma sınırında etki eden kuvvete **kritik yük (F_k)** adı verilir. Doğrusal olan narin bir çubuğa etki eden kritik yük değeri aşıldığı için cismin denge durumunu kaybetmesi ve biçiminin bozularak eğri bir şekil almasına **burkulma (flambaj)** denir (Şekil 2.28). Burkulmanın başlama sınırında oluşan en büyük dayanıma da **burkulma dayanımı** denir. Burada cisme etkiyen kuvvet basma kuvvetidir.



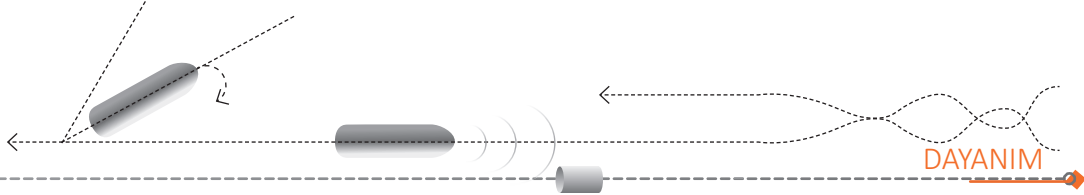
Şekil 2.28: Narin çubukta oluşan burkulma

Narin çubuğun etkileneceği kritik yük miktarı belli ise cismin kesit alanı da dikkate alınarak belirlenen cisim uzunluğuna **burkulma boyu (L_k)** denir. Cisimler bağlantı durumlarına göre farklı şekillerde burkulmaya uğrar (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: Bağlantı şekillerine göre burkulmalar





7.1. Burkulma Dayanımı Hesaplamaları

Cisimdeki şekil değişiminin geçici olduğu elastiki bölgede hesaplamalar **Euler (Oyler) metodu** kullanılarak yapılır.

F_k = Kritik yük (N)

L_k = Çubuk burkulma boyu (cm)

I_{min} = En küçük atalet momenti (cm⁴)

E = Elastiklik modülü (daN/cm²)

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L_k^2}$$

Kritik yük kesit alanına bölünerek kritik burkulma gerilimi (σ_k) bulunur.

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L_k^2 \cdot A}$$

Elastiklik sınırının hemen altındaki gerilmeye bağlı birim uzama miktarına **orantı sınırı** (σ_o) denir. Narinlik derecesi hesaplamalarının orantı sınırına göre yapılması daha güvenilirdir. Cismin atalet momentinin kesit alanına oranının karekökü **jirasyon yarıçapını** (r_j) verir. Narinlik derecesi aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

r_j = Jirasyon yarıçapı (cm, mm)

L_k = Cismin burkulma boyu (cm, mm)

A = Kesit alanı (cm², mm²)

I = Atalet momenti (cm⁴)

σ_o = Orantı sınırı burkulma gerilimi (daN/cm²)

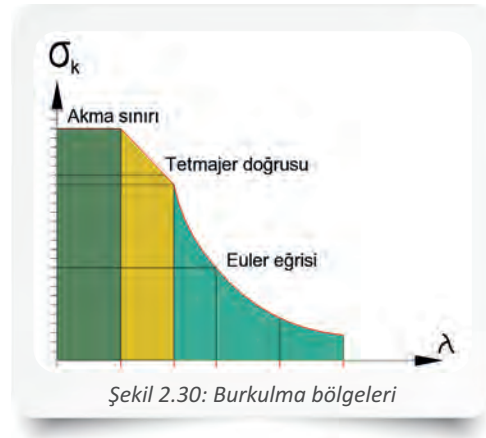
$$r_j = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\lambda = \frac{L_k}{r_j}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_o}}$$

Cisimdeki şekil değişiminin yarı elastik olması ya da elastik olmaması durumunda ise hesaplamalar **Tetmajer (Tetmayer) metodu** ile yapılır. Şekil 2.30'da yer alan burkulma bölgeleri grafiğinde deney çubuğunda oluşan plastik şekil değişimi görülmektedir. Plastik şekil değişimi görüldüğü için çubuğa Euler formülü ve basılma gerilmesi uygulanamaz.

Çeşitli cisimlerle yapılan burkulma deneyleri sonucu, bu cisimlerin narinlik dereceleri ve kritik gerilim değerleri tespit edilmiştir (Tablo 2.3). Tetmajer bölgesindeki burkulma, bu değerler yardımıyla hesaplanır.



Şekil 2.30: Burkulma bölgeleri

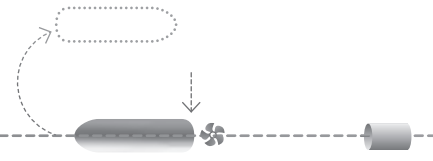
Tablo 2.3: Narinlik Dereceleri ve Kritik Değerler

Malzeme Cinsi	Basılma Gerilmesi	Eulere Göre Hesaplama	Tetmajere Göre Hesaplama	Tetmajere Göre Kritik Gerilmeler
Ahşap (çam)	$\lambda \leq 1,8$	$\lambda \geq 100$	$1,8 < \lambda < 100$	$\sigma_k = 93 - 1,94 \cdot \lambda$
Dökme demir	$\lambda \leq 5$	$\lambda \geq 80$	$5 < \lambda < 80$	$\sigma_k = 7760 - 120 \cdot \lambda + 0,53 \cdot \lambda^2$
Fe 37	$\lambda \leq 10$	$\lambda \geq 105$	$10 < \lambda < 105$	$\sigma_k = 3100 - 11,4 \cdot \lambda$
Fe 52	$\lambda \leq 10$	$\lambda \geq 90$	$10 < \lambda < 90$	$\sigma_k = 3350 - 6,2 \cdot \lambda$





2. Öğrenme Birimi



Cismin maruz kaldığı yüklere yeni yükler eklenmese de cisimdeki uzamanın devam etmesine **akma sınırı** denir. Emniyetli çalışması gereken fakat maksimum kuvvetlerle zorlanan yerlerden olan köprü ayaklarında ve büyük vinçlerde meydana gelen gerilmeler, akma sınırı ve üzerindedir. Burada meydana gelen emniyetli burkulma gerilmeleri, cisimlerin emniyetli basılma gerilmesinin deneyler sonucu elde edilen burkulma katsayısına (ω) bölünmesi ile bulunur. Bu metoda **Omega metodu** denir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

ω = Burkulma katsayısı

σ_{dem} = Emniyetli basılma gerilmesi (daN/cm²)

σ_{bem} = Emniyetli burkulma gerilmesi (daN/cm²)

F_{bem} = Emniyetli burkulma kuvveti (daN, N)

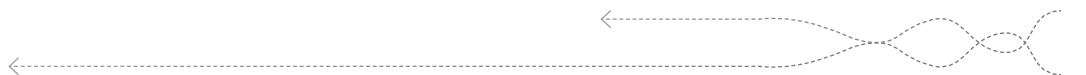
$$\omega = \frac{\sigma_{dem}}{\sigma_{bem}}$$

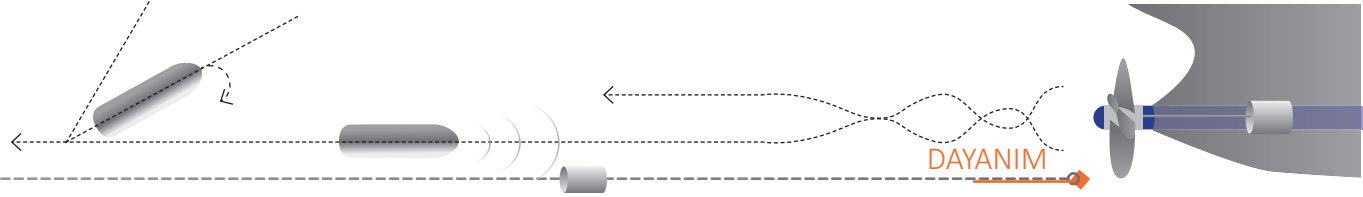
$$F_{bem} = \sigma_{bem} \cdot A$$

$F_{bem} \cdot \omega \leq \sigma_{bem}$ kontrol edilerek cismin kesitinin uygunluğu, boyut değerleri değiştirilerek emniyetli burulma bulununcaya kadar araştırılır. Burkulmaya maruz kalan cismin kesit alanı (**A**) ve boyutu biliniyorsa narinlik derecesi (**λ**) bulunarak burkulma katsayısı (ω) elde edilir. Tablo 2.4'te bazı malzemelerin burkulma katsayıları verilmiştir.

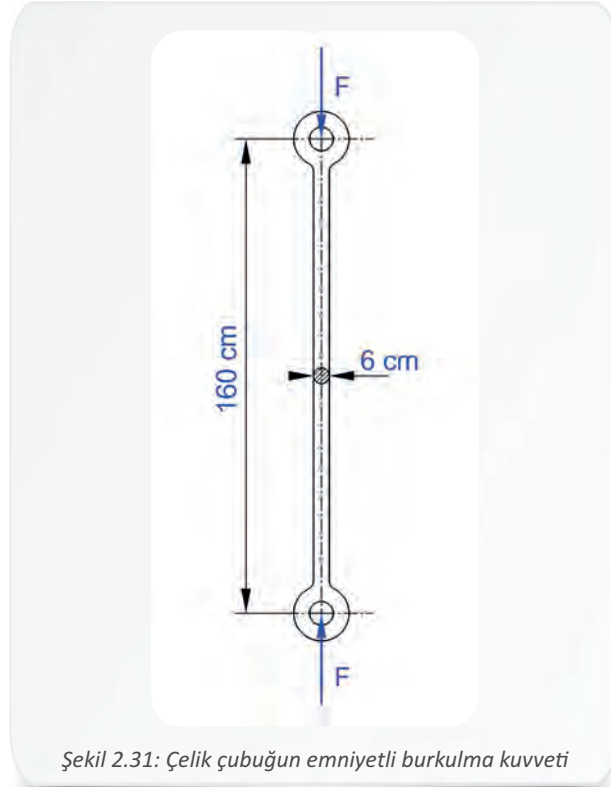
Tablo 2.4: Burkulma Katsayıları (ω)

λ (Narinlik derecesi)	Malzemelerin ω Değerleri			
	Ahşap	Dökme demir	Fe 37	Fe 52
10	1,07	1,01	1,01	1,01
20	1,15	1,05	1,04	1,06
30	1,25	1,11	1,08	1,11
40	1,36	1,22	1,14	1,19
50	1,50	1,39	1,21	1,28
60	1,67	1,67	1,30	1,41
70	1,87	2,21	1,41	1,58
80	2,14	3,50	1,55	1,79
90	2,50	4,43	1,71	2,05
100	3,00	5,45	1,90	2,53
110	3,73	-	2,11	3,06
120	4,55	-	2,43	3,65
130	5,48	-	2,85	4,28
140	6,51	-	3,31	4,96
150	9,81	-	4,32	6,48
160	11,80	-	5,47	8,21
180	15,20	-	6,75	10,13
220	19,17	-	8,17	12,26
240	23,73	-	9,73	14,59
250	26,25	-	10,55	15,83





Örnek 16: İki ucu mafsallı bir çubuğun boyu 160 cm ve çapı 6 cm'dir (Şekil 2.31). Elastiklik modülü $E = 2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ ve E.K.S. 4 olduğuna göre çubuğun taşıyabileceği emniyetli burkulma kuvvetini hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacaktır).



Şekil 2.31: Çelik çubuğun emniyetli burkulma kuvveti

Verilenler:	Çözüm:
$L_k = L = 160 \text{ cm}$	$r_j = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^4}{64} : \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \sqrt{\frac{d^2}{4}} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ cm}$
$d = 6 \text{ cm}$	
$E = 2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$	$\lambda = \frac{L_k}{r_j} = \frac{160}{1,5} = 106,7$
E.K.S. = 4	$\lambda > 105$ olduğu için Euler metodu kullanılır.
$F_{\text{bem}} = ?$	$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 4^4 / 64}{160^2} = \frac{236,6304 \cdot 10^6}{25600}$
	$F_k = 9243,375 \text{ N}$ bulunur.
	$F_{\text{bem}} = \frac{F_k}{\text{E.K.S.}} = \frac{8437,5}{4} = \mathbf{2109,38 \text{ N}}$ bulunur.





A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Makine elemanlarının boyutlandırılmasında, maruz kaldıkları yüklerin değişkenliği göz ardı edilebilir.
2. () Pres milleri, piston kolları ve kalıp zımbaları basılmaya zorlanan makine elemanlarına örnek olarak verilebilir.
3. () Doğrusal bir narin cisme etki eden kritik yük değerinin aşılması sebebi ile cismin denge durumunu kaybetmesi ve biçiminin bozularak eğri bir şekil alması duruma eğilme gerilimi denir.
4. () Döndürülmeye zorlanan cisimlerde, döndürme etkisi sonucu oluşan dayanıma burulma dayanımı denir.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Makine elemanlarına etkiyen yüklerin şiddetleri ve yönleri zamanla değişiyorsa bu yüklere..... denir.
2. Can güvenliğinin önemli olduğu mekanizmalarda ve yapılarda daha fazla olmasına dikkat edilir.
3. Cisme etkiyen kuvvet miktarında artış olmasa dahi cisimdeki uzmanın arttığı duruma denir.

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

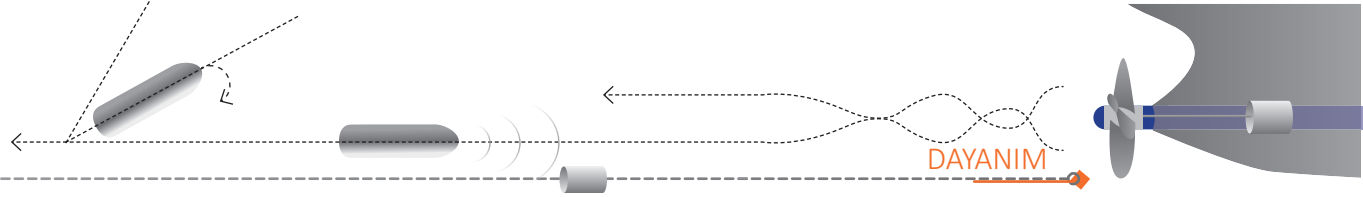
1. Cisme yavaşça ve daha önce belirlenen sabit değerlerle etki eden yük çeşidi hangisidir?

- A) Alternatif yük
- B) Ani yük
- C) Karışık yük
- D) Periyodik yük
- E) Statik yük

2. Dalga, anlık manevra ya da pervanenin deniz üstüne çıkması gibi gemide karşılaşılabilecek bu durumlar hangi yük çeşidine örnek olarak verilebilir?

- A) Alternatif yük
- B) Birleşik yük
- C) Karışık yük
- D) Olağanüstü yük
- E) Sabit yük





3. Uzama ile kuvvet arasındaki bağıntıyı, 'Kuvvet ne kadarsa, uzama da o kadardır.' şeklinde açıklayan bilim insanı kimdir?

- A) Albert Einstein
- B) Isaac Newton
- C) Marie Curie
- D) Nikola Tesla
- E) Robert Hooke

4. Cisimde oluşan burkulmanın deneyler sonucu ulaşılan değerler yardımıyla hesaplanmasında kullanılan metot hangisidir?

- A) Euler
- B) Omega
- C) Pisagor
- D) Tetmajer
- E) Yükleme

D) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak çözünüz.

1. Maksimum kopma gerilmesi 4000 daN/cm^2 olan malzemeden bir makine elemanı yapılacaktır. **Emniyet katsayısının 8 olması durumunda emniyetli gerilim değeri kaç olur?**

2. Kenar uzunluğu 15 cm olan kare kesitli betonarme bir kolona binen yük 9000 daN'dur. **Kolonda meydana gelen gerilimin kaç daN/cm^2 olduğunu hesaplayınız.**

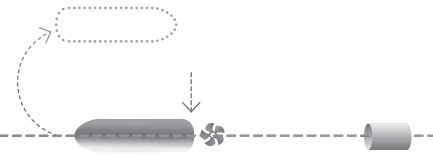
3. Dökme demirden yapılmış dikdörtgen kesitli bir malzemenin dik eksenine 30° lik açı ile etkiyen 7500 daN'luk kuvvet ve kuvvetin etkilediği kesit görülmektedir. **Buna göre malzemede meydana gelen basma geriliminin kaç daN/cm^2 olduğunu hesaplayınız.**

4. Kenar uzunluğu 14 mm olan kare kesitli bir çubuk ekseni boyunca 1800 daN'luk kuvvetle çekilmektedir. Elastiklik modülü $2 \cdot 10^5 \text{ daN/cm}^2$ olan çubuğun boyu maruz kaldığı çekme kuvveti sonucu 10 mm uzamıştır. **Buna göre çubuğun ilk boyunu hesaplayınız.**





2. Öğrenme Birimi



5. Çubuk çapı 6 mm olan bir zincir halkasının maksimum kopma gerilmesi 360 N/mm^2 olduğuna göre bu zincir halkasının taşıyabileceği yükün kaç daN olduğunu hesaplayınız (M14 civata $d_0 = 1,2761 \text{ cm}$ ve $\pi = 3,14$ alınacaktır.)

6. İki parça birbirine M14'lük civata ile bağlanmıştır. Parçalara kaydırma yönünde 3663 N'luk kuvvet uygulanmaktadır. Buna göre makaslama bölgesindeki civata kesit alanını ve bu bölgede oluşan kesilme gerilimini hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacaktır.)

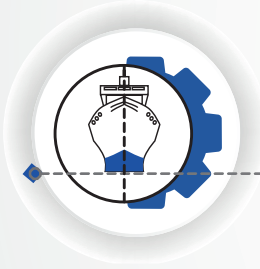
7. Kesit genişliği 8 cm, yüksekliği 15 cm ve uzunluğu 100 cm olan dikdörtgen kesitli bir kiriş 15000 daN/cm 'lik bir eğilme momenti ile zorlanmaktadır. Buna göre kirişin emniyetli gerilmesini ve kirişe etkiyen kuvveti hesaplayınız.

8. Eğilme momenti 9000 daN/cm olan bir milin çapı 10 cm olduğuna göre bu milin emniyetli gerilmesinin kaç daN/cm^2 olduğunu hesaplayınız.

9. 18 BG ile zorlanmakta olan bir freze tezgâhının mili 180 devir/dk. ile dönmektedir. Emniyetli burulma gerilmesi 1200 daN/cm^2 olan freze milinin emniyetli çapını hesaplayınız.

10. Emniyet katsayısı 5 olan 16 mm^2 kesit alanlı Fe 37 çubuğa zıt yönlü iki kuvvet uygulanmaktadır. Bu çubuğun emniyetle taşıyabileceği yükün kaç N olduğunu hesaplayınız.





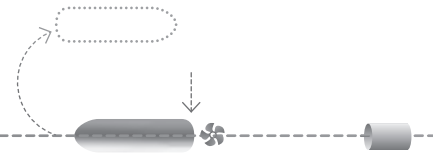
3. ÖĞRENME BİRİMİ

HIZ VE İVME

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR
2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR
3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMIĞI İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR





HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Hareketli makine parçalarının sürtünmesi ile açığa çıkan ısı enerjisinin faydalı enerjiye dönüştürülmesi ve enerji tasarrufu sağlanabilmesi için neler yapılabileceği ile ilgili fikirlerinizi sınıf arkadaşlarınızla paylaşınız.

HIZ VE İVME

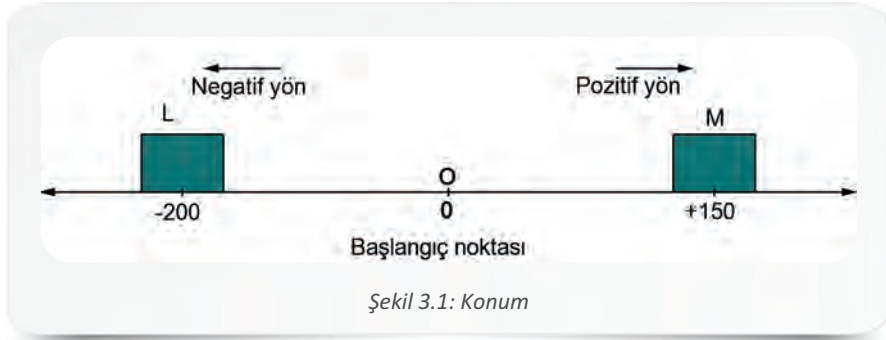
Zamanla konumu değişen cisimler hareketlidir. Gemi de su üzerinde hareket eden bir cisimdir; ayrıca gemi makinesindeki parçalar, köprü üstündeki mekanizmalar da hareketli cisimlerdir. Gemi adamı, bu öğrenme birimi içerisinde hareket ve hareketi etkileyen kütle, kuvvet, ivme, hız, sürtünme kuvveti gibi konularda bilgi sahibi olacaktır. Bu bilgiler sayesinde geminin akıntılı suda hareketini hesaplamak, denize düşen birini kurtarmak için kullanılan can simidini doğru bir hareketle atmak gibi çalışma ortamında ihtiyaç duyabileceği becerilere de sahip olacaktır. Ayrıca Newton'un hareket yasaları ile ilgili edineceği bilgiler sayesinde, etkisi altında kaldığı kuvvet karşısında hareketli parça ve yüzeylerin gösterdiği tepkileri göz önünde bulunduracak böylece gerekli iş güvenliği önlemlerini alarak uygun çalışma ortamını sağlayabilecektir.

1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Bir cismin konumundaki değişikliği ifade eden hareket, mekaniğin bir alt dalı olan kinematığın konusudur. Hareketlerle ilgili hesaplamaların yapılabilmesi için konum, hız, ivme, sürat vb. kavramların bilinmesi gerekir.

1.1. Konum

Bir cismin başlangıç noktasına olan uzaklığına ve yönüne **konum** denir.



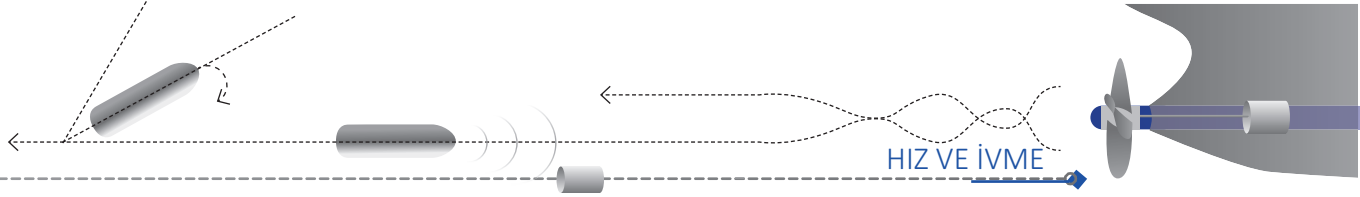
Şekil 3.1: Konum

Şekil 3.1'deki L cisminin başlangıç noktasına göre konumu -200 m, M cisminin başlangıç noktasına göre konumu +150 m'dir.

1.2. Yer Değiştirme

Hareket eden bir cismin konumunda meydana gelen değişime **yer değiştirme** denir. Vektörel bir büyüklük olan yer değiştirme Δx ile gösterilir; km, m, cm, mm gibi uzunluk birimleri ile ifade edilir. Yer değiştirme son konumdan ilk konumun çıkarılması ($\Delta x = x_2 - x_1$) ile bulunur.





Örnek 1: Doğrusal bir düzlemde yürüyen bir çocuk başlangıç noktasından başlayarak önce 30 m ileriye doğru yürüyor, sonra geriye dönerek 15 m daha yürüyor. Bu durumda,

- Çocuğun aldığı yol kaç metredir?
- Çocuğun yer değiştirmesi kaç metredir?

Verilenler:	Çözüm:
$x_1 = 15 \text{ m}$	a) Almış olduğu toplam yol = $30 + 15 = 45 \text{ m'dir.}$
$x_2 = 30 \text{ m}$	b) Yer değiştirme ise
	$\Delta x = x_2 - x_1$
	$30 - 15 = 15 \text{ m'dir.}$

1.3. Hız

Bir cismin birim zamanda konumunda meydana gelen değişikliğe (yani yer değiştirmeye) **hız** denir. Vektörel bir büyüklük olan hızın sembolü **V**'dir ve birimi SI birim sistemine göre **m/s**'dir. Bazı durumlarda hız **km/h** (km/saat) olarak da ifade edilebilir. Vektörel bir büyüklük olan hızın işareti hareketin yönünü gösterir ve **x** eksenini boyunca hareket eden bir cismin yönü, başlangıç noktasına (0 noktası) göre + ve - yönlü olarak belirlenir.

$\Delta x = \text{Yer değiştirme (m)}$
 $\Delta t = \text{Zaman (s)}$

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

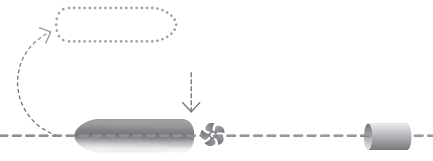
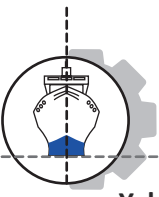
Örnek 2: Hidrokarbon esaslı yakıt tüketen bir araç yerine elektrikli bir araç kullanmayı tercih eden çevreci bir sürücü, A ve B şehirleri arasındaki 540 km'lik mesafeyi 9 saatte gidiyor. Buna göre aracın saatte kaç km hızla gittiğini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$\Delta x = 540 \text{ km}$	$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{540}{9} = 60 \text{ km/h olur.}$
$\Delta t = 9 \text{ saat}$	

Örnek 3: Kocaeli ve Yozgat arasındaki mesafe 560 km'dir. Güvenli sürüş kurallarına uyarak saatte 80 km hızla giden bir aracın iki şehir arasındaki yolu kaç saatte tamamlayabileceğini hesaplayınız.

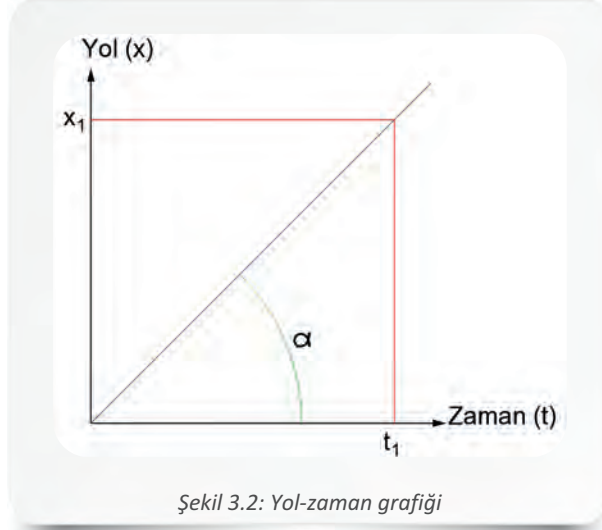
Verilenler:	Çözüm:
$\Delta x = 560 \text{ km}$	$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
$V = 80 \text{ km/h}$	$80 = \frac{560}{\Delta t}$
	$\Delta t = \frac{560}{80} = 7 \text{ saat bulunur.}$





Yol-Zaman Grafiği

Bir koordinat düzleminde x ekseninde zaman t , y ekseninde yol X ile gösterilirse $X = V \cdot t$ eşitliği sebebi ile düzgün doğrusal hareket yapan bir cismin yol-zaman grafiği Şekil 3.2'deki gibi 0 noktasından geçen bir doğru olur.

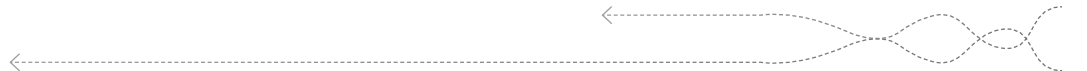
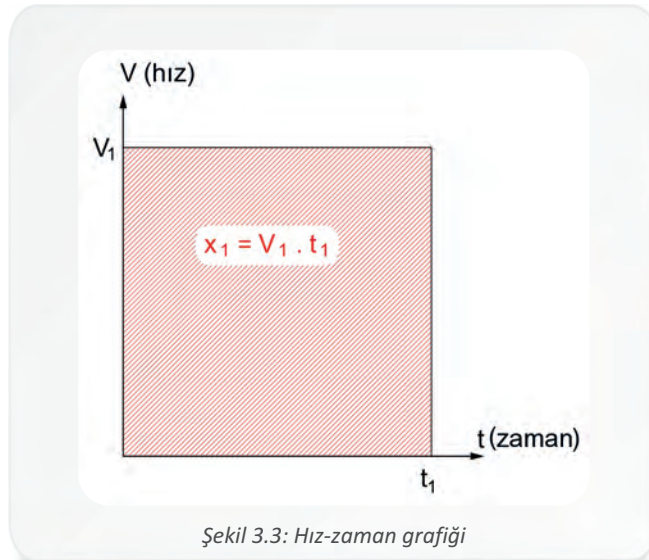


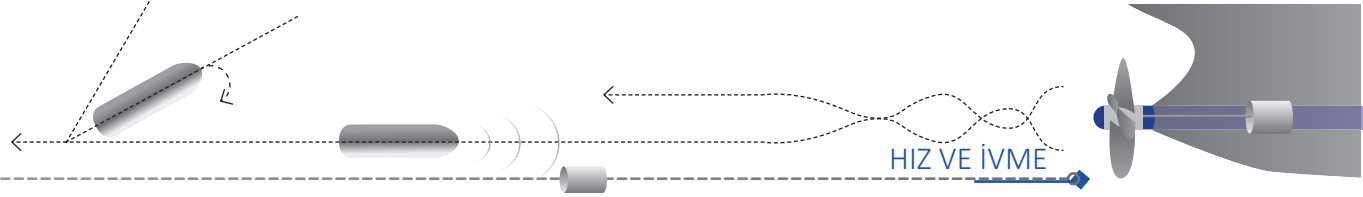
$$\text{Tan}\alpha = \frac{x_1}{t_1} \text{ ve } \frac{x_1}{t_1} = V \text{ olduğundan } \text{Tan}\alpha = V \text{ olur.}$$

$X = V \cdot t$ doğrusunun eğimi hıza eşittir.

Hız-Zaman Grafiği

Zaman x ekseninde, hız ise y ekseninde gösterildiğinde, hız-zaman grafiği x eksenine paralel bir doğru olur. Herhangi bir zaman (t_1) içinde alınan yol, $x_1 = V_1 \cdot t_1$ olduğu için taranmış alana eşit olur (Şekil 3.3).





1.4. Ortalama Hız

İstanbul'dan Eskişehir'e araç ile yola çıktığında, yolun trafik durumuna göre araç bazen hızlanacak, bazen yavaşlayacak, yakıt ikmali yapılması gerektiğinde ise duracaktır. İki şehrin arasındaki mesafenin 300 km ve yolculuğun dört saat sürmüş olması durumunda aracın ortalama hızı, iki şehir arasındaki mesafenin yolculuk süresine bölünmesi ile bulunur. Örnekten de anlaşılacağı gibi **ortalama hız**, bir cismin doğrusal yörüngedeki toplam yer değiştirmesinin toplam zamana oranıdır.

$$\text{Ortalama hız} = V_{\text{ort}} = \frac{\text{Toplam yol}}{\text{Toplam zaman}}$$

$$V_{\text{ort}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 + x_1}{t_2 + t_1}$$

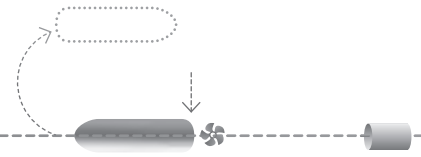
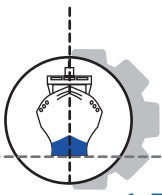
Örnek 4: Giresun'dan Adana'ya gitmek için yola çıkan bir araç yolun yarısını 120 km/h hızla diğer yarısını da 90 km/h hızla gidiyor. Buna göre, aracın ortalama hızını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$V_1 = 120 \text{ km/h}$	İki şehir arasındaki mesafe 2x kabul edilir.
$V_2 = 90 \text{ km/h}$	$V_{\text{ort}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 + x_1}{t_2 + t_1}$
$t_1 = x/120$	$V_{\text{ort}} = \frac{2x}{\frac{x}{120} + \frac{x}{90}}$
$t_2 = x/90$	$V_{\text{ort}} \cong 103 \text{ km/h olur.}$

Örnek 5: Düz bir yolda hareket eden bir araba ilk 0,25 saatte 70 km/h, sonraki 0,5 saatte 50 km/h daha sonraki 0,25 saatte ise 40 km/h hızla yol almıştır. Arabanın tüm yol boyunca ortalama hızı kaç km/h olmuştur?

Verilenler:	Çözüm:
$t_1 = 0,25 \text{ saat}$	$V_{\text{ort}} = \frac{\text{Toplam yer değiştirme}}{\text{Toplam zaman}}$
$t_2 = 0,50 \text{ saat}$	$V_{\text{ort}} = \frac{0,25 \cdot 70 + 0,5 \cdot 50 + 0,25 \cdot 40}{0,25 + 0,50 + 0,25}$
$t_3 = 0,25 \text{ saat}$	$V_{\text{ort}} = \frac{17,5 + 25 + 10}{1} = 52,5 \text{ km/h olur.}$
$V_1 = 70 \text{ km/h}$	
$V_2 = 50 \text{ km/h}$	
$V_3 = 40 \text{ km/h}$	





1.5. Sürat

Hareketli bir cismin birim zamanda aldığı yola **sürat** denir. Sürat, yönü ve doğrultusu olmadığı için skaler bir büyüklüktür ve birimi m/s'dir. Otomobil ve uçak gibi araçlarda sürat birimi olarak km/h kullanılır.

Hız ve sürat kavramları günlük dilde genellikle birbirinin yerine kullanılır, ancak bu ikisi birbirinden farklı terimlerdir. Aralarındaki ayırım şu şekilde örneklendirilebilir: Bir aracın 80 km/h hızla hareket ettiğini söylemek o aracın süratini ifade ederken bir aracın 80 km/h hızla ve güneye doğru hareket ettiğini söylemek ise aracın hızını ifade eder.

$$\text{Sürat} = \frac{\text{Alınan yol}}{\text{Geçen zaman}}$$

$$V = \frac{x}{t}$$

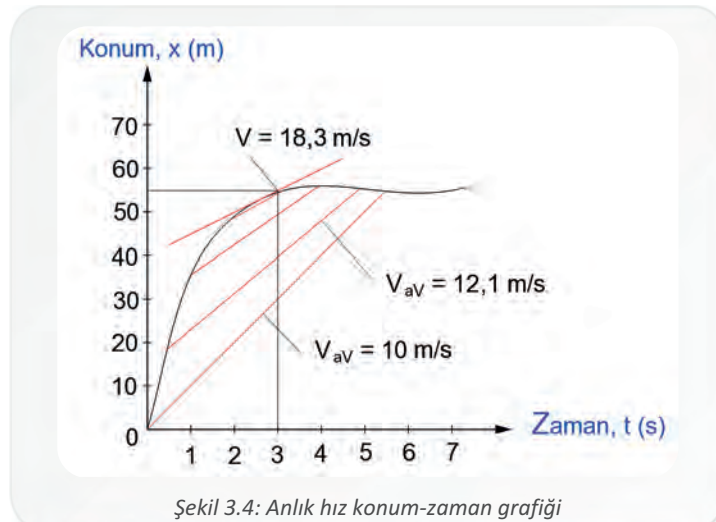
x = metre, t = saniye

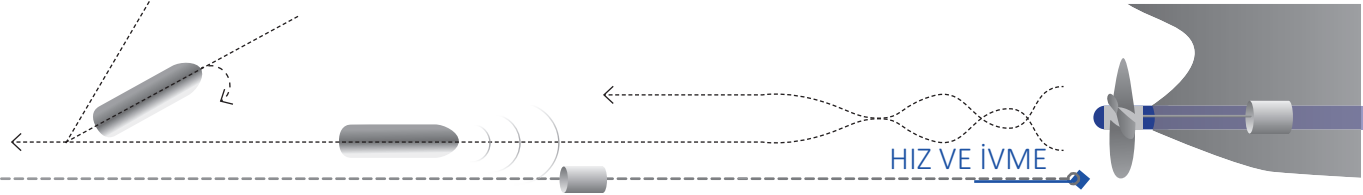
Örnek 6: 510 metre uzunluğundaki bir yolu iki koşucudan biri olan Murat 2 dk. 50 s'de, Bayram ise 2 dk. 30 s'de koşuyor. Buna göre Murat ve Bayram'ın süratini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
x = 510 metre	Sürat = $\frac{\text{Alınan yol}}{\text{Zaman}}$
$t_{\text{Murat}} = 2 \text{ dk. } 50 \text{ s} = 170 \text{ s}$	Sürat _B = $\frac{510}{150} = 3,4 \text{ m/s'dir.}$
$t_{\text{Bayram}} = 2 \text{ dk. } 30 \text{ s} = 150 \text{ s}$	Sürat _M = $\frac{510}{170} = 3 \text{ m/s'dir.}$

1.6. Anlık Hız (Ani Hız)

Bir hareketlinin herhangi bir andaki hızına **anlık hız** denir. Anlık hız da vektörel bir büyüklüktür. Hareketli cismin konum zaman grafiğinde herhangi bir andaki hızı, eğri üzerinde o zamana gelen noktada çizilen teğetin eğimine eşittir (Şekil 3.4).



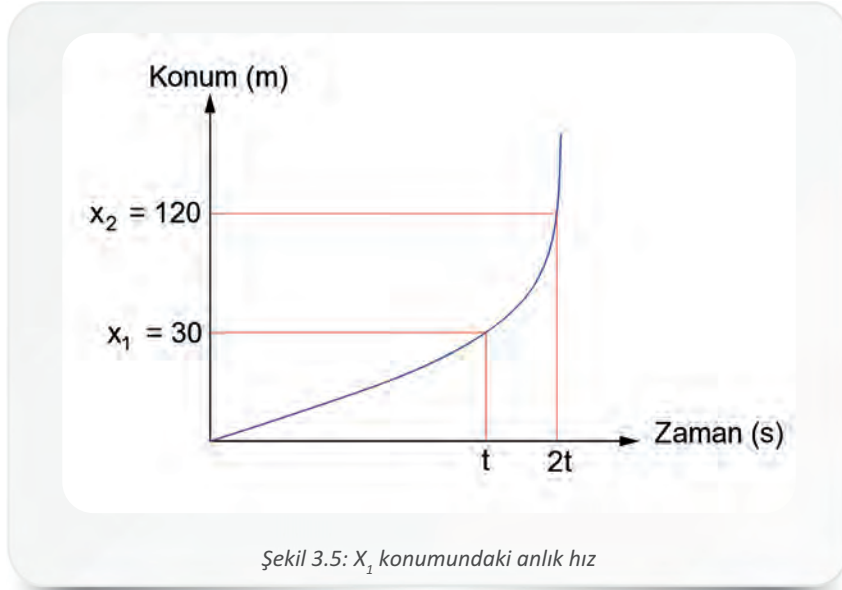


$$V_{\text{ani}} = \tan\theta = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Δx = Yer değiştirme (m)

Δt = Zaman (s)

Örnek 7: Durgun hâlden harekete geçen bir cismin konum-zaman grafiği Şekil 3.5'teki gibidir. Bu cismin x_1 ve x_2 konumları arasındaki ortalama hızı 10 m/s olduğuna göre x_1 konumundaki anlık hızını hesaplayınız.



Verilenler:

$$x_1 = 30 \text{ m/s}$$

$$x_2 = 120 \text{ m/s}$$

$$t_1 = t$$

$$t_2 = 2t$$

Çözüm:

$$V = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$10 = \frac{120 - 30}{2t - t}$$

$$10 = \frac{90}{t}$$

$$10t = 90$$

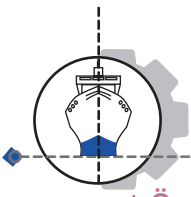
$$t = 9 \text{ s olur.}$$

1.7. Bağıl Hız

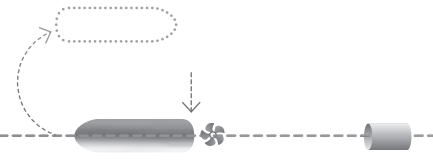
Bir hareketlinin başka bir hareketliye göre hızına **bağıl hız** denir. Bağıl hız V_b ile gösterilir. Vektörel bir büyüklük olan bağıl hızın sembolü m/s'dir.

Aynı yöne giden iki araçtan birinin hızı 90 km/h, diğerinin hızı 80 km/h olsun. 80 km/h hızla giden araç, 90 km/h hızla giden aracın çok yavaş ilerlediğini düşünür; nk 80 km/h hızla giden araç da bir hıza sahiptir. Bu durumda 80 km/h hızla giden araç, diğer aracın hızını, kendi aracının hızından ne kadar fazla ise o kadar görür. Burada daha hızlı giden araç gzlenenken diğer araç gözlemci olur ve bağıl hız gözlenenenden gözlemci çıkarılarak ($V_{\text{bağıl}} = V_{\text{gözlenen}} - V_{\text{gözlemci}}$) bulunur. Gözlenen ve gözlemci farklı yönlerde de olabilir.

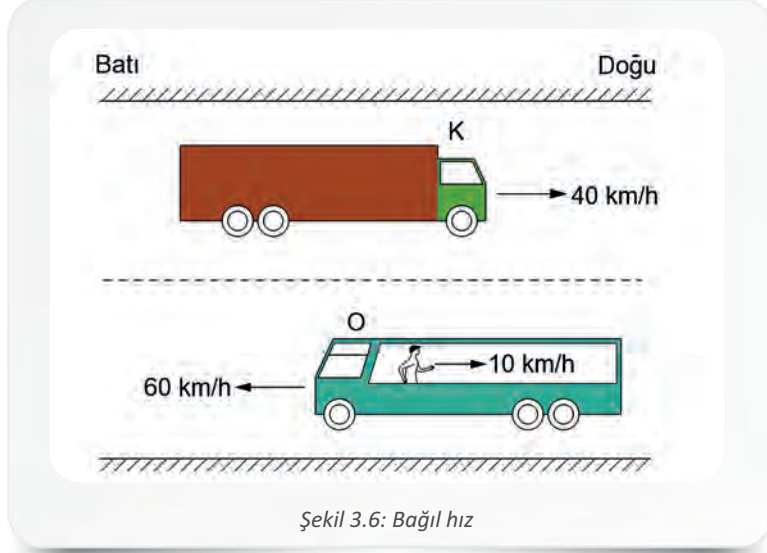




3. Öğrenme Birimi



Örnek 8: Şekildeki **K** aracı doğuya doğru yere göre 40 km/h hızla gitmektedir. **O** aracı ise batıya doğru yere göre 60 km/h hızla giderken aracın içerisindeki insan, araca göre doğuya doğru 10 km/h hızla gitmektedir. Buna göre, **K** aracındaki gözlemci **O** aracındaki insanı hangi hızla ve hangi yönde hareket ediyor görür (Şekil 3.6)?

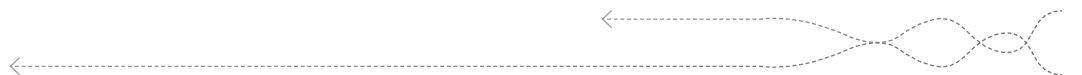


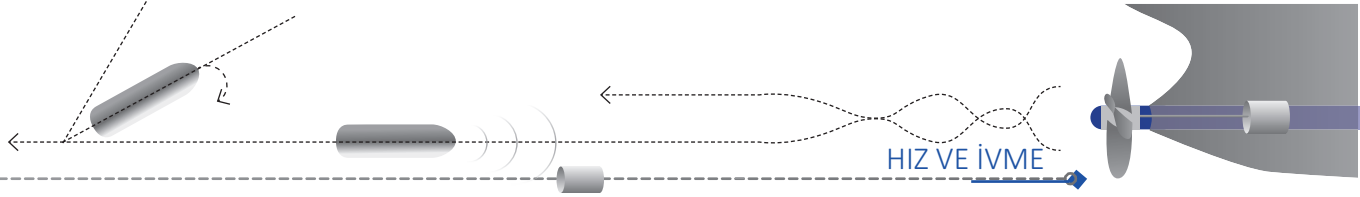
Verilenler: $V_k = 40 \text{ km/h}$ $V_o = 60 \text{ km/h}$ $V_i = 10 \text{ km/h}$	Çözüm: O aracındaki insanın yere göre hızı: $V_o = 60 - 10 = 50 \text{ km/h}$ K aracındaki gözlemcinin O 'yu gördüğü hız: $V_{\text{bağlı}} = V_{\text{gözlenen}} - V_{\text{gözlemci}}$ $V_{\text{bağlı}} = 50 - (-40)$ $V_{\text{bağlı}} = 90 \text{ km/h}$ bulunur. Sonuç pozitif çıktığı için batı yönünde hareket ediyor gibi görür.
---	--

Nehir hareketleri de bağlı hız örnek olarak verilebilir. Bir tahta parçası nehre bırakıldığında suyun akış hızıyla aynı hızda hareket eder. Bu hareket akıntı ile olan harekettir.

Durgun kabul edilen suda hareket eden motorun ya da yüzücünün hızına, **suya göre hız** denir. **Akıntı hızı (V_a)** nehrin yere göre olan hızına denir. Motorun ya da yüzücünün **yere göre hızı** ise akıntının hızı ile motorun ya da yüzücünün akıntıya göre hızının vektörel toplamına eşittir.

$V_k = \text{Kayığın hızı}$ $V_a = \text{Akıntı hızı}$ $V_y = \text{Yüzücünün hızı}$	Kayığın yere göre hızı: $V_{\text{yer}} = V_k + V_a$
--	---





Akıntı hızı V_a olan bir nehre bırakılan bir tahta parçasının iki nokta arasında ve t saniyede almış olduğu mesafe, $x = V_a \cdot t$ kadardır.

Nehrin akıntısıyla aynı yönde ve akıntı hızı V_a olan nehirde, başlangıç noktasından V_m hızı ile hareket etmeye başlayan motorun varış noktasına t saniyede aldığı yol ise $x = (V_a + V_m) \cdot t$ kadardır.

Nehrin akıntı yönü ile motorun hareket yönünün farklı olması durumunda ise motorun almış olduğu yol aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

$V_a > V_m$ ise akıntı, motoru akıntı ile aynı yöne doğru sürükler.

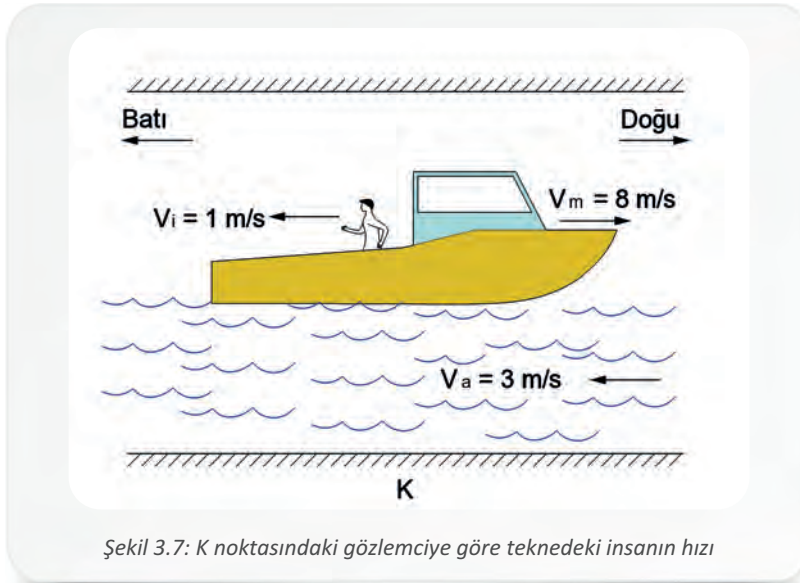
$$x = (V_a - V_m) \cdot t$$

$V_m > V_a$ ise motor, akıntıya ters yönde yol alır.

$$x = (V_m - V_a) \cdot t$$

Akıntının hızı ile motorun hızının eşit olması durumunda yere göre hızı sıfır olacağı için motor olduğu yerde kalır.

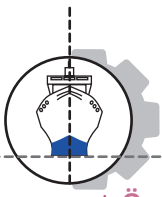
Örnek 9: Akıntı hızı Şekil 3.7'deki gibi batıya doğru 3 m/s olan bir nehirde doğuya doğru 8 m/s hızla giden bir can kurtarma botunun üzerinde ve botun hareketine göre ters yönde 1 m/s'lik hızla giden bir insan vardır. Kıyıda K noktasında bulunan bir gözlemciye göre insanın hızı kaç m/s'dir?



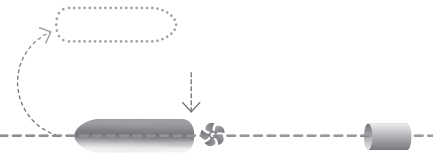
Şekil 3.7: K noktasındaki gözlemciye göre teknedeki insanın hızı

Verilenler:	Çözüm:
$V_a = 3 \text{ m/s}$	Motor içerisindeki insanın yere göre hızı,
$V_m = 8 \text{ m/s}$	$V = V_m - (V_{\text{insan}} + V_a)$
$V_{\text{insan}} = 1 \text{ m/s}$	$V = 8 - (1 + 3)$
	$V = 4 \text{ m/s'dir.}$

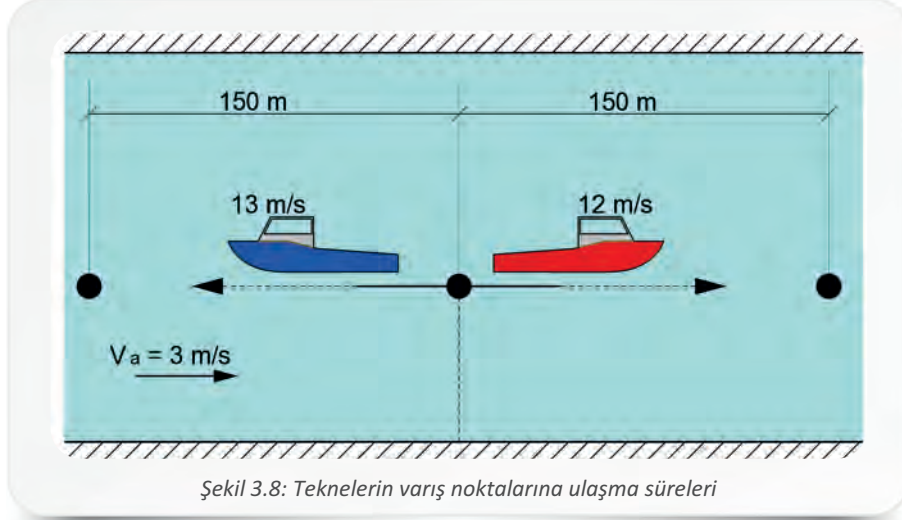




3. Öğrenme Birimi



Örnek 10: Ters yönde hareket eden iki teknenin başlangıç noktalarından 150 m uzaklıktaki bitiş noktalarına gitmeleri isteniyor. Akıntı hızı 3 m/s olan nehirde akıntı ile aynı yönde hareket eden K teknesinin hızı 12 m/s, akıntıya ters yönde hareket eden M teknesinin hızı ise 13 m/s olduğuna göre, teknelerin varış noktalarına ulaşma sürelerini hesaplayınız (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Teknelerin varış noktalarına ulaşma süreleri

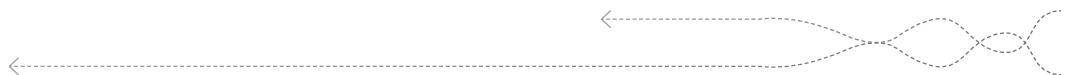
Verilenler:	Çözüm:	
$X = 150 \text{ m}$	$X = (V_K + V_a) \cdot t$	$X = (V_M - V_a) \cdot t$
$V_a = 3 \text{ m/s}$	$150 = (12 + 3) \cdot t_K$	$150 = (13 - 3) \cdot t_M$
$V_K = 12 \text{ m/s}$	$150 = 15 \cdot t_K$	$150 = 10 \cdot t_M$
$V_M = 13 \text{ m/s}$	$t_K = 10 \text{ s olur.}$	$t_M = 15 \text{ s olur.}$

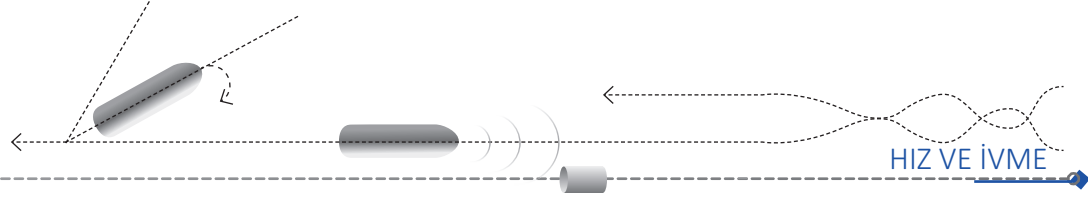
1.8. İvme

Hareket hâlindeki bir cismin birim zamandaki hız değişimine **ivme** denir. Hız vektörel bir büyüklük olduğu için ivme de vektörel bir büyüklüktür. İvme **a** ile gösterilir ve birimi **m/s²**dir. Bir hareketin ivmeli olabilmesi için cismin hızının büyüklüğünde ya da yönünde değişiklik olması gerekir. Hızlanan ya da yavaşlayan bir hareketlinin hareketi ivmeli harekettir ancak aynı yönde ve sabit hızla hareket eden hareketlinin ivmesi sıfırdır.

Örnek 11: 20 m/s hızla hareket ederken yavaşlayarak 10 saniyede duran bir arabanın ivmesini hesaplayınız.

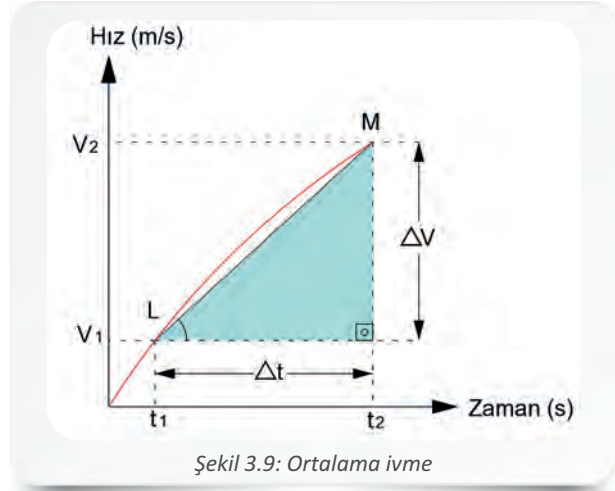
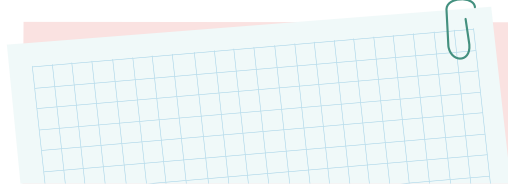
Verilenler:	Çözüm:
$V_s = 0 \text{ m/s}$	Yavaşlayan aracın ivmesi hareket yönüne terstir.
$V_{ilk} = 20 \text{ m/s}$	$a = \frac{V_s - V_{ilk}}{\Delta t} = \frac{0 - 20}{10} = \frac{-20}{10} = -2 \text{ m/s}^2 \text{ olur.}$
$\Delta t = 10 \text{ s}$	





1.8.1. Ortalama İvme

Hareketli bir cisim, ilk zaman (t_1) ve son zaman (t_2) aralığında değişik hızlarla hareket ederse hareketlinin hızındaki değişim miktarına **ortalama ivme** denir. Hareketli cismin **L** ve **M** noktaları arasındaki ortalama ivmesi **LM** doğrusunun eğiminden bulunur (Şekil 3.9).

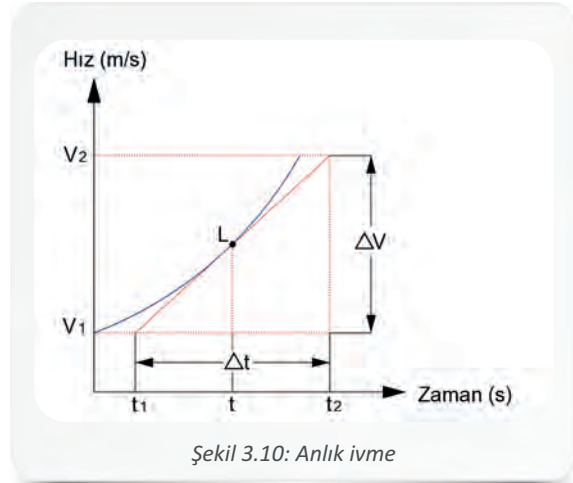


Örnek 12: Bir cismin hızı, 6 saniyede 10 m/s'den 70 m/s'ye çıkıyor. Buna göre cismin ortalama ivmesini hesaplayınız.

<p>Verilenler:</p> <p>$t_i = 0$ s</p> <p>$t_s = 6$ s</p> <p>$V_i = 10$ m/s</p> <p>$V_s = 70$ m/s</p>	<p>Çözüm:</p> $a_{\text{ort}} = \frac{V_s - V_i}{t_s - t_i}$ $a_{\text{ort}} = \frac{70 - 10}{6 - 0} = \frac{60}{6} = 10 \text{ m/s'dir.}$
---	---

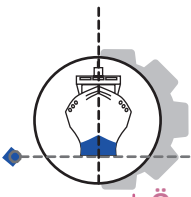
1.8.2. Ani (Anlık) İvme

Hareketli bir cismin hızında çok çabuk ve çeşitli değişikliklerin olması ivmesinin değişken olduğunu gösterir. Değişken ivme ile hareket eden cismin yörünge üzerindeki bir noktadan geçtiği andaki ivmesine **ani (anlık) ivme** denir. Anlık ivmenin bilinmesi, anlık hızın hesaplanabilmesini sağlar. Şekil 3.10'daki grafikte L noktasındaki anlık ivmenin bulunması için bu noktadan eğriye teğet çizilir. Bu teğetin eğimi, o noktadaki anlık ivmeyi verir. Teğet eğimi eğrinin her noktasında farklı olacaktır için ani ivmeler de farklıdır.



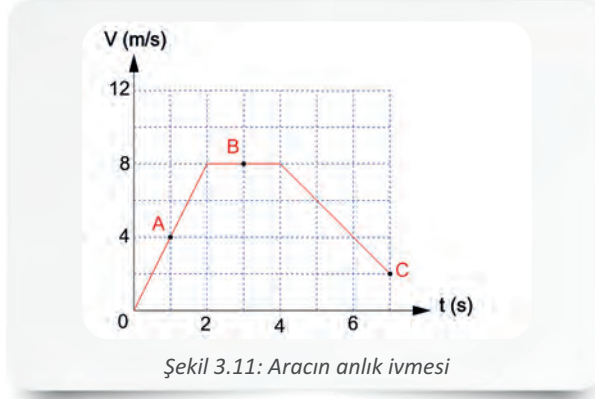
<p>$\Delta v = \text{Hızdaki değişim (m/s)}$</p> <p>$\Delta t = \text{Zamandaki değişim (s)}$</p>	<p>İvme (m/s^2)</p> $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	<p>Anlık ivme (m/s^2)</p> $a_{\text{ani}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	<p>Ortalama ivme (m/s^2)</p> $a_{\text{ort}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V_s - V_i}{t_s - t_i}$
---	---	--	---





3. Öğrenme Birimi

Örnek 13: Düzgün bir yol boyunca hareket eden bir aracın hız zaman grafiği şekildeki gibidir. Aracın A, B ve C noktalarındaki anlık ivmesini hesaplayınız (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Aracın anlık ivmesi

Çözüm:

A noktasındaki anlık ivme: $a_{ani} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{4}{1} = 4 \text{ m/s}^2$ dir.

B noktasındaki anlık ivme: Hızdaki değişim sıfır olduğu için anlık ivme = 0 olur.

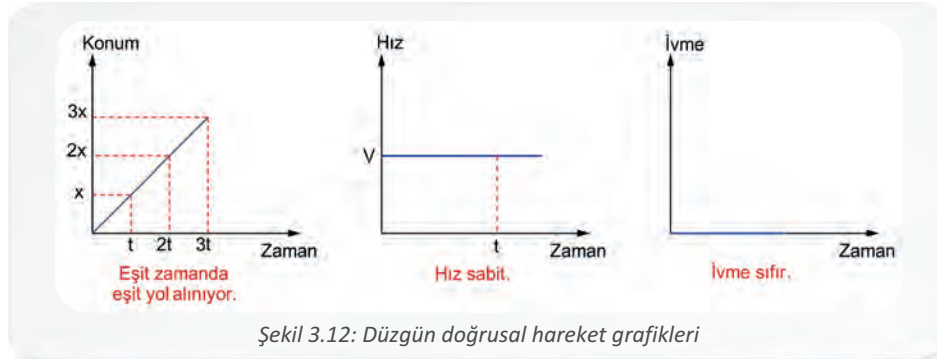
C noktasındaki anlık ivme: $a_{ani} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{2 - 8}{7 - 4} = \frac{-6}{3} = -2 \text{ m/s}^2$ dir.

1.9. Doğrusal Hareket Çeşitleri

Bir cismin hareketi süresince izlediği yolun şekli doğrusal ise bu harekete **doğrusal hareket** denir.

1.9.1. Düzgün Doğrusal Hareket

Doğrusal yolda hareket eden bir cismin hızı zamanla değişmiyorsa yani cisim sabit hızla hareket ediyorsa bu cismin yapmış olduğu harekete **düzgün doğrusal hareket** denir. Düzgün doğrusal hareket yapan bir cismin almış olduğu yol, $X = V \cdot t$ eşitliği ile hesaplanır. Hız sabit olduğu için ivme sıfırdır. Düzgün doğrusal hareket yapan cisme ait grafikler Şekil 3.12'deki gibidir.



Şekil 3.12: Düzgün doğrusal hareket grafikleri

Örnek 14: Saatte 90 km hızla hareket eden bir aracın 30 dakikada almış olduğu yolu hesaplayınız.

Verilenler:

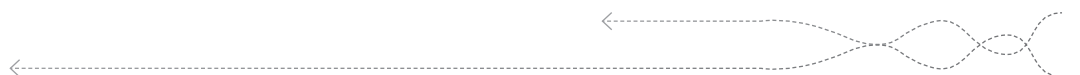
$t = 30$ dakika = 0,5 saat

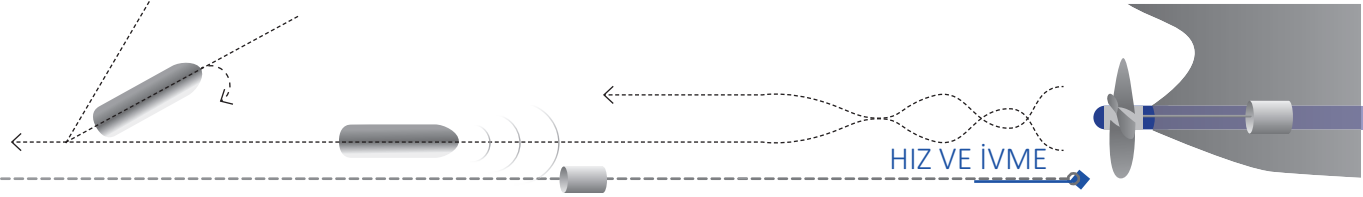
$V = 90$ km/h

Çözüm:

$X = V \cdot t$

$X = 90 \cdot 0,5 = 45$ km olur.





1.9.2. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket

Doğrusal yolda hareket eden bir aracın hızı düzgün değişiyorsa bu harekete **düzgün değişen doğrusal hareket** denir. Düzgün değişen doğrusal harekette ivme sabit olduğundan bu harekete **sabit ivmeli hareket** de denir. Aracın ivmesinin sabit olması, hızın her saniye ivme kadar artması ya da azalması demektir.

İlk hızı olmayan ivmeli hareket: Duran bir cismin harekete başlayıp hızlanması durumudur. Park hâlindeki bir aracın harekete geçmesi, ilk hızı olmayan ivmeli harekete örnektir.

X = Yer değiştirme (m)

t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)

a = İvme (m/s^2)

$$X = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Düzgün hızlanan doğrusal hareket: Belirli bir hızı olan ve düzenli şekilde hızlanan aracın yaptığı harekettir. Doğrusal bir yol boyunca sabit hızla hareket eden bir aracın önündeki aracı geçebilmesi için gaz pedalına sabit bir oranda basılarak aracın hızının zamanla doğru orantılı olarak artırılması düzgün hızlanan doğrusal harekete örnektir. İlk hızı V_0 olan bir aracın hızı, belli bir t zaman sonra V değerine çıkar. Bu durumda cismin son hızı, $V = V_0 + a \cdot t$ eşitliği ile hesaplanır.

X = Yer değiştirme (m)

t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)

a = İvme (m/s^2)

V_0 = Cismin ilk hızı (m/s)

$$X = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Örnek 15: İvmesi $10 m/s^2$ olan bir aracın hızı 5 saniyede $10 m/s$ 'den $60 m/s$ 'ye çıkıyor. Aracın almış olduğu yolu hesaplayınız.

Verilenler:

t = 5 saniye

$V_0 = 10 m/s$

a = $10 m/s^2$

Çözüm:

$$X = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 10 \cdot 5 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 5^2$$

$$X = 50 + \frac{1}{2} \cdot 250 = \mathbf{175 m \text{ olur.}}$$

Düzgün yavaşlayan doğrusal hareket: Düzgün yavaşlayan doğrusal harekette hız, belli bir V_0 hızından başlayarak t zaman sonra V hızına düşer. Bu durumda cismin son hızı, $V = V_0 - a \cdot t$ eşitliği ile hesaplanır. Belirli bir hızla giden bir aracın frenlenerek yavaşlatılması, buna örnek verilebilir.

X = Yer değiştirme (m)

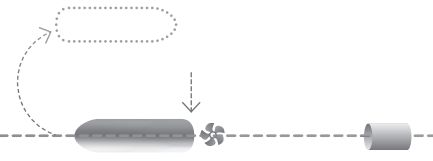
t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)

a = İvme (m/s^2)

V_0 = Cismin ilk hızı (m/s)

$$X = V_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$





1.10. Serbest Düşme

Hava sürtünmesiz bir ortamda, yerden **Y** kadar yükseklikten bırakılan bir cismin sadece yer çekimi etkisi ile yapmış olduğu harekete **serbest düşme** denir. Serbest düşmede cismin ilk durumu ve hareket yönü ne olursa olsun yer çekimi (**g**) sabit ve aşağı doğrudur. Düşen cismin hareket ivmesi, yer çekimi ivmesi kadardır ve cisim, yere çarpana kadar yer çekimi ivmesi ile düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar. Serbest düşme hareketinde alınan yol, düşey doğrultuda yani koordinat düzlemindeki **y eksenini** boyunca olduğu için **Y** harfi ile ifade edilir.

1.10.1. Duran Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi

İlk hızı sıfır olan bir cismin yer çekimi etkisi ile hızlanarak aşağıya doğru düşmesidir. Cismin hızının artışı zamanla orantılıdır ve cismin **t** zaman kadar sonra sahip olduğu hız, **V = g . t** eşitliği ile hesaplanır.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m)
t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)
g = Yer çekimi ivmesi (m/s²)

Cismin herhangi bir t süresi boyunca almış olduğu yol,
 $Y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ formülü ile hesaplanır.

Örnek 16: 100 metre yükseklikten bırakılan bir cismin yere çarpma hızını ve yere çarpma süresini hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

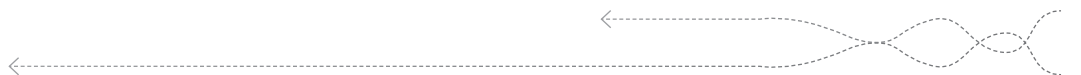
Verilenler:	Çözüm:	
Y = 100 m	$Y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	V = g . t
g = 10 m/s ²	$100 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$	V = 10 . 4,47
t = ?	t ² = 20	V = 44.7 m/s bulunur.
V = ?	t = 4,47 s olur.	

1.10.2. Aşağı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi

V₀ ilk hızı ile aşağı doğru atılan bir cismin hızı gittikçe artar; cismin t zaman sonraki hızı hesaplanırken **V = V₀ + g . t** eşitliği kullanılır.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m)
t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)
g = Yer çekimi ivmesi (m/s²)
V₀ = İlk hız (m/s)

Cismin herhangi bir t süresi boyunca almış olduğu yol,
 $Y = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ formülü ile hesaplanır.





Örnek 17: İlk hızı 5 m/s olan bir cisim, aşağı doğru atıldıktan 6 saniye sonra yere çarpıyor. Buna göre,

- Cismin son hızı kaç m/s'dir?
- Cismin almış olduğu yol kaç metredir ($g = 10 \text{ m/s}^2$)?

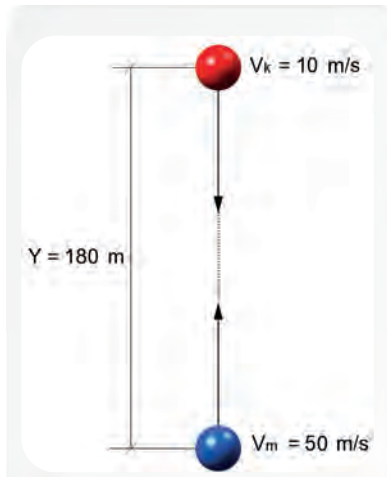
Verilenler:	Çözüm:	
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$V_s = V_0 + g \cdot t$	$Y = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 5 \cdot 6 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 6^2$
$V_0 = 5 \text{ m/s}$	$V_s = 5 + 10 \cdot 6$	$Y = 30 + \frac{1}{2} \cdot 360$
$t = 6 \text{ s}$	$V_s = 65 \text{ m/s'dir.}$	$Y = 30 + 180 = 210 \text{ metre olur.}$
$Y = ?$		
$V_s = ?$		

1.10.3. Yukarı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi

V_0 ilk hızı ile yukarı doğru atılan bir cismin bir süre sonra yavaşlayarak durması ve ilk hızı sıfır bir şekilde serbest düşme hareketi yapmasıdır. Yukarı doğru atılan cismin yavaşlayarak durmasının sebebi, hareketin yönü ile yer çekimi ivmesinin birbiri ile zıt yönlü olmasıdır. Yukarı doğru atılan bir cismin t zaman sonundaki hızı, $V = V_0 - g \cdot t$ eşitliği ile hesaplanır.

$Y =$ Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m)	Cismin herhangi bir t süresi boyunca almış olduğu yol,
$t =$ Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)	$Y = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ formülü ile hesaplanır.
$g =$ Yer çekimi ivmesi (m/s^2)	
$V_0 =$ İlk hız (m/s)	

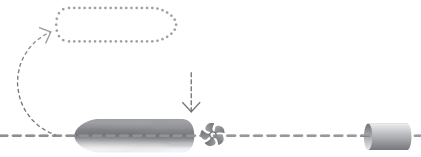
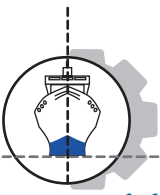
Örnek 18: Şekil 3.13'teki gibi iki toptan kırmızı olanı 10 m/s hızla aşağı doğru, mavi olanı 50 m/s hızla yukarı doğru atılıyor. Toplar yerden kaç metre yüksekte çarpışır ($g = 10 \text{ m/s}^2$)?



Şekil 3.13: Topların çarpışma mesafesi

Verilenler:	Çözüm:	
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$Y_k = V_k \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	$Y_M = V_M \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
$V_k = 10 \text{ m/s}$	$Y_M = V_M \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	$Y_M = 50 \cdot 3 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2$
$V_M = 50 \text{ m/s}$	$Y = V_k \cdot t + V_M \cdot t$	$Y_M = 150 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 9$
$Y = 180 \text{ m}$	$180 = 10 \cdot t + 50 \cdot t$	$Y_M = 150 - 45$
	$180 = 60 \cdot t$	$Y_M = 105 \text{ metre bulunur.}$
	$t = 3 \text{ saniye olur.}$	





1.11. Atış Hareketleri

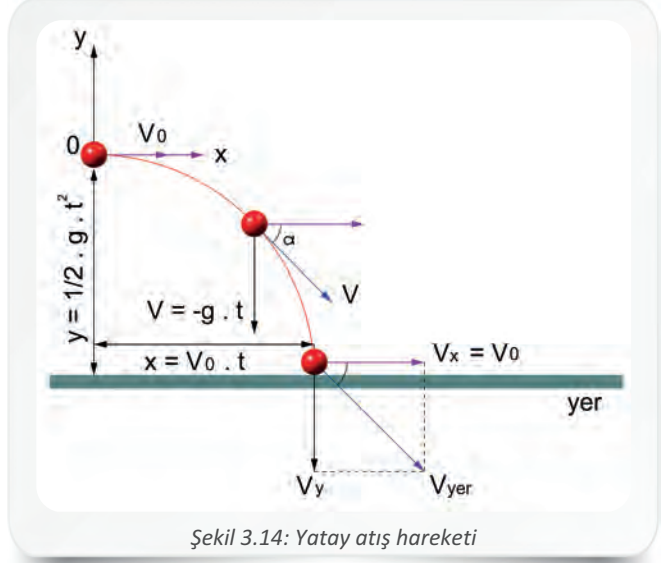
Yatay ve eğik atış olmak üzere iki tür atış hareketi vardır.

1.11.1. Yatay Atış Hareketi

Hava dirençsiz bir ortamda, yerden belli bir yükseklikte V_0 ilk hızı ile yatay olarak atılan cismin yaptığı hareket **yatay atış hareketi** denir (Şekil 3.14).

Atış hareketi hava direncinin önemsiz olduğu ortamda kütleden bağımsızdır. Gökyüzündeki bir uçaktan atılan cismin yapmış olduğu hareket yatay atış hareketine örnek verilebilir.

Yatay atış yapılan cismin hareketi yatay (**x**) ve düşey (**y**) bileşenlerine ayrılarak incelenir. Cisim, yatay düzlemde sabit hızla hareket ederken düşey düzlemde serbest düşme hareketi yapar. Yatay atış hareketi yapan bir cismin herhangi bir andaki hızı, $V^2 = V_x^2 + V_y^2$ eşitliği ile hesaplanır. Cismin yatay ve düşey doğrultuda almış olduğu yol formülleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.14: Yatay atış hareketi

X = Cismin yatay doğrultuda almış olduğu yol (m)

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m)

t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)

g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

V_0 = İlk hız (m/s)

$$X = V_0 \cdot t$$

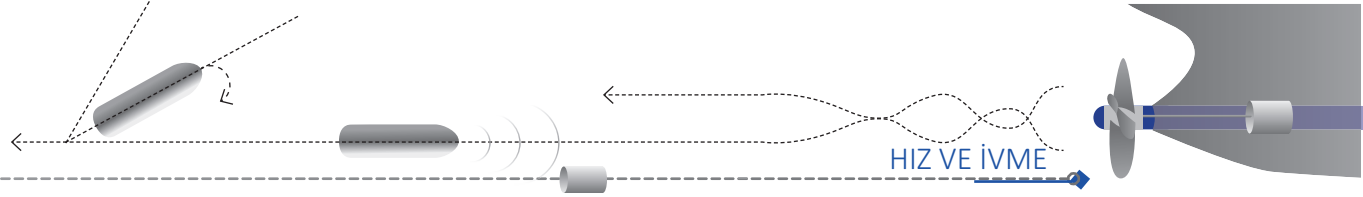
$$Y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Örnek 19: Yerden 100 metre yüksekten yatay 25 m/s hızla bir cisim atılıyor.

- Cismin havada uçuş süresi nedir ($g = 10 m/s^2$ alınacaktır.)?
- Yatay doğrultuda aldığı yol ne kadardır?

Verilenler:	Çözüm:
$g = 10 m/s^2$	$Y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
$V_0 = 25 m/s$	$100 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$
$Y = 100 m$	$100 = 5 \cdot t^2$
$X = ?$	$20 = t^2$
$t = ?$	$t = 4,47 s' \text{ dir.}$
	$X = V_0 \cdot t$
	$X = 25 \cdot 4,47$
	X = 111,75 m' dir.

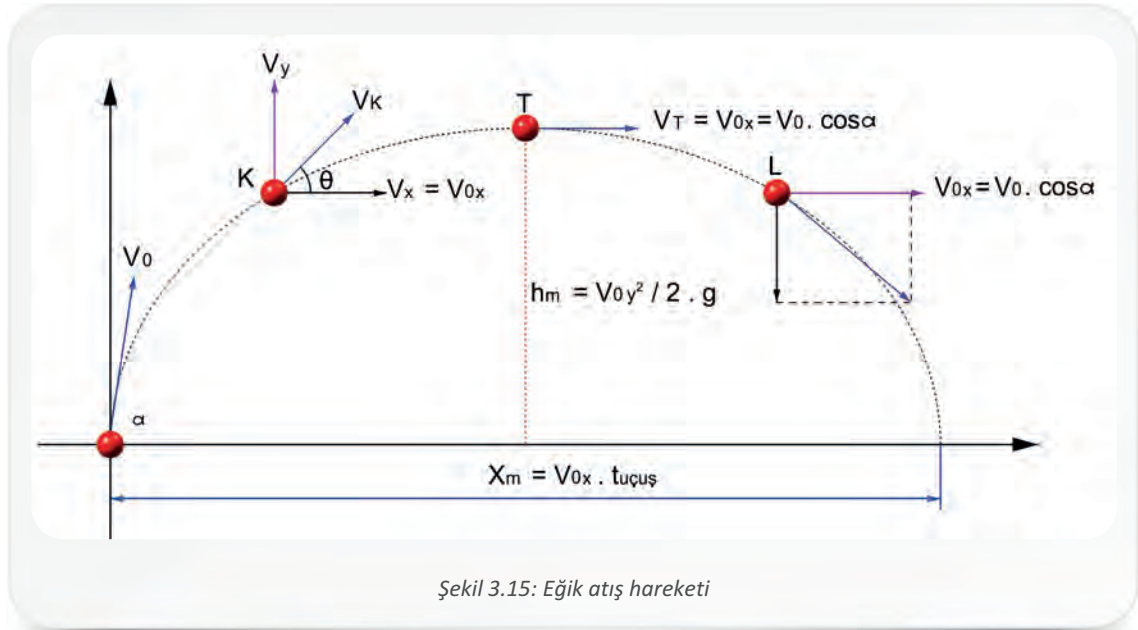




1.11.2. Eğik Atış Hareketi

Yatay düzlemle belli bir açıda ve belli bir ilk hızla fırlatılan cismin yapmış olduğu harekete **eğik atış hareketi** denir. Eğik atış hareketi yapan bir cismin herhangi bir andaki hızı, yatay ve düşey hızların bileşkesi olarak Pisagor bağıntısı ile hesaplanır. Bu durumda yatay düzlemdeki hız, $V_{0x} = V_0 \cdot \cos\alpha$ ve düşey düzlemdeki hız, $V_{0y} = V_0 \cdot \sin\alpha$ bağıntıları ile hesaplanır.

Cismin maksimum yükseklığe çıkış süresi iniş süresine eşittir. Yukarı yönde eğik atış hareketi yapan bir cisme yatay eksende bir kuvvet etki etmediğinden cisim yatay eksende sabit hızla hareket eder. Düşey eksende ise yer çekimi etkisi ile cisim, önce yukarı yönde düzgün yavaşlayan hareket yapar ve cismin hızı tepe noktasında sıfırlanır. Tepe noktasından itibaren cismin yaptığı hareket yatay atış hareketidir ve cismin düşey eksende hızı düzgün artar (Şekil 3.15). Cismin yere çarpma hızı V_{0y} olur.



Şekil 3.15: Eğik atış hareketi

Cismin yatay ve düşey doğrultuda almış olduğu yol formülleri ve hızın düşey düzlemde herhangi bir andaki değeri (V_y) aşağıdaki gibidir.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m)

X = Cismin belli bir zaman içerisinde almış olduğu yol (m)

t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)

g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

V_0 = İlk hız (m/s)

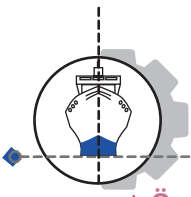
V_y = Hızın düşey düzlemde herhangi bir andaki değeri (m/s)

$$V_y = V_0 \cdot \sin\alpha - g \cdot t$$

$$X = V_0 \cdot t \cdot \sin\alpha$$

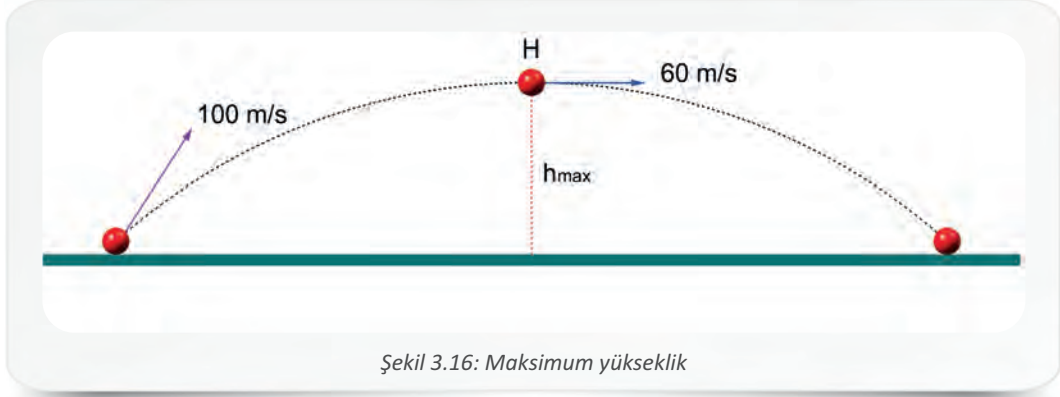
$$Y = V_0 \cdot t \cdot \sin\alpha - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$





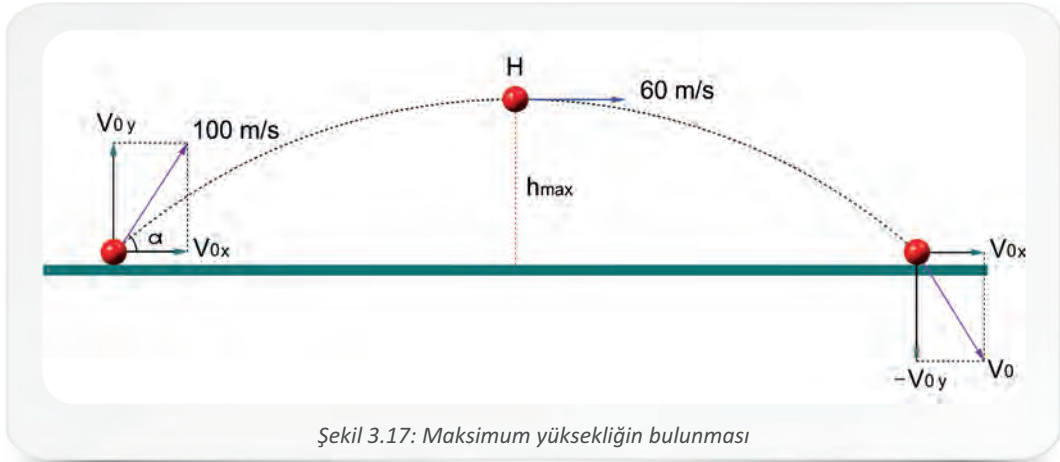
3. Öğrenme Birimi

Örnek 20: Şekil 3.16'daki gibi yerden 100 m/s'lik hızla atılan bir cisim maksimum H noktasından 60 m/s hızla geçtiğine göre maksimum yüksekliği hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$).



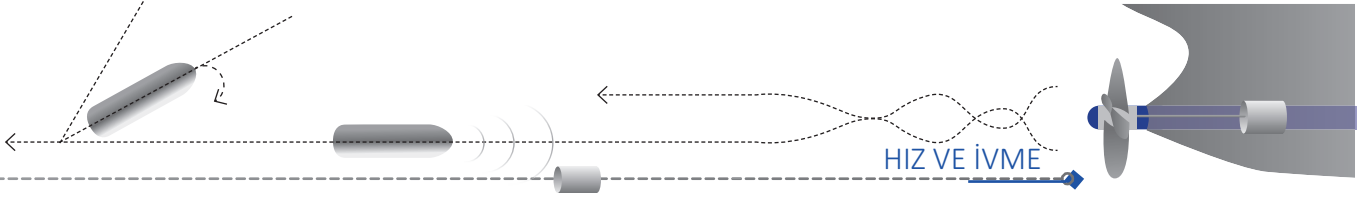
Şekil 3.16: Maksimum yükseklik

Verilenler:	Çözüm:
$g = 10 \text{ m/s}^2$	H noktasında yatay hız 60 m/s olduğu için yatay düzlemde hızı $V_{0x} = 60 \text{ m/s}$ olur (Şekil 3.17).
$V_0 = 100 \text{ m/s}$	$V^2 = V_{0x}^2 + V_{0y}^2$
$V_{0x} = 60 \text{ m/s}$	$100^2 = 60^2 + V_{0y}^2$
	$V_{0y}^2 = 10000 - 3600 = 6400$
	$V_{0y} = 80 \text{ m/s}$
	$V^2 = V_{0y}^2 - 2 \cdot g \cdot h$
	Tepe noktasında düşey hız, sıfıra eşit olacağı için
	$0 = 80^2 - 2 \cdot 10 \cdot h$
	$20h = 6400$
	$h = 320 \text{ m}$ olur.



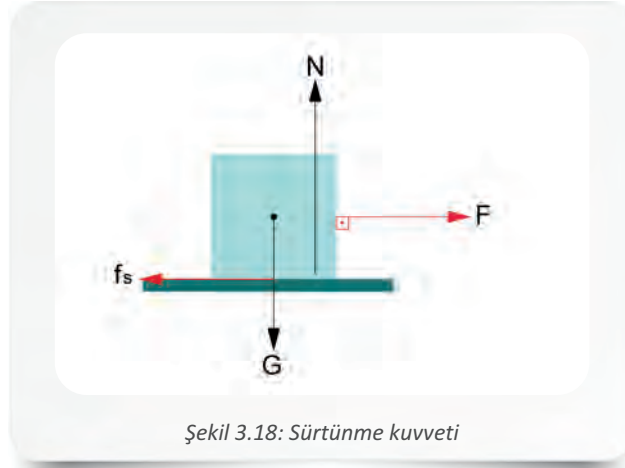
Şekil 3.17: Maksimum yüksekliğin bulunması





2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

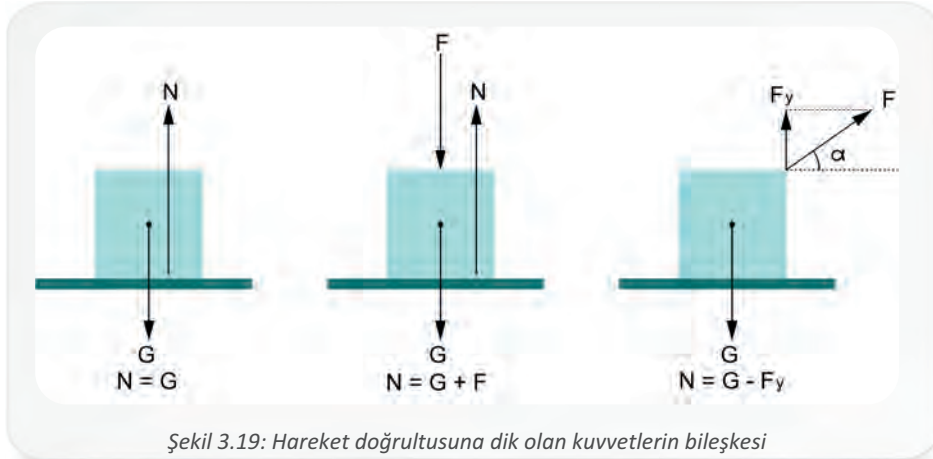
Bir cismin, zemin üzerinde veya hava, su gibi akışkanların içerisinde harekete geçmesini zorlaştıran veya hareket hâlindeki cismin hareketini güçleştiren zıt yönlü kuvvete **sürtünme kuvveti** denir. Sürtünme kuvveti vektörel bir büyüklük olup birimi **N**'dur (Şekil 3.18).

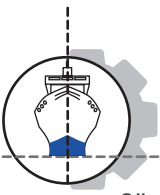


Günlük hayatta, sürtünme kuvvetinin olumlu ve olumsuz etkilerine tanık olunabilir. Çalışan bir gemi makinesinin parçalarında sürtünme olması, üretilen hareket enerjisinin bir kısmının kaybolmasına, dolayısıyla verimin düşmesine ve makine parçalarının aşınmasına neden olur. Sürtünme kuvvetinin bu gibi olumsuz etkilerinin yanında olumlu etkileri de vardır. Örneğin sürtünme kuvvetinin az olduğu kaygan zeminlerde yürüyebilmek zordur veya sürtünme kuvvetinin olmadığı hareketli bir sistemde ayakta durabilmek imkânsızdır. Bu tür zeminlerde ayakta durabilmek ve yürüyebilmek için sürtünme kuvvetine ihtiyaç duyulur. Sürtünme kuvveti, cismin temas ettiği zeminin cinsine bağlı olarak değişir. Zeminle olduğu gibi hava ile de sürtünme olması durumuna **hava direnci** denir.

Sürtünme kuvvetinin (f_s) yüzeye dik olan tepki kuvvetine (**N**) oranı, sürtünme katsayısını (**k**) verir ($k = f_s / N$). Sürtünme katsayısı 0 ile 1 arasında birimsiz bir sayıdır.

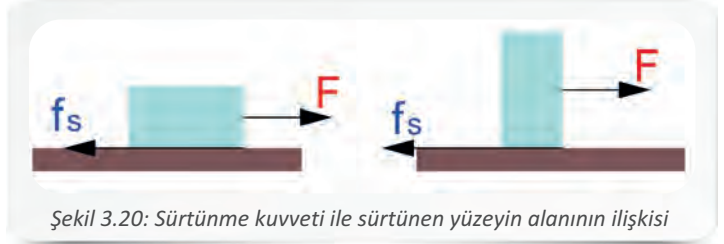
Sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, yüzeye etki eden tepki kuvveti ile doğru orantılı olduğu için $f_s = k \cdot N$ olur (Şekil 3.19).





3. Öğrenme Birimi

Sürtünme kuvveti, cisimlerin sürtünen yüzeylerinin alanına bağlı değildir. Şekildeki cisim, aynı zemin üzerinde ve cismin farklı yüzeylerinde hareket ettirilmeye çalışıldığında oluşan sürtünme kuvvetleri eşittir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20: Sürtünme kuvveti ile sürtünen yüzeyin alanının ilişkisi

Sürtünmeli zemin üzerindeki bir cisme kuvvet uygulandığında karşılaşılabilecek durumlar şunlardır:

- Duran cisme uygulanan kuvvet, sürtünme kuvvetinden büyükse cisim düzgün hızlanan hareket yapar.
- Cisme uygulanan kuvvetle sürtünme kuvvetinin eşit olması durumunda, duran cisim harekete geçemez ama cismin ilk hızı varsa net kuvvet sıfır olduğu için cisim sabit hızlı hareket yapar.
- Sürtünme kuvvetinin cisme etki eden kuvvetten büyük olması durumunda ise ilk hızı olan bir cisim düzgün yavaşlayarak durur.

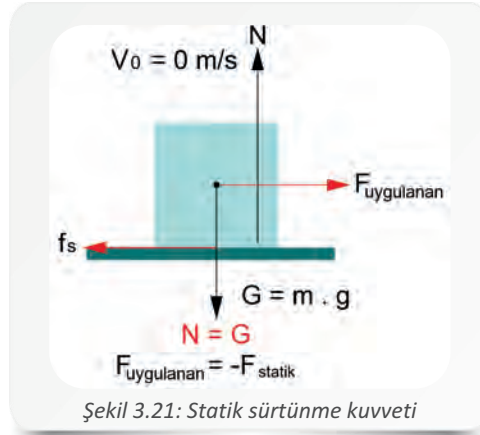
Cismin hareket ettiği yüzeye bağlı olarak cisme uygulanan kuvvet değişir. Örneğin pürüzlü yüzeylerde sürtünme kuvveti daha büyük olacağından cismi hareket ettirmek için uygulanan kuvvetin de büyük olması gerekir. Ayrıca cismin ağırlığının artması durumunda cismin ve yüzeyin girinti ve çıkıntıları birbiri içine daha fazla gireceğinden sürtünme kuvveti artar. Bu durumda da cismi hareket ettirmek için uygulanan kuvvetin artırılması gerekir.

2.1. Kayma Sürtünmesi

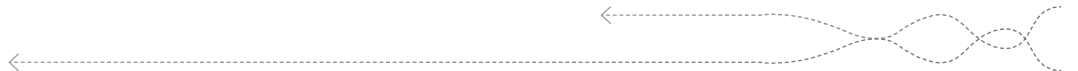
Birbiri üzerinde kayarak hareket eden cisimlerin temas yüzeylerinde meydana gelen sürtünmeye **kayma sürtünmesi** denir. İki yüzey arasındaki sürtünme kuvveti, yüzeylerin hareketli olup olmamasına bağlı olarak değişiklik gösterir. Sürtünme kuvveti, cismin durgun veya hareketli olması durumuna göre statik sürtünme kuvveti ve kinetik sürtünme kuvveti olmak üzere ikiye ayrılır.

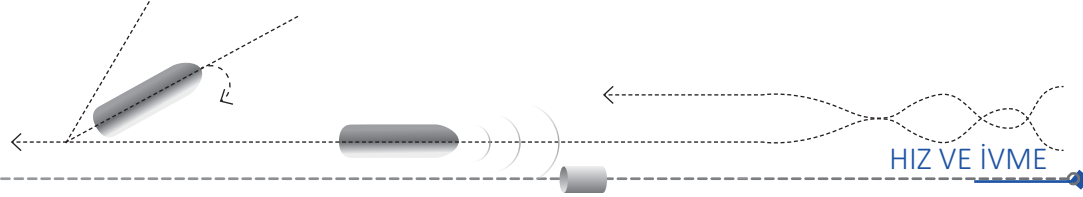
2.1.1. Statik Sürtünme Kuvveti

Durgun bir cismi harekete geçirebilecek kuvvetle eşit büyüklükte, zıt yönlü ve aynı doğrultulu olan kuvvete **statik sürtünme kuvveti (fs)** denir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: Statik sürtünme kuvveti

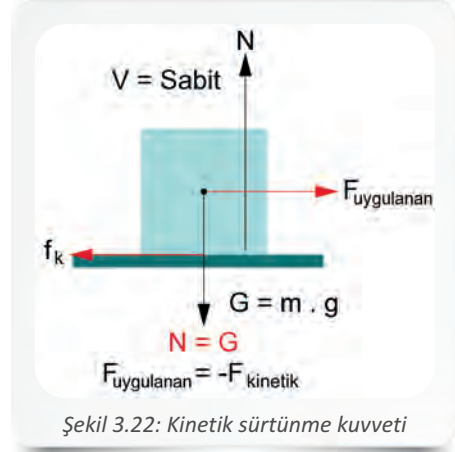




2.1.2. Kinetik Sürtünme Kuvveti

Hareket halindeki bir cismin hareketini sabit hızda tutan kuvvetle eşit büyüklükte, aynı doğrultulu ve zıt yönlü olan kuvvete **kinetik sürtünme kuvveti** (f_k) denir (Şekil 3.22).

Aynı yüzey üzerindeki aynı cisme etki eden statik sürtünme kuvveti ile kinetik sürtünme kuvveti karşılaştırıldığında, statik sürtünme katsayısının kinetik sürtünme katsayısından her zaman büyük olduğu görülür. Her iki sürtünme kuvvetinin değerleri birbirine yakın olduğu için hesaplamalarda sürtünme kuvvetleri eşit kabul edilir ve her iki kuvvet yerine de sürtünme kuvveti ($f_{sür}$) kullanılır.



Şekil 3.22: Kinetik sürtünme kuvveti

Örnek 21: Sabit hızla hareket eden 3 kg'lık bir cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,4 olduğuna göre cisme etkiyen sürtünme kuvvetini hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır.).

Verilenler:	Çözüm:
$m = 3 \text{ kg}$	$N = m \cdot g$
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$N = 3 \cdot 10 = 30 \text{ N olur.}$
$k = 0,4$	$f_{sür} = k \cdot N$
$N = G$	$f_{sür} = 0,4 \cdot 30$
$f_{sür} = ?$	$f_{sür} = 12 \text{ N bulunur.}$

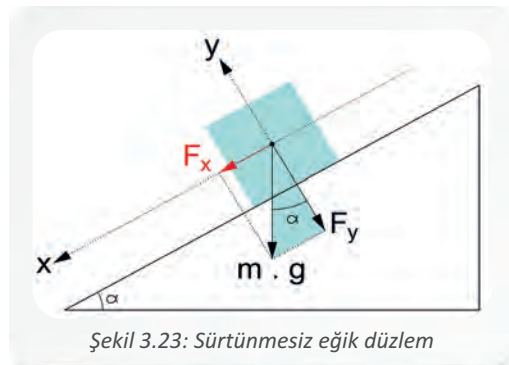
2.2. Eğik Düzlem

Cisimleri belli bir yüksekliğe çıkarmak amacıyla yapılan ve yüzeyin yatay eksenle belli bir açı yapacak şekilde yerleştirilmesi ile elde edilen düzeneğe **eğik düzlem** denir. El arabasının ya da tekerlekli sandalyenin belli bir yüksekliğe çıkabilmesi için kullanılan rampa, eğik düzleme örnek verilebilir.

2.2.1. Sürtünmesiz Eğik Düzlem

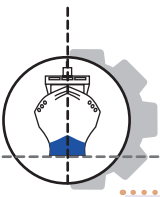
Sürtünmesi önemsiz α açılı eğik bir düzleme bırakılan m kütleli bir cisme etkiyen birden çok kuvvet vardır (Şekil 3.23). Eğik düzlemdeki cismin ağırlık kuvveti, eğik düzleme dik olan (F_y) ve eğik düzleme paralel olan (F_x) kuvvet bileşenlerine ayrılarak bulunur. Bu kuvvetlerden düzleme dik olan F_y kuvveti, $F_y = m \cdot g \cdot \sin\alpha$ ve düzleme paralel olan F_x kuvveti, $F_x = m \cdot g \cdot \cos\alpha$ bağıntıları ile hesaplanır.

Eğik düzlem üzerindeki cismi, aşağı yönde hareket ettiren kuvvet F_x kuvvetidir. Buna göre cismin ivmesi, mekaniğin alt dallarından birisi olan dinamiğin temel prensiplerinden yararlanılarak bulunur. Dinamik, hareket ile harekete sebep olan ve hareketi değiştiren unsurları inceler.



Şekil 3.23: Sürtünmesiz eğik düzlem





3. Öğrenme Birimi

$$F_{\text{net}} = m \cdot a$$

$$F_x = m \cdot a$$

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha = m \cdot a$$

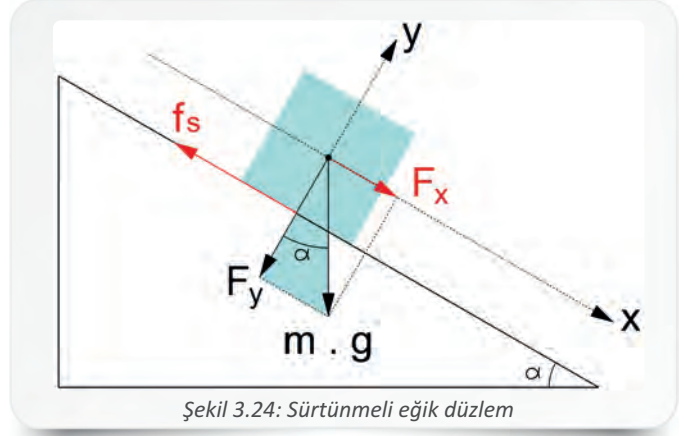
$$a = g \cdot \sin\alpha \text{ olarak bulunur.}$$

Bu bağıntıdan da anlaşıldığı gibi cismin ivmesi, düzlemin eğim açısı ile yer çekimi ivmesine bağlıdır. Eğik düzlem üzerinde hareket eden cismin aldığı yol, kazandığı hız ve geçen süre hızlanan hareketin özelliklerinden faydalanılarak bulunur.

2.2.2. Sürtülmeli Eğik Düzlem

Sürtülmeli eğik düzlemdeki cismin ağırlık kuvvetinin bileşenleri de sinüs ve kosinüs bağıntıları kullanılarak hesaplanır. Sürtünme kuvveti ise $N = F_y$ olduğu için $f_s = k \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$ eşitliği ile hesaplanır (Şekil 3.24).

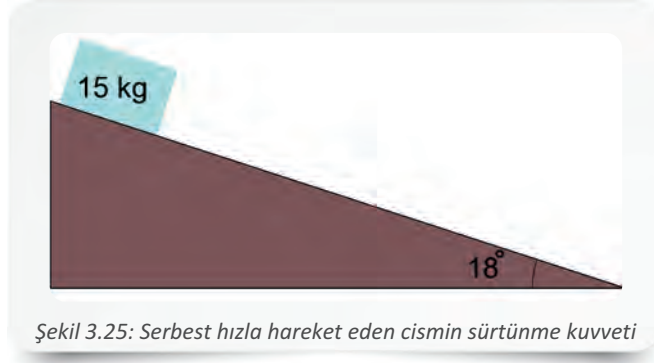
Cismin sürtülmeli eğik düzlemde hareket edebilmesi için düzleme paralel olan F_x kuvvetinin sürtünme kuvvetinden (f_s) büyük olması gerekir. F_x ve f_s kuvvetlerinin eşit olması durumunda cismin ilk hızı yoksa cisim harekete geçmez, ilk hızının olması durumunda ise cisim sabit hızlı hareket yapar. F_x kuvvetinin f_s kuvvetinden küçük olması durumunda ise cisim harekete geçmez, ilk hızla atılırsa aşağı doğru yavaşlayan hareket yapar.



Şekil 3.24: Sürtülmeli eğik düzlem

Sürtülmeli eğik düzlemdeki cismin ivmesi, $F_x - f_s = m \cdot a$ bağıntısı ile hesaplanır.

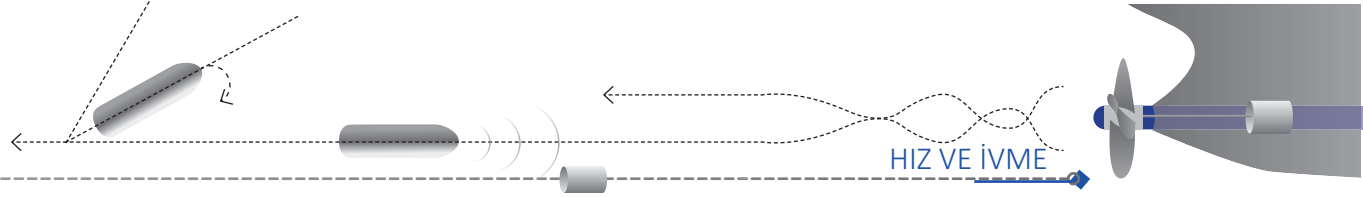
Örnek 22: Ağırlığı 15 kg olan bir cisim, Şekil 3.25'teki gibi 18° eğimli bir düzlemde sabit hızla hareket etmektedir. Buna göre cisme etki eden sürtünme kuvvetini hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır).



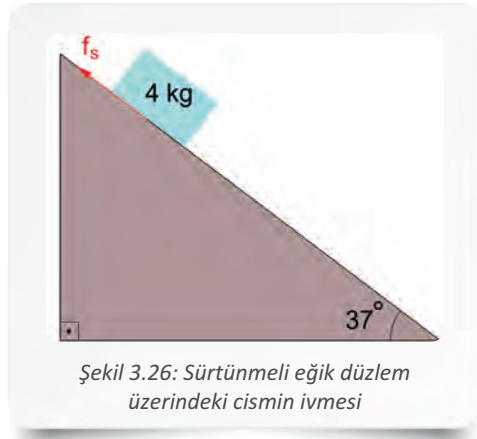
Şekil 3.25: Serbest hızla hareket eden cismin sürtünme kuvveti

Verilenler:	Çözüm:
$m = 15 \text{ kg}$	$F_x = f_s = m \cdot g \cdot \sin\alpha$
$\sin 18^\circ = 0,3$	$f_s = 15 \cdot 10 \cdot 0,3$
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$f_s = 45 \text{ N bulunur.}$





Örnek 23: Sürtünme katsayısı 0,3 olan bir eğik düzlemin üzerindeki 4 kg'lık cisme etki eden kuvvet 40 N olduğuna göre cismin ivmesinin kaç m/s^2 olduğunu hesaplayınız (Şekil 3.26).



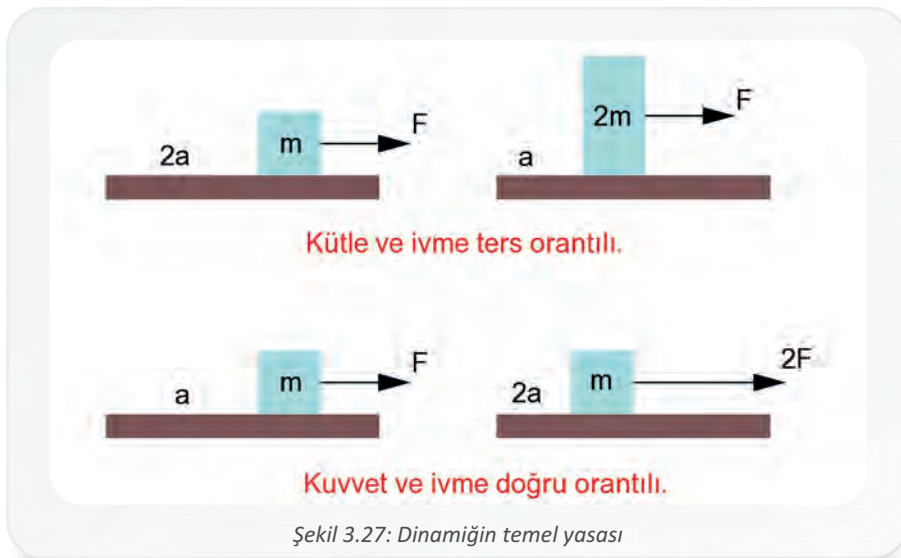
Şekil 3.26: Sürtümlü eğik düzlem üzerindeki cismin ivmesi

Verilenler:	Çözüm:
$m = 4 \text{ kg}$	$F_s = k \cdot N = k \cdot F_y$
$k = 0,3$	$F_s = k \cdot (m \cdot g \cdot \cos\alpha)$
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$F_s = 0,3 \cdot (4 \cdot 10 \cdot 0,8) = 9,6 \text{ N}$
$F = 40 \text{ N}$	$F_x - F_s = m \cdot a$
$\sin 37^\circ = 0,6$	$m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_s = m \cdot a$
$\cos 37^\circ = 0,8$	$4 \cdot 10 \cdot 0,6 - 9,6 = 4 \cdot a$
$N = F_y$	$24 - 9,6 = 4a$
	$14,4 = 4a$
	$a = 3,6 \text{ m/s}^2$ olur.

2.3. Newton'un İkinci Hareket Kanunu (Dinamiğin Temel Yasası)

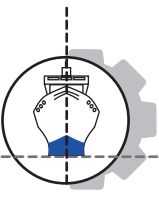
Newton'un birinci hareket kanununa göre cisme etkiyen net kuvvetin sıfır olması durumunda cismin ivmesinin de sıfır olduğu bilinir. Cisim, böyle bir durumda ya durur ya da doğrusal bir yönde sabit hızla hareket eder.

Newton'un ikinci hareket kanunu ise cisme sıfırdan farklı bir bileşke kuvvet etki ettiğinde cismin hareketinde meydana gelen değişikliklerle ilgilidir. Buna göre; bir cismin ivmesi, cisme etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı, cismin kütlesi ile ters orantılıdır. Daha açık bir ifadeyle birbirinden farklı kütlesi olan cisimlere uygulanan eşit kuvvet, kütlesi büyük olan cisme daha küçük bir ivme kazandırır. Kuvvet sabit kalmak koşulu ile cismin kütlesinin arttığı oranda ivme azalır. Cismin kütlesi aynı kalmak koşulu ile cisme uygulanan kuvvet artırılırsa cismin kazandığı ivme de aynı oranda artar. Kuvvet, kütle ve ivme arasındaki bu bağıntı Şekil 3.27'de görüldüğü gibi ifade edilir.



Şekil 3.27: Dinamiğin temel yasası





3. Öğrenme Birimi

$F = \text{Kuvvet (N)}$

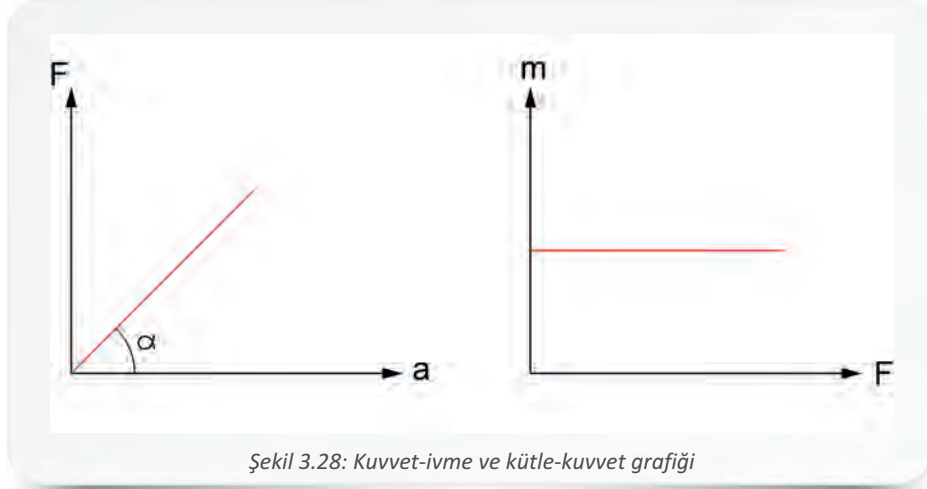
$m = \text{Kütle (kg)}$

$a = \text{İvme (m/s}^2\text{)}$

Kuvvet = kütle . ivme

$$F = m \cdot a$$

Kuvvet-ivme grafiğinin eğimi ($\tan \alpha = F / a$), kütle (m) verir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kuvvet vektörü ile ivme vektörünün doğrultuları ve yönleri aynıdır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28: Kuvvet-ivme ve kütle-kuvvet grafiği

Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareket doğrultusuna paralel ve hareketle aynı yönde ise cisim, düzgün hızlanan hareket yapar ve cismin yörüngesi doğrusal olur. Kuvvetin dik olması durumunda ise cismin yörüngesi eğrisel olur (Şekil 3.29). Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareketine zıt yönde ise cisim, önce düzgün yavaşlayarak durur ve sonra kuvvet yönünde düzgün hareket yapar. Sürtünmesiz yüzeyde hareket eden bir cisme etkiyen kuvvet, cismin hareket doğrultusuna sürekli dik olursa cismin hız vektörünün büyüklüğü değişmez fakat yönü değişir.



Şekil 3.29: Cismin yörüngesi

Örnek 24: Sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde kütlesi 4 kg olan bir cisme 5 N'luk kuvvet uygulanarak cisim hareket ettiriliyor. Hareket eden cismin ivmesini hesaplayınız.

Verilenler:

$$F = 5 \text{ N}$$

$$m = 4 \text{ kg}$$

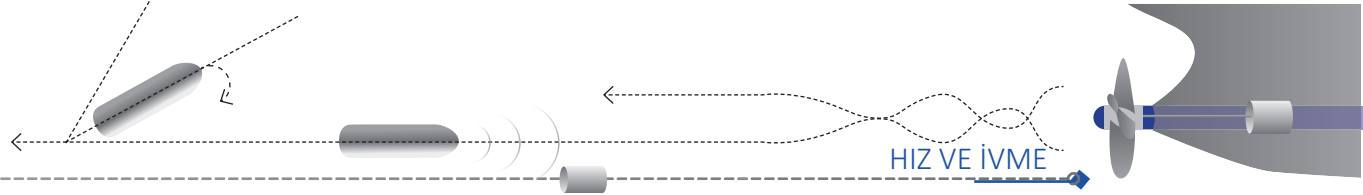
Çözüm:

$$F = m \cdot a$$

$$5 = 4 \cdot a$$

$$a = 1,25 \text{ m/s}^2 \text{ olur.}$$





Örnek 25: Sürtünmesiz yatay düzlem üzerindeki m kütleli bir cisme Şekil 3.30'daki gibi iki farklı kuvvet aynı anda etki ettiğinde cisim $0,4 \text{ m/s}^2$ lik ivmeyle hareket ediyor. Buna göre cismin kütlelerinin kaç kg olduğunu hesaplayınız.



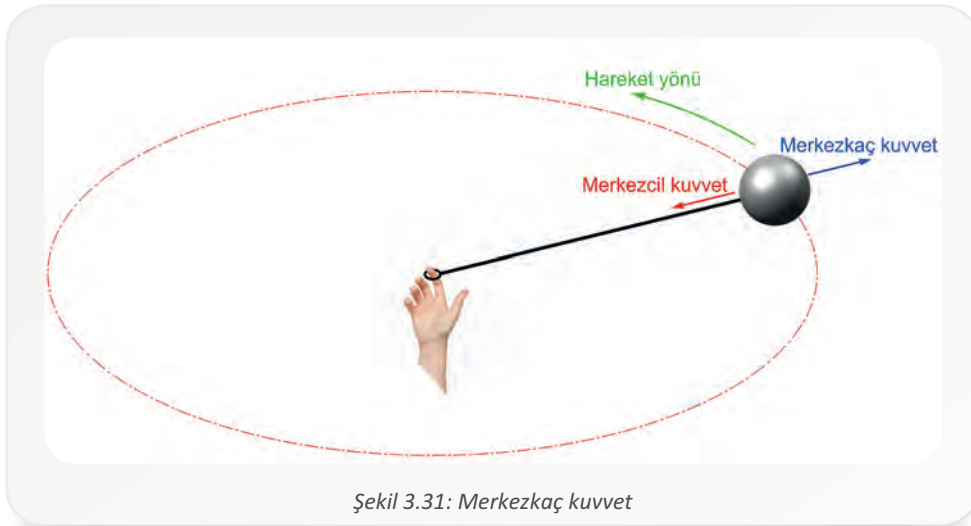
Verilenler:	Çözüm:
$F_1 = 4 \text{ N}$	$F = m \cdot a$
$F_2 = 12 \text{ N}$	$m = \frac{F_2 - F_1}{a} = \frac{12 - 4}{0,4} = \frac{8}{0,4}$
$a = 0,4 \text{ m/s}^2$	$m = 20 \text{ kg}$ olur.
$m = ?$	

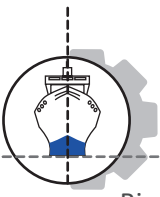
3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMIĞI İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Kuvvet etkisindeki cismin hareketini inceleyen bilim dalına **dinamik** denir. Dinamiğin hareketin özelliklerini, hareketi doğuran nedenleri göz önünde bulundurmadan inceleyen dalına **kinematik**, harekete sebep olan kuvvetleri inceleyen dalına ise **kinetik** denir.

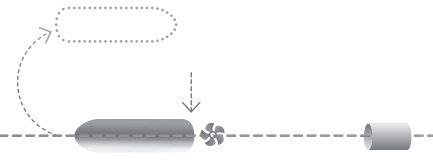
3.1. Merkezkaç Kuvvet

Bir ipin ucuna taş bağlanıp ip hızlıca çevrilmeye başlandığında taş, bir çember biçiminde dönerek ipi gergin tutar. İpin kopması ya da bırakılması durumunda ise taş düz bir çizgi hâlinde fırlar (Şekil 3.31). Atletizmdeki çekiç atma sporunda, çekicinin yapmış olduğu hareket bu duruma örnek verilebilir.





3. Öğrenme Birimi



Bir merkez çevresinde dönen cismin merkezden uzaklaşarak dışa doğru uyguladığı kuvvete **merkezkaç kuvvet** denir. Dairesel hareket yapan cismin ağırlığı arttıkça ona etki eden merkezkaç kuvvet de artar. Santrifüj makineleri merkezkaç kuvvet prensibine göre çalışmaktadır. Gemilerde balast pompası olarak merkezkaç (santrifüj) pompalar kullanılmaktadır.

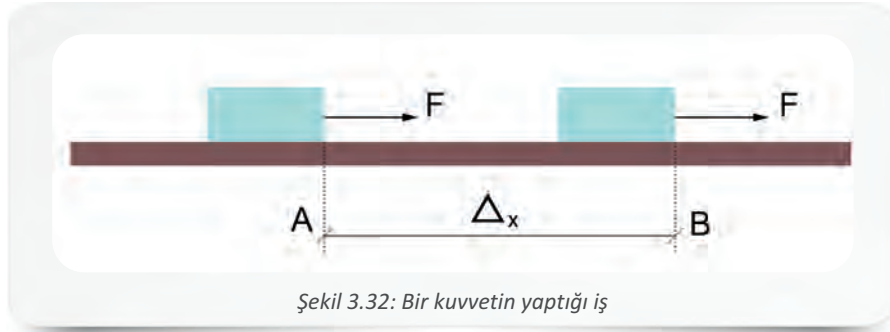
Dairesel hareket sırasında cismin merkezden uzaklaşmasını engellemek yani cismi yörüngede tutmak için gerekli olan kuvvete ise **merkezcil kuvvet** denir. Bisikletçilerin ve motosikletçilerin dönemeçleri dönerken dönme merkezinin içine doğru yatmaları, merkezkaç kuvvetin etkisine karşı koymak içindir.

3.2. İş

Konuşma ve yazı dilinde çeşitli anlamlarıyla kullanılan iş sözcüğü, aynı zamanda fizik bilimi ile ilgili bir terimdir. Fizik terimi olarak **iş**, bir cisme kuvvet uygulandığında cismin kuvvet etkisi ile hareket etmesi durumuna denir. Fiziksel anlamda işin gerçekleşebilmesi için cisme en az bir kuvvetin uygulanması ve uygulanan bu kuvvetin sürtünme kuvvetini yenerek cismi hareket ettirmesi gerekir. Ayrıca, cisme uygulanan kuvvetin doğrultusu ile yolun aynı doğrultuda olması ya da kuvvetin bileşenlerinden birinin yol doğrultusunda olması da gerekir. Bu şartlardan en az birinin eksik olması durumunda iş yapılmış sayılmaz.

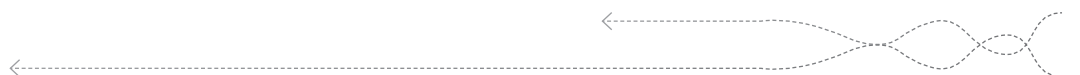
Bir inşaat işçisinin çimento dolu el arabasını kuvvet uygulayarak hareket ettirmesi bir iştir, ancak el arabasının içerisindeki yük fazla olduğu için ne kadar emek harcarsa harcarsın el arabasını hareket ettirememesi durumunda iş gerçekleşmez.

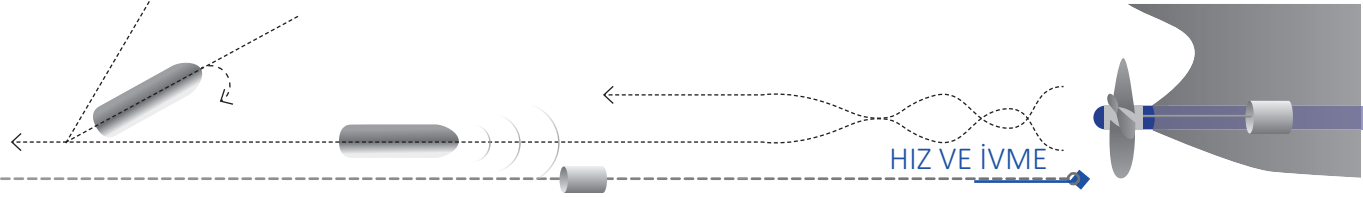
Bir kuvvetin yaptığı iş (**W**), cisme uygulanan kuvvet (**F**) ve cismin yer değiştirme mesafesinin (**Δx**) çarpımına eşittir. Şekildeki gibi yatay sürtünmesiz düzlem üzerinde hareket etmekte olan bir cisme hareketi yönünde uygulanan **F** kuvveti ile cisim Δx kadar yer değiştirir. Buradan **F** kuvvetinin yaptığı iş, **W = F . Δx** bağıntısı ile hesaplanır. Kuvvet ile hareket yönü aynı olduğu için hesaplanan iş pozitif çıkar (Şekil 3.32).



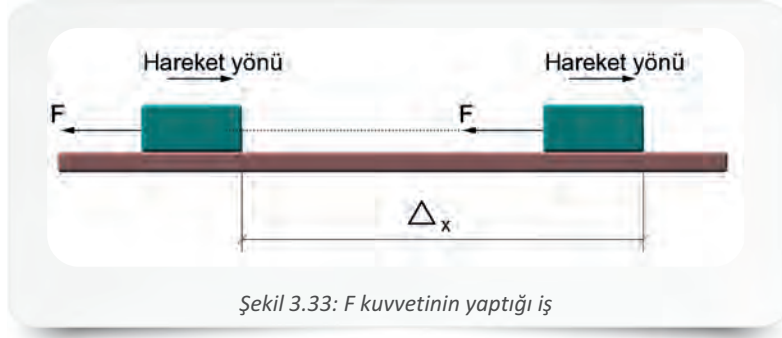
F = Kuvvet (Newton)	W = F . Δx
Δx = Yer değiştirme (metre)	J = N . m olur.
W = İş (Joule)	

İş skaler bir büyüklük olup uygulanan kuvvet ve hareketin yönüne bağlı olarak pozitif (+) ya da negatif (-) değerler alabilir.



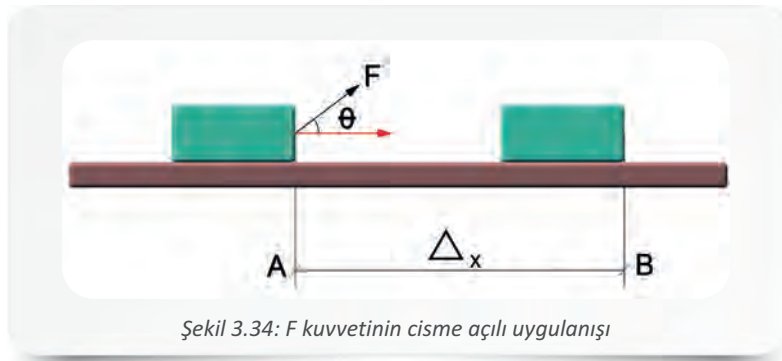


Şekil 3.33'teki gibi yatay sürtünmesiz düzlem üzerinde hareket etmekte olan bir cisme, hareket yönünün tersi yönde bir F kuvveti uygulandığında cisim Δx kadar yer değiştirir. Bu durumda da F kuvvetinin yaptığı iş, $W = -F \cdot \Delta x$ bağıntısı ile hesaplanır. Ancak kuvvet ile hareketin yönü ters olduğu için cismin hızı azalır böylece hesaplanan iş değeri negatif çıkar.



Şekil 3.33: F kuvvetinin yaptığı iş

Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareketi ile aynı yönde değilse sadece kuvvetin hareket yönündeki bileşeni iş yapar (Şekil 3.34). Cismin hareket yönü ile θ açısı oluşturarak uygulanan F kuvvetinin yaptığı iş, $W = F \cdot \cos\theta \cdot \Delta x$ formülü ile hesaplanır.



Şekil 3.34: F kuvvetinin cisme açılı uygulanışı

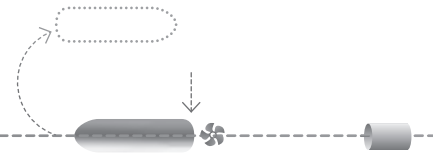
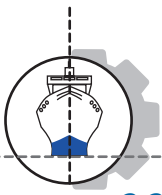
Örnek 26: Bir cisim 30 N büyüklüğündeki bir kuvvet ile 3 metre ittirilmektedir. Buna göre kuvvetin yapmış olduğu işi hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$F = 30 \text{ N}$	$W = F \cdot \Delta x$
$\Delta x = 3 \text{ m}$	$W = 30 \cdot 3$
$W = ?$	$W = 90 \text{ joule bulunur.}$

Örnek 27: Yatay bir düzlem üzerindeki cisim yukarı doğru 37° lik açıyla uygulanan 70 N'luk bir kuvvetin etkisi ile 20 m yol alıyor. Buna göre kuvvetin yaptığı işi hesaplayınız ($\cos 37^\circ = 0,8$).

Verilenler:	Çözüm:
$F = 70 \text{ N}$	$W = F \cdot \cos\theta \cdot \Delta x$
$\Delta x = 20 \text{ m}$	$W = 70 \cdot 0,8 \cdot 20$
$\cos 37^\circ = 0,8$	$W = 1120 \text{ joule bulunur.}$





3.3. Güç

Birim zamanda yapılan işe **güç** denir. Aynı ağırlığı, aynı yüksekliğe farklı sürelerde çıkaran iki motorun yapmış olduğu iş aynıdır ancak işi daha kısa sürede yapan motor, iş yapma hızı daha büyük olduğu için diğer motora göre daha güçlüdür. Skaler bir büyüklük olan güç (**N**), SI birim sisteminde **watt** ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

N = Güç (watt)	$N = \frac{W}{t}$
t = Zaman (saniye)	$W = \frac{J}{s}$
W = Yapılan iş (Joule)	

Güç, günlük hayatta sıklıkla kullanılan bir kavramdır. Örneğin evimizi aydınlatmak için ampul alırken gücüne bakarız ya da iş yapan bir makinenin kaç beygir gücü ile çalıştığını bilmek isteriz.

Örnek 28: 500 watt gücü olan bir motorun 200 N ağırlığındaki kum torbalarını sabit hızla 15 metre yüksekliğe kaç saniyede çıkaracağını hesaplayınız?

Verilenler: N = 500 watt F = 200 N $\Delta x = 15$ m	Çözüm: $N = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot \Delta x}{t}$ $500 = \frac{200 \cdot 15}{t}$ t = 6 s olur.
--	---

Örnek 29: Bir elektrik motoru, ucuna takılı olan 100 m uzunluğundaki kabloyu 150 N kuvvet uygulayarak 15 saniyede çektiğine göre bu motorun gücü kaç W'tır?

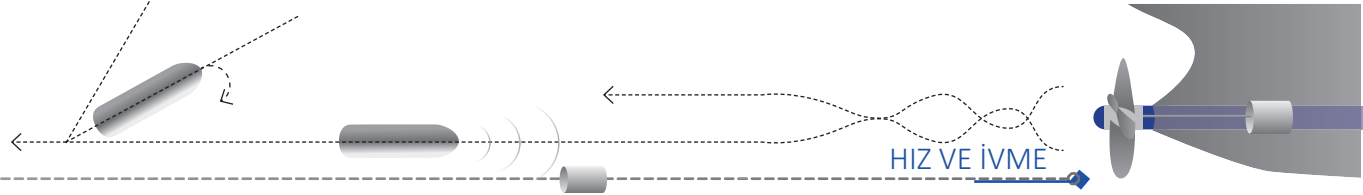
Verilenler: t = 15 s F = 150 N $\Delta x = 100$ m	Çözüm: $N = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot \Delta x}{t}$ $N = \frac{150 \cdot 100}{15} = \mathbf{1000 \text{ W olur.}}$
---	--

3.4. Enerji

Fiziksel anlamda **enerji**, herhangi bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Skaler bir büyüklük olan enerjinin SI birim sistemindeki birimi **joule**'dür ve **J** ile gösterilir. Enerji, bir cisme ya da sisteme ait bir özelliktir. Kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, ısı enerjisini de mekanik enerjiye çevirerek iş elde eden bir gemi makinesi ya da rüzgârın hareket enerjisi sayesinde elektrik enerjisi üretmeye yardımcı olan rüzgâr türbini bu duruma örnek olarak verilebilir. Günlük hayatta enerji; ısı, ışık, hareket gibi çok farklı biçimlerde gözlenebilir.

Bir cismin ya da sistemin hareketinden ve konumundan dolayı sahip olduğu enerjilerin toplamına **mekanik enerji** denir. Başka bir ifade ile mekanik enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamına eşittir.





3.4.1. Kinetik Enerji

Hareket hâlindeki bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye **kinetik enerji** denir. Skaler bir büyüklük olan kinetik enerjinin birimi, SI birim sisteminde **joule**'dür. Kinetik enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E_k = \text{Kinetik enerji (joule)}$$

$$m = \text{Kütle (kilogram)}$$

$$V = \text{Hız (metre/saniye)}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

$$J = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Kinetik enerji, kütle miktarı ve hızın karesi ile doğru orantılıdır. İş ve enerji birimleri joule olduğu için bu birimler aşağıdaki gibi eşitlenir.

$$J = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{N} \cdot \text{m}$$

Örnek 30: 25 m/s'lik hızla hareket eden 1100 kg kütleli bir otomobilin kinetik enerjisini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$V = 25 \text{ m/s}$	$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$
$m = 1100 \text{ kg}$	$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1100 \cdot 25^2$
$E_k = ?$	$E_k = 343750 \text{ joule bulunur.}$

3.4.2. Potansiyel Enerji

Bir cismin ya da sistemin iş yapmak için depoladığı enerji türüne **potansiyel enerji** denir. Skaler bir büyüklük olan potansiyel enerjinin birimi, SI birim sisteminde **joule**'dür. Bir cismin bulunduğu yerden belli bir yüksekliğe ulaşması sonucu sahip olduğu enerji, **yer çekim potansiyel enerjisidir**. Bir cisim yüksekten serbest bırakıldığında yer çekim kuvveti iş yapar. Yapılan işin büyüklüğü, sistemin sahip olduğu potansiyel enerji ile doğru orantılıdır. Barajlarda biriken su miktarı ne kadar çoksa ve düştüğü yükseklik ne kadar fazlaysa ortaya çıkan enerji miktarı da o kadar fazla olur. Ağırlığı **m . g** olan bir cismin yerden **h** kadar yükseklikte sahip olduğu potansiyel enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E_p = \text{Potansiyel enerji (joule)}$$

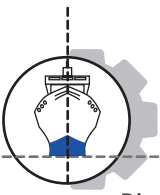
$$m \cdot g = \text{Ağırlık (newton)}$$

$$h = \text{Yükseklik (metre)}$$

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

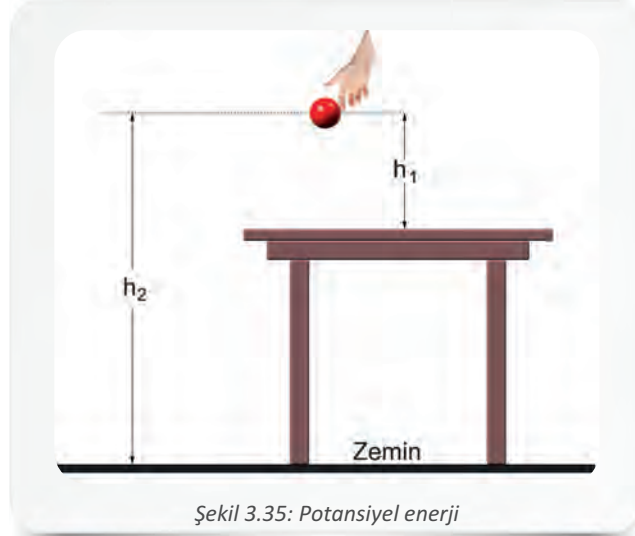
$$J = \text{N} \cdot \text{m}$$





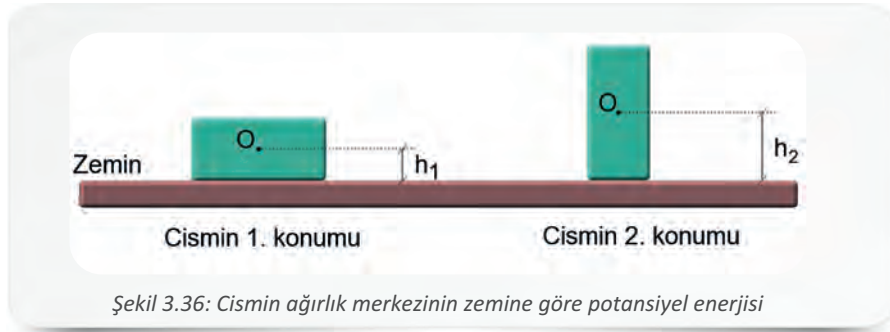
3. Öğrenme Birimi

Bir cismin hesaplanan potansiyel enerji değerinin hangi noktaya göre olduğunu belirtmek gerekir. Şekil 3.35'teki cismin potansiyel enerjisi, masaya ve zemine göre farklıdır. Masaya göre potansiyel enerjisi, $E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$ ve zemine göre potansiyel enerjisi, $E_{p2} = m \cdot g \cdot h_2$ bağıntıları ile hesaplanır.



Şekil 3.35: Potansiyel enerji

Hacimleri küçük olan cisimlerin potansiyel enerjileri hesaplanırken cisimler, genellikle boyutsuz nokta kütleler gibi kabul edilir. Boyutları belirgin olan cisimlerin potansiyel enerjileri ise cisim, kütle merkezinde yoğunlaşmış gibi düşünülerek hesaplanır. Potansiyel enerji zemine göre hesaplanırken yükseklik (**h**), zemin ile cismin kütle merkezi arasındaki mesafedir. Şekil 3.36'daki cismin kütle merkezi, tam ortadaki **O** noktasıdır. Yatay ve dikey olmak üzere iki farklı konumda gösterilen $m \cdot g$ ağırlığındaki cismin potansiyel enerjisi, kütle merkezinin zemine göre yüksekliği değiştiği için, birinci konumda $E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$ ve ikinci konumda $E_{p2} = m \cdot g \cdot h_2$ denklemleriyle hesaplanır.



Şekil 3.36: Cismin ağırlık merkezinin zemine göre potansiyel enerjisi

Yay gibi esnek cisimlerin **x** kadar mesafe ile çekilmesi veya sıkıştırılması sonucu sahip oldukları enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** denir. Yayda depolanan potansiyel enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

E_{pyay} = Yaydaki potansiyel enerji (joule)

F = Kuvvet (newton)

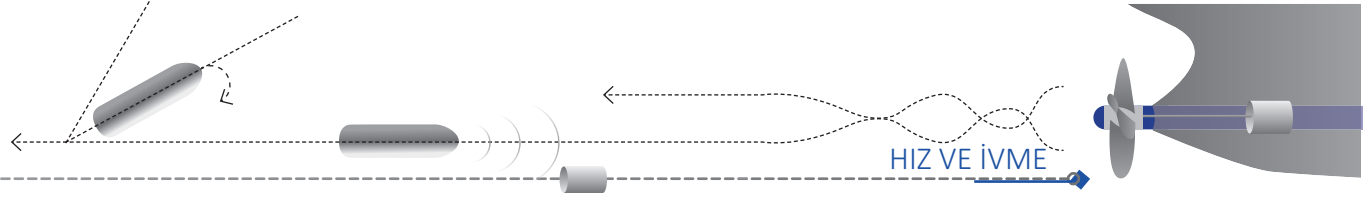
x = Mesafe (metre)

k = Yay sabiti

$$E_{pyay} = \frac{F \cdot x}{2} = \frac{(k \cdot x) \cdot x}{2}$$

$$E_{pyay} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \text{ olur.}$$





Örnek 31: 15 kg kütleli bir cisim, bir makara sistemi ile yerden 100 metre yüksekliğe çekilmektedir. Buna göre potansiyel enerjideki artış miktarını hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır.).

Verilenler:	Çözüm:
$h = 100 \text{ m}$	$E_p = m \cdot g \cdot h$
$m = 15 \text{ kg}$	$E_p = 15 \cdot 10 \cdot 100$
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$E_p = 15000 \text{ joule bulunur.}$
$E_p = ?$	Cismin ilk durumdaki yüksekliğine göre potansiyel enerjisi sıfır olduğu için enerjinin artış miktarı 15000 joule olur.

3.5. Mekanik Enerjinin Korunumu

Sürtünmesiz ortamda hareket eden bir cismin toplam enerjisi (mekanik enerji) sabittir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E_T = \text{Toplam enerji (joule)} \quad E_T = E_k + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 + m \cdot g \cdot h = \text{sabittir.}$$

Mekanik enerjinin korunumu, kinetik enerji azalırken potansiyel enerjinin aynı miktarda artması veya potansiyel enerji azalırken kinetik enerjinin aynı miktarda artması ile sağlanır.

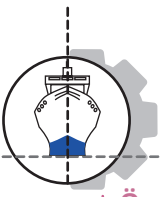
Sürtüneli ortamda mekanik enerji korunamaz, ancak toplam enerji korunabilir. Sürtünmenin etkisi ile cismin sahip olduğu kinetik enerji, cismin sürtüdüğü yüzeyde ısı enerjisine dönüşür. Burada açığa çıkan ısı enerjisinin miktarı ile cismin kaybettiği kinetik enerjinin miktarı eşittir. Gemi makinesinin hareket enerjisinin bir kısmının sürtünme sonucu ısı enerjisine dönüşmesi, bu duruma örnek olarak verilebilir.

Örnek 32: Sürtünmesiz bir ortamda 15 metre yükseklikteki A noktasından B noktasına doğru serbest bırakılan 3 kg ağırlığında ve ilk hızı 0 olan bir cisim, yer çekimi etkisinde hızlanarak yere çarpıyor.

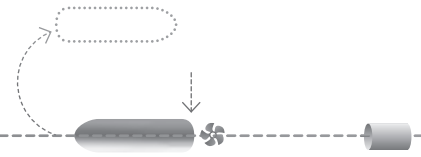
- Cismin A noktasındaki kinetik, potansiyel ve toplam enerjilerini hesaplayınız.
- Cismin B noktasındaki kinetik, potansiyel ve toplam enerjilerini hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır.).

Verilenler:	Çözüm:	
$h = 15 \text{ m}$	$E_{PA} = m \cdot g \cdot h$	$E_{PB} = m \cdot g \cdot h$
$m = 3 \text{ kg}$	$E_{PA} = 3 \cdot 10 \cdot 15 = 450 \text{ joule}$	$E_{PB} = 3 \cdot 10 \cdot 0 = 0 \text{ joule}$
$V = 0 \text{ m/s}$	$E_{kA} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$	$E_{TA} = E_{TB} = 450 \text{ joule}$
$g = 10 \text{ m/s}^2$	$E_{kA} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 0^2 = 0 \text{ joule}$	$E_{TB} = E_{kB} + E_{PB}$
	$E_{TA} = E_{kA} + E_{PA}$	$450 = E_{kB} + 0$
	$E_{TA} = 0 + 450 = 450 \text{ joule bulunur.}$	$E_{kB} = 450 \text{ joule olur.}$

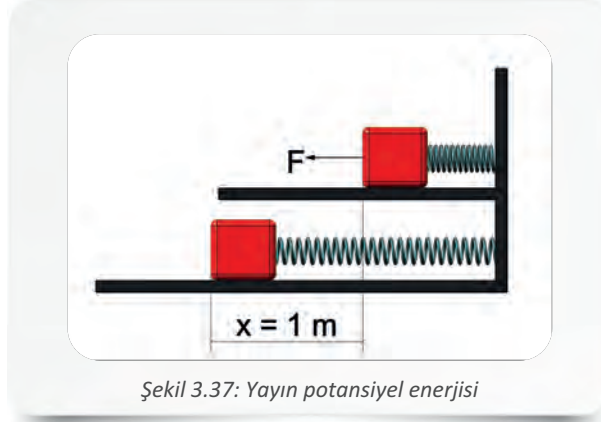




3. Öğrenme Birimi



Örnek 33: Yay sabiti 300 N/m olan bir yaya uygulanan F kuvveti ile yay 1 m açıldığına göre, yayın üzerinde depolanan enerjiyi hesaplayınız (Şekil 3.37).



Şekil 3.37: Yayın potansiyel enerjisi

Verilenler: $k = 300 \text{ N/m}$ $x = 1 \text{ m}$	Çözüm: $E_{\text{P yay}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot 1^2$ $E_{\text{P yay}} = 150 \text{ joule olur.}$
--	---

3.6. İtme (İmpuls)

Cisme etki eden kuvvet ile kuvvetin etki etme süresinin çarpımına **İmpuls** veya **İtme** denir. Vektörel bir büyüklük olan itme **I** ile gösterilir ve birimi **N.s**'dir. İtme, $I = F \cdot \Delta t$ bağıntısı ile hesaplanır.

Örnek 34: 35 N büyüklüğündeki bir kuvvet bir cisme 20 saniye boyunca etki ettiğine göre cisme uygulanan itmenin büyüklüğü ne kadardır?

Verilenler: $F = 35 \text{ N}$ $\Delta t = 20 \text{ s}$	Çözüm: $I = F \cdot \Delta t$ $I = 35 \cdot 20 = 700 \text{ N} \cdot \text{s olur.}$
---	---

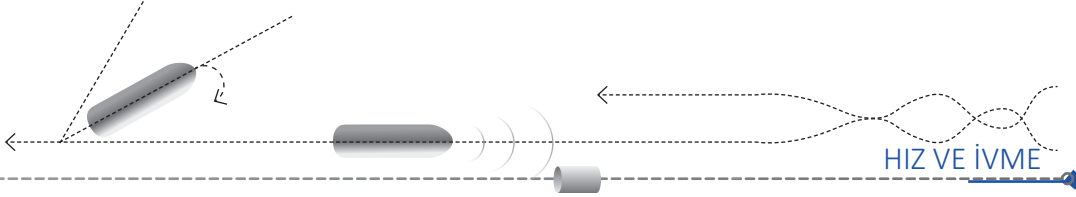
3.7. Momentum

Bir cismin kütlesi ile hızının çarpımına **momentum (hareket miktarı)** denir. Vektörel bir büyüklük olan momentum **P** ile gösterilir ve birimi **kg.m/s**'dir. Aynı hıza sahip, farklı kütleli iki cisimden kütlesi büyük olanı durdurmak daha zordur. Fiziksel bir büyüklük olan momentum, $P = m \cdot V$ bağıntısı ile hesaplanır.

Örnek 35: Saniyede 12 metre hızla giden 1100 kg kütleli bir otomobilin momentumunu hesaplayınız.

Verilenler: $m = 1100 \text{ kg}$ $V = 12 \text{ m/s}$	Çözüm: $P = m \cdot V$ $P = 1100 \cdot 12 = 13200 \text{ kg.m/s'dir.}$
---	---

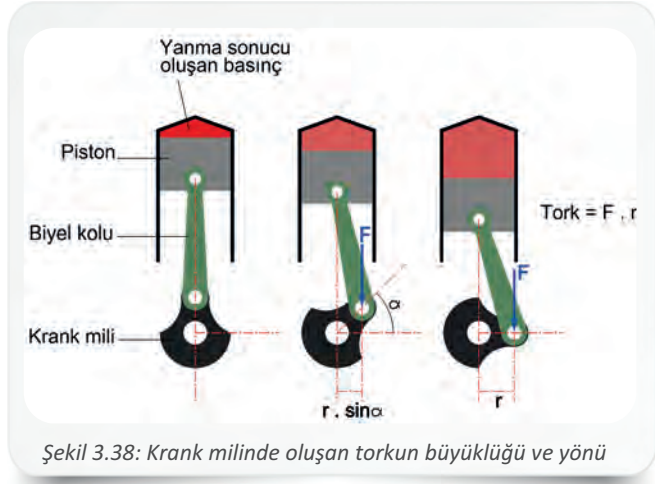




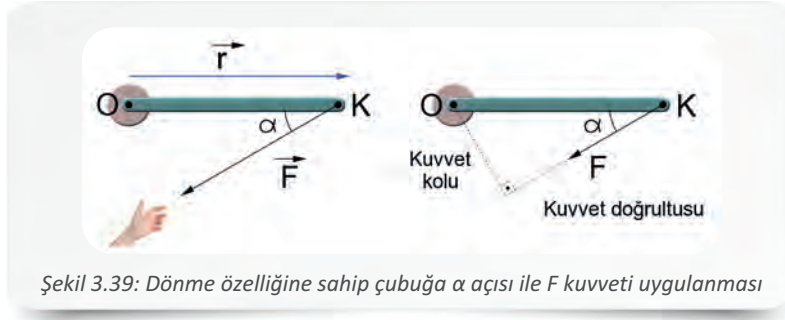
3.8. Dönme Momenti (Tork)

Kapı açma, vida sıkma veya sökme işleri yapılırken kuvvetin döndürme etkisinden faydalanılır. **Tork**, döndürme kuvvetinin bir ölçüsüdür. Şekil 3.38'de krank milinde oluşan torkun (τ) büyüklüğü, kuvvet ile kuvvetin eksene olan uzaklığının çarpımına ($\tau = F \cdot r$) eşittir.

Bir yıldız anahtar ile cıvata sökmek için anahtarın ucuna α açısı ile bir kuvvet uygulandığında anahtar, F kuvvetinin iki dik bileşeninden biri olan F_y kuvvetinin etkisi ile cıvata eksenini etrafında döner. Çünkü F_x kuvvetinin doğrultusu cıvatanın dönme noktasından geçtiği için döndürme etkisi oluşturmaz yani o noktaya göre tork sıfırdır. F ile r arasında α kadar açı olması durumunda ise kuvvet kolu (d), kuvvetin eksene olan uzaklığı (r) ile aradaki α açısının çarpımına eşit ($d = r \cdot \sin \alpha$) olur (Şekil 3.39). Bu durumda tork, $\tau = F \cdot d$ bağlantısı ile hesaplanır. SI birim sistemine göre torkun birimi $N \cdot m$ 'dir.

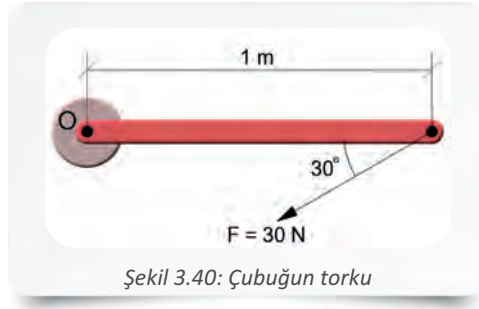


Şekil 3.38: Krank milinde oluşan torkun büyüklüğü ve yönü



Şekil 3.39: Dönme özelliğine sahip çubuğa α açısı ile F kuvveti uygulanması

Örnek 36: Şekil 3.40'daki gibi O merkezinden sabitlenmiş bir çubuğa, merkezinden 1 metre uzaklıktaki bir noktadan 30° lik bir açı ile $30 N$ 'luk bir kuvvet etki etmektedir. Çubuğun kaç $N \cdot m$ torkla döneceğini hesaplayınız ($\sin 30^\circ = 0,5$ ve $\cos 30^\circ = 0,866$).



Şekil 3.40: Çubuğun torku

Verilenler:	Çözüm:
$d = 1 \text{ m}$	$\tau = F \cdot d$
$F = 30 \text{ N}$	$\tau = F \cdot (r \cdot \sin \alpha)$
$\sin 30^\circ = 0,5$	$\tau = 30 \cdot (1 \cdot 0,5) = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$ olur.





ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Cismın hareket ettiği yüzeye bağlı olarak cisme uygulanan kuvvet değişir.
2. () Newton'un ikinci kanununa göre bir cismin ivmesi, cismin kütlesi ile doğru orantılı, cisme etki eden bileşke kuvvetle ters orantılıdır.
3. () Değişken ivmeli bir hareketle hareket eden cismin yörünge üzerindeki bir noktadan geçtiği andaki ivmesine ortalama ivme denir.
4. () Akıntı hızının motorun hızından fazla olması durumunda motor, akıntı hızıyla birlikte ve akıntı yönünde sürüklenir.
5. () Hareket hâlindeki bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji denir.
6. () Mekanik enerjinin korunumu, kinetik enerjinin azaldığı miktarda potansiyel enerjinin artması veya potansiyel enerjinin azaldığı miktarda kinetik enerjinin artması ile sağlanır.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcüğu yazınız.

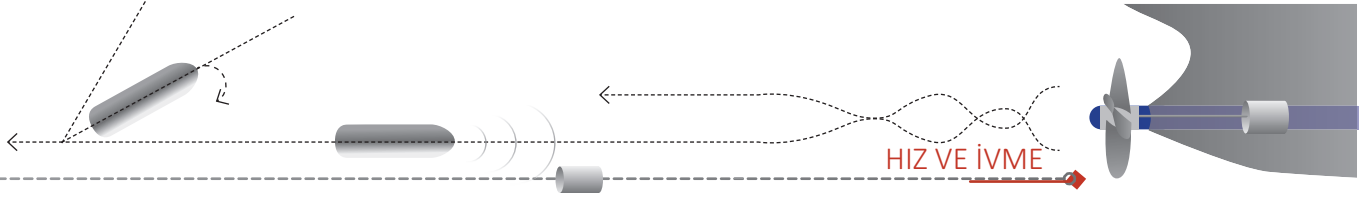
1. Çekiç atma sporunda bir merkez etrafında dönen çekicinin merkezden uzaklaşarak dışa doğru uyguladığı kuvvete denir.
2. Bir cismin birim zamanda konumunda meydana gelen değişikliğe denir.
3. Bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneğine denir.
4. Aynı işi yapan iki makineden birinin işi daha önce bitirmesi kavramı ile ifade edilir.
5. Kinetik enerji miktarı, cismin bağlı olarak değişir.
6. Yer çekim potansiyel enerjisi bağlı olarak artar.
7. Bir cisim farklı yüzeyleri ile aynı zemin üzerinde hareket ettirilmeye çalışıldığında oluşan eşittir.

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları dikkatlice okuyarak ve çözererek doğru seçeneği işaretleyiniz.

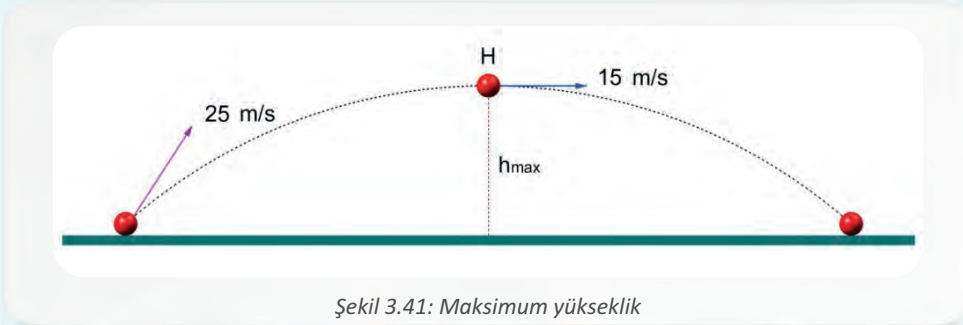
1. Aşağıdaki durumlardan hangisinde sürtünme kuvvetinin azaltılması amaçlanmıştır?

- A) Kış mevsiminde buzlu zemin sebebi ile araba lastiklerine zincir takılması
- B) Birbiri ile sürtünerek çalışan makine parçalarının yağlanması
- C) Oyuncunun elinden kaymaması için basketbol topunun yüzeyinin tırtıklı yapılması
- D) Hareketli zemin üzerinde ayakta durabilmek için tırtıklı ayakkabı giyilmesi
- E) Çamurlu yüzeylerde çalışan kamyonların tekerleklerinin girinti ve çıkıntılarının büyük olması





2. Bir hareketli, aynı yönde önce 3 m/s'lik hızla 10 saniye, sonra 4 m/s'lik hızla 15 saniye yol alıyor. **Buna göre hareketlinin ortalama hızı aşağıdakilerden hangisidir?**
- A) 3 m/s B) 3,6 m/s C) 3,8 m/s D) 4 m/s E) 4,2 m/s
3. Bir hastaya nakledilmesi için organ taşıyan nakil aracı, 240 kilometrelik yolu 2 saatte gitmiştir. **Bu aracın saatteki hızı kaç kilometredir?**
- A) 95 km/h B) 100 km/h C) 105 km/h D) 110 km/h E) 120 km/h
4. Bir motor, akıntıya karşı 8 saatte 160 km ilerledikten sonra, harekete başladığı noktaya 4 saatte dönüyor. **Buna göre motorun saatteki hızı kaç km'dir?**
- A) 20 km/h B) 25 km/h C) 26 km/h D) 30 km/h E) 35 km/h
5. Akıntıya karşı 5 saatte 80 km ilerleyen bir motor, ulaşılan noktadan başlangıç noktasına 4 saatte dönmüştür. **Buna göre, akıntının hızı saatte kaç km'dir?**
- A) 1,8 km/h B) 2 km/h C) 2,2 km/h D) 2,6 km/h E) 3 km/h
6. Yerden 80 metre yükseklikten yatay V_0 ilk hızı ile atılan bir cisim 40 metre öteye düşüyor. **Buna göre cismin V_0 ilk hızı kaç m/s'dir ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır.)?**
- A) 10 m/s B) 12 m/s C) 14 m/s D) 15 m/s E) 16 m/s
7. Bir cismin hızı 4 saniyede 8 m/s den 40 m/s'ye çıktığına göre cismin ortalama ivmesini hesaplayınız.
- A) 4 m/s B) 5 m/s C) 6 m/s D) 7 m/s E) 8 m/s
8. Sürtünmesiz yatay düzlem üzerindeki 4 kg kütleli bir cisme, 16 N büyüklüğünde bir kuvvet uygulandığına göre cismin ivmesi kaç m/s^2 olur?
- A) 2 m/s^2 B) 3 m/s^2 C) 4 m/s^2 D) 5 m/s^2 E) 6 m/s^2
9. Şekil 3.41'deki gibi yerden 25 m/s'lik hızla atılan bir cisim, maksimum H noktasından 15 m/s hızla geçiyor. **Buna göre maksimum yüksekliği hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$).**



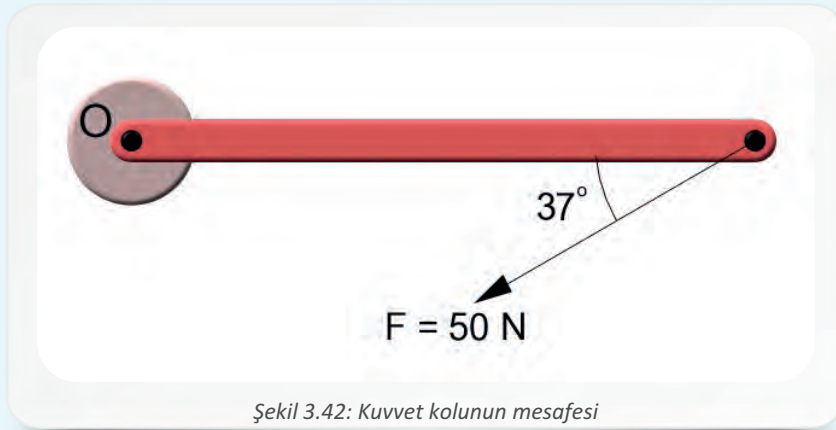
Şekil 3.41: Maksimum yükseklik

- A) 14 metre B) 15 metre C) 17 metre D) 18 metre E) 20 metre
10. Sabit hızla hareket eden 4 kg'lık bir cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir. **Bu cisme etkiyen sürtünme kuvvetini hesaplayınız ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır.).**
- A) 18 N B) 20 N C) 22 N D) 25 N E) 26 N



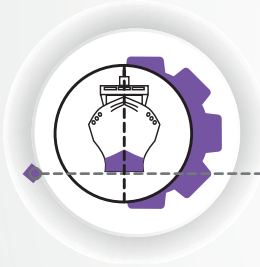
3. Öğrenme Birimi

11. Bir cisim, 50 N büyüklüğündeki bir kuvvet ile 4 metre ittiriliyor. **Bu kuvvetin yapmış olduğu işi hesaplayınız.**
- A) 160 joule B) 180 joule C) 190 joule D) 200 joule E) 220 joule
12. Yatay bir düzlem üzerindeki cisim yukarı doğru 37° lik açıyla uygulanan 60 N'luk bir kuvvetin etkisi ile 15 m yol alıyor. **Buna göre kuvvetin yaptığı işi hesaplayınız ($\cos 37^\circ = 0,8$).**
- A) 640 joule B) 660 joule C) 680 joule D) 710 joule E) 720 joule
13. 150 N ağırlığındaki kum torbaları 600 watt güce sahip olan bir motorla, sabit hızla 16 metre yüksekliğe kaç saniyede çıkarılır?
- A) 3 s B) 4 s C) 5 s D) 6 s E) 8 s
14. Yatay düzlem üzerinde sabit V hızıyla gitmekte olan 6 kg kütleli bir cismin kinetik enerjisi 147 joule olduğuna göre, cismin hızı kaç m/s'dir?
- A) 4 m/s B) 5 m/s C) 6 m/s D) 7 m/s E) 8 m/s
15. Yerden 4 m yüksekte tutulan 3 kg bir cismin yer çekim potansiyel enerjisi kaç jouledür ($g = 10 \text{ m/s}^2$ alınacaktır.)?
- A) 90 joule B) 100 joule C) 110 joule D) 115 joule E) 120 joule
16. Momentum değeri $13000 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ olan 1000 kg kütleli bir cismin saniyedeki hızı kaç metredir?
- A) 9 m/s B) 11 m/s C) 12 m/s D) 13 m/s E) 14 m/s
17. 30 N büyüklüğündeki bir kuvvet bir cisme t saniye boyunca etki ettiğinde, cisme uygulanan itmenin büyüklüğü 360 Ns oluyor. **Buna göre kuvvetin cisme etki ettiği süreyi hesaplayınız.**
- A) 8 saniye B) 9 saniye C) 10 saniye D) 11 saniye E) 12 saniye
18. Şekil 3.42'deki gibi O merkezinden sabitlenmiş bir çubuğa, merkezinden x metre uzaklıktaki bir noktadan 37° lik bir açı ile 50 N'luk bir kuvvet etki etmektedir. **Çubuk $45 \text{ N}\cdot\text{m}$ torkla döndüğüne göre kuvvet kolunun boyunu hesaplayınız ($\sin 37^\circ = 0,6$ ve $\cos 37^\circ = 0,8$).**



Şekil 3.42: Kuvvet kolunun mesafesi

- A) 1,3 m B) 1,4 m C) 1,5 m D) 1,6 m E) 1,7 m



4. ÖĞRENME BİRİMİ

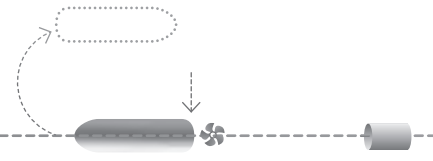
TERMODİNAMİK KANUNLAR VE GAZLAR

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER
2. ISI TRANSFERİ



KOD=16588



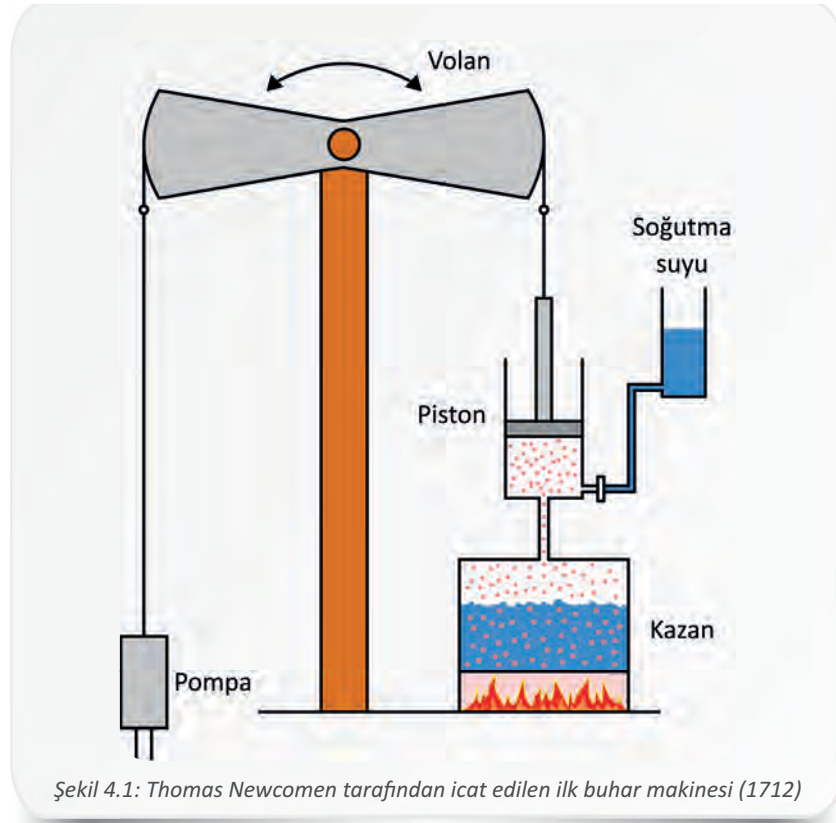
HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Gemi makine dairesinde vardiya tutan bir makine zabıtının makine ve ekipmanların hangi çalışma değerlerini kayıt altına alması gerektiğiyle ilgili bilgilerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Makine ve ekipmanlara ait bu değerlerin doğru ve zamanında kayıt altına alınmasının neden önemli olabileceği hakkında fikir alışverişinde bulununuz.

TERMODİNAMİK KANUNLAR VE GAZLAR

Termodinamik, ısı enerjisi ile diğer enerji türleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim dalıdır. Isı enerjisinin diğer enerji türlerine nasıl dönüştürüldüğünü ve madde üzerindeki etkisini açıklar. Dönüştürülen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması da termodinamiğin önemli ilgi alanlarındandır.

Termodinamiğin bir bilim dalı olarak ortaya çıkışı, 18. yüzyılın başlarında buhar makinelerinin icat edilmesi ve endüstride kullanılmasıyla eş zamanlıdır (Şekil 4.1). Bu bilimin gelişimine fizik, kimya ve mühendislik alanlarıyla ilgilenen pek çok bilim insanı çalışmalarıyla katkıda bulunmuştur. Günümüzde de termodinamik alanında çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.



Şekil 4.1: Thomas Newcomen tarafından icat edilen ilk buhar makinesi (1712)

Çok geniş bir uygulama alanına sahip olan termodinamiğin denizcilikte de önemli bir yeri vardır. Gemilerde ana makinenin, jeneratörlerin, tatlı su üreteçlerinin, buhar kazanlarının, buzluk ve iklimlendirme sistemlerinin, gemi devrelerindeki çeşitli akışkan soğutucularının ve ısıtıcılarının çalışma prensipleri termodinamik esaslara dayanır.



1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER

Termodinamik sistemlerin incelenebilmesi, yapılan gözlemlerin anlamlı olabilmesi için termodinamik özelliklerin iyi bilinmesi gerekir. Uluslararası standartlarla belirlenmiş bu özellikleri öğrenmek, dünya denizlerinde çalışan denizciler için ortak bilim dilini öğrenmek demektir. Bu ortak bilim dili, teknik anlamda iletişimin kolay ve anlaşılır olmasını sağlar. Termodinamik esasların anlaşılmasını sağlayan bütün bu kavram ve terimler, birbiriyle ilişkilidir ve eksiksiz şekilde öğrenilmelidir.

1.1. Büyüklükler ve Birimleri

Çeşitli mühendislik alanlarında ve teknik alanlarda kullanılan farklı ölçü sistemlerinin yarattığı karmaşayı önlemek için 1960 yılında düzenlenen 11. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda, **Uluslararası Birimler Sistemi (SI)** kabul edilmiştir. Metrik sistem olarak da bilinen bu sistem, yedi temel büyüklük ve bunlardan türetilmiş büyüklüklerden oluşur. Termodinamik alanında sıklıkla kullanılan büyüklükler Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Termodinamik Alanında Kullanılan Büyüklükler ve Birimleri

Büyüklük		Birimi	
Temel	Zaman	Saniye	s
	Kütle	Kilogram	kg
	Termodinamik sıcaklık	Kelvin	K
	Madde miktarı	Mol	mol
Türetilmiş	Kuvvet	Newton	$N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
	Basınç	Pascal	$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$
	Alan	Metrekare	m^2
	Hacim	Metreküp	m^3
	Enerji	Joule	$J = \text{N} \cdot \text{m}$
	İş	Joule	$J = \text{N} \cdot \text{m}$
	Güç	Watt	$W = J/\text{s}$
	Hız	Metre/saniye	m/s

Çok büyük ve çok küçük sayısal değerlerin ortaya çıkaracağı karmaşanın önlenmesi ve daha anlaşılır ifade edilebilmesi için **SI** sisteminde tüm birimlerde (saniye, metre, kilogram vs.) aynı ön ekler kullanılır (Tablo 4.2). Örneğin,

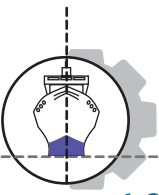
10000000 Joule (J) = 10 Megajoule (MJ)

300000000000 Watt (W) = 300 Gigawatt (GW) şeklinde ifade edilir.

Tablo 4.2: SI Sisteminde Sık Kullanılan Ön Ekler

Çarpan	Adı	Sembolü	Çarpan	Adı	Sembolü
10^1	Deka	da	10^{-1}	Desi	d
10^2	Hekta	h	10^{-2}	Santi	c
10^3	Kilo	k	10^{-3}	Mili	m
10^6	Mega	M	10^{-6}	Mikro	μ
10^9	Giga	G	10^{-9}	Nano	n
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	Piko	p



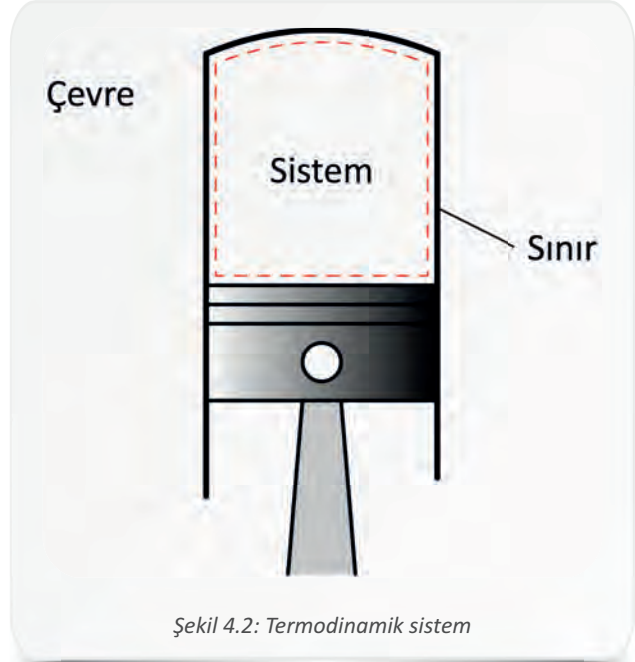


1.2. Termodinamik Sistem

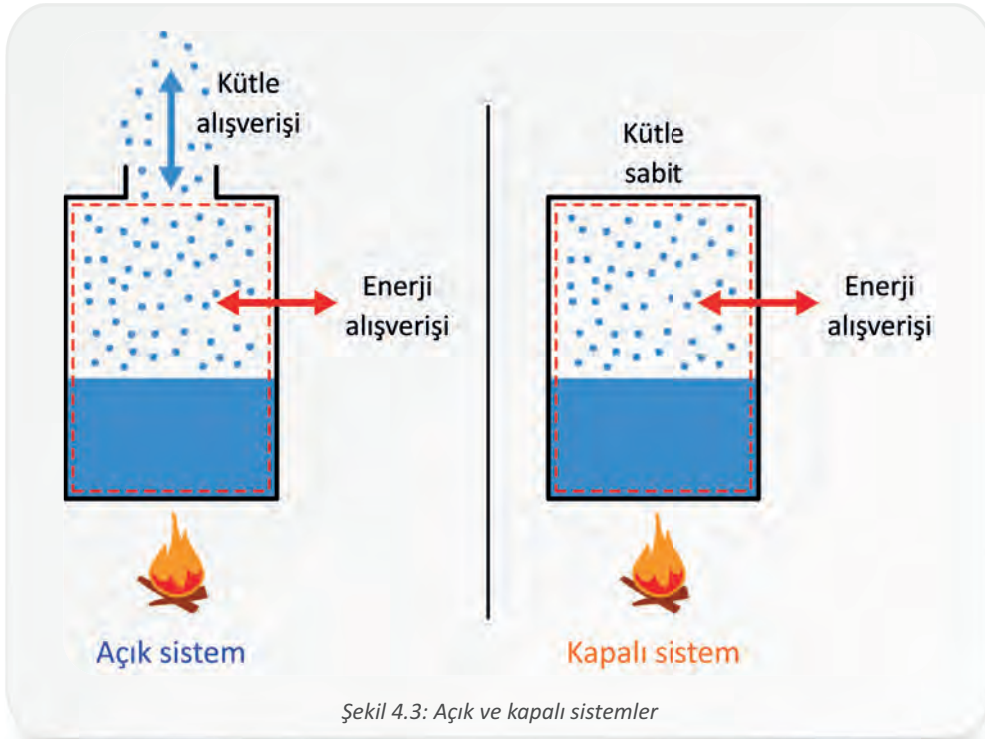
Üzerinde çalışılmak ve analiz edilmek için seçilen madde veya bölgeye **sistem** denir. Sistemi çevreleyen yüzeye ise **sınır** denir. Sistemin tanımlanmasını sağlayan sınır, gerçek veya varsayılan bir yüzey olabilir. Sistem sınırının dışında kalan her şeye **çevre** denir. Şekil 4.2'de termodinamik sistem örneği gösterilmiştir.

Sistemler, çevreleriyle enerji ve kütle alışverişi yapabilmelerine göre açık sistemler, kapalı sistemler ve yalıtılmış sistemler olarak sınıflandırılabilir.

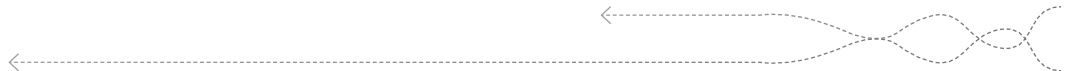
Açık sistemler, çevreleriyle enerji ve kütle alışverişi yapan sistemlerdir. Gemide bulunan ve kütle giriş çıkışları olan kompresörler, pompalar ve kazanlar açık sistemlere örnek verilebilir. **Kapalı sistemler** ise çevreleriyle yalnızca enerji alışverişi yapan, kütle alışverişi yapmayan sistemlerdir. Gemilerde soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin soğutucu akışkan devreleri veya giriş çıkışı kapalı sıvı depoları, kapalı sistemlerdir (Şekil 4.3). Açık ve kapalı sistemlerin aksine **yalıtılmış sistemler**, çevreleriyle kütle ve enerji alışverişi yapmaz. Termoslar (ısı kayıpları ihmal edilebilir ölçüde ise) bu sistemlere örnek verilebilir.



Şekil 4.2: Termodinamik sistem



Şekil 4.3: Açık ve kapalı sistemler



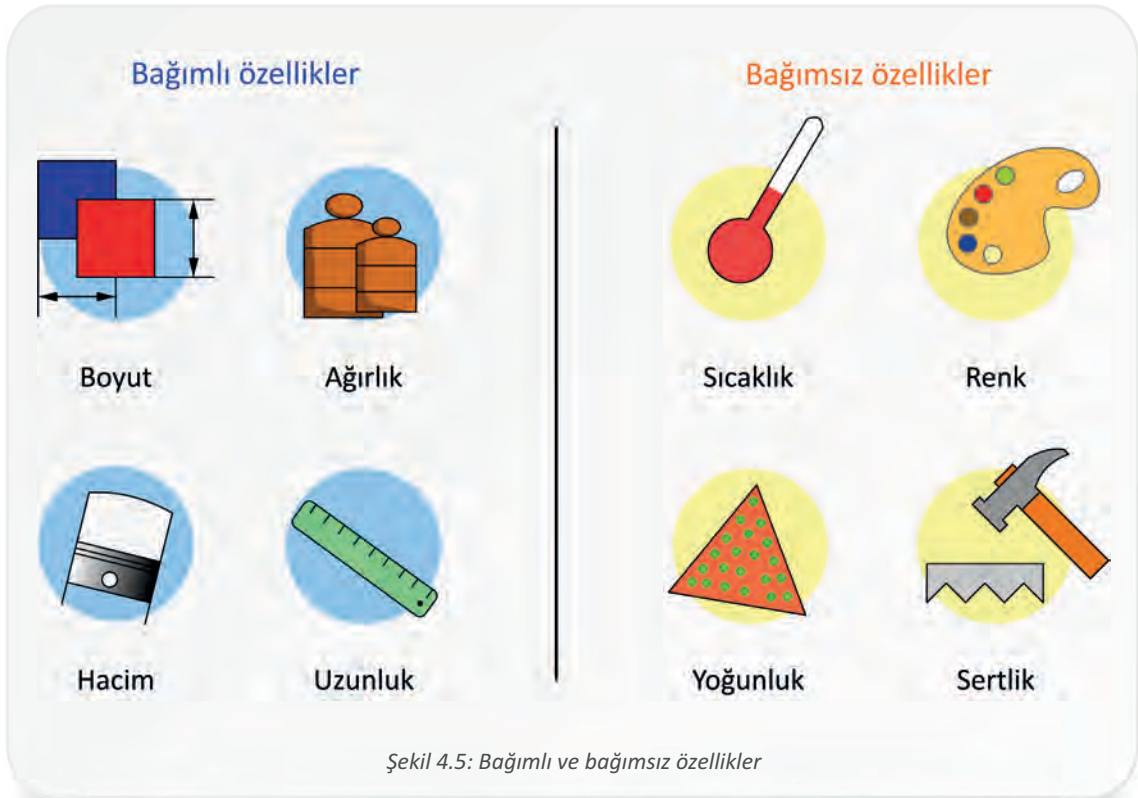
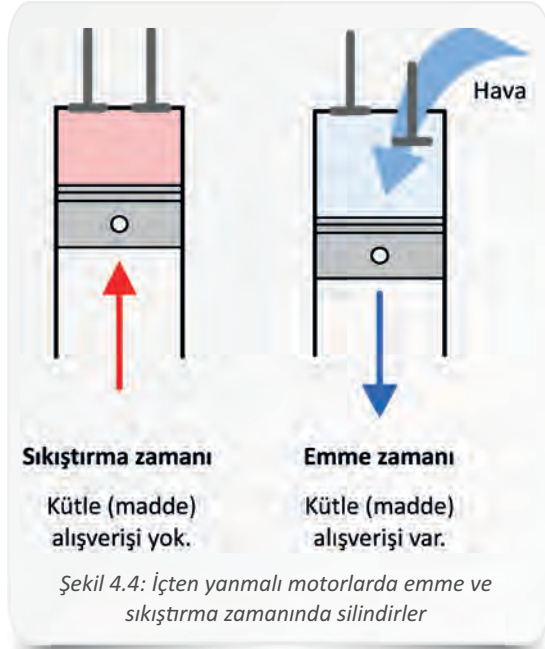
İçten yanmalı motorlarda silindirler, her iki sistemin de özelliğini gösterebilir. Emme zamanında içerisine hava aldığı için açık sistem özelliği gösteren silindirler, sıkıştırma zamanında valflerin kapalı olması nedeniyle kapalı sistem özelliği gösterir (Şekil 4.4).

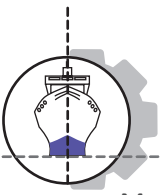
1.3. Sistemin Özellikleri

Termodinamik bir sistemin tanımlanabilmesi için gözlemlenebilir ve ölçülebilir özelliklerinin bilinmesi gerekir. Sistemi diğer sistemlerden ayıran bağımlı ve bağımsız fiziksel özelliklere maddenin özellikleri denir (Şekil 4.5).

Bağımsız (intensive) özellikler: Madde miktarına bağlı olmaksızın sistemin tüm parçalarında benzerlik gösteren özelliklerdir. Sıcaklık, basınç, yoğunluk, kaynama noktası, renk ve hız bu özelliklere örnek verilebilir.

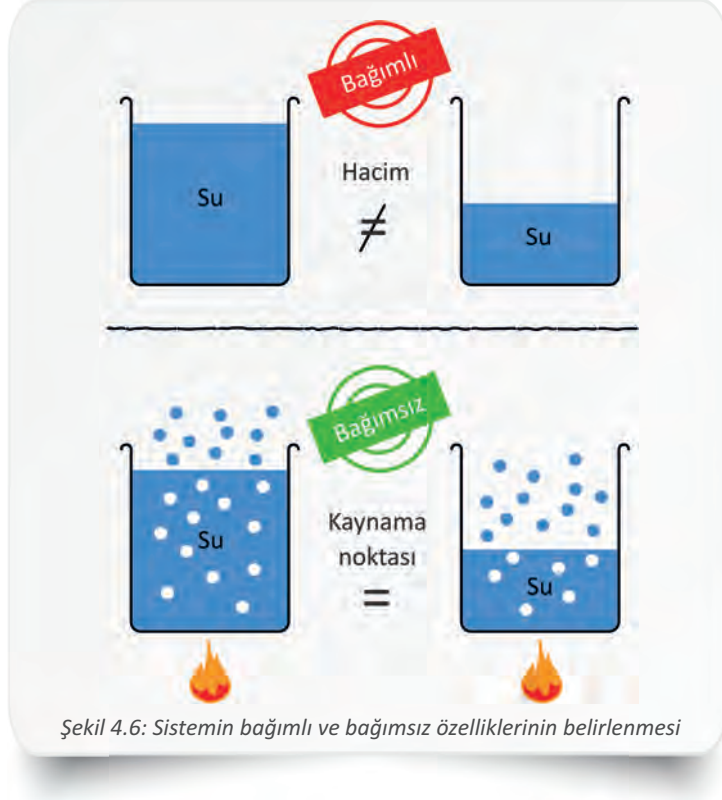
Bağımlı (extensive) özellikler: Sistemin madde miktarına bağlı olarak değişebilen özelliklerdir. Ağırlık, kütle, hacim, uzunluk, iç enerji, entalpi, entropi bu özelliklere örnek verilebilir. Birim kütle için bağımlı özellikler, özgül ön eki ile ifade edilir.





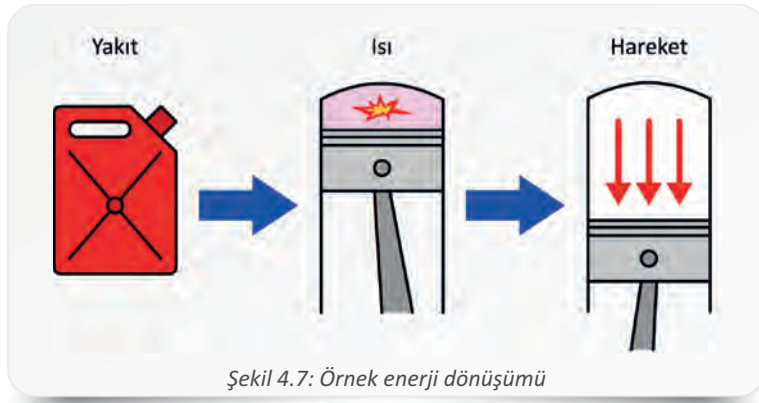
4. Öğrenme Birimi

Maddeye ait bir özelliğin bağımlı mı yoksa bağımsız mı olduğunun anlaşılabilmesi için madde miktarı en az iki parçaya bölünerek incelenir. Örneğin bir kap suyun hacmi ile yarım kap suyun hacmi farklıdır, fakat kaynama noktaları aynıdır. Şekil 4.6'daki örnekten anlaşılacağı üzere hacim madde miktarına bağımlı, kaynama noktası ise madde miktarından bağımsız bir özelliktir.



1.4. Enerji ve İş

Enerji, bir sistemin iş yapabilme yeteneğidir. **İş** ise sistem ve çevresi arasındaki enerji alışverişidir. SI sistemine göre tüm enerjilerin birimi **Joule**'dür. Enerji; hareket, ısı, ışık, ses, elektrik, nükleer, kimyasal, biyolojik vb. pek çok değişik biçimde bulunabilir. Bir enerji biçimi, çeşitli yöntemlerle başka bir enerji biçimine dönüştürülebilir. Örneğin dizel yakıtı kimyasal enerji içerir ve silindir içerisinde yakılarak ısı enerjisine daha sonra da piston yardımıyla hareket enerjisine dönüştürülür (Şekil 4.7).



Termodinamik olarak sistemdeki ısı enerjisinin değişimiyle ortaya çıkan iş, aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

W_{net} : Sistemin yaptığı iş (J)	$W_{net} = Q_{giren} - Q_{çikan}$
Q_{giren} : Sisteme giren ısı (J)	
$Q_{çikan}$: Sistemden çıkan ısı (J)	

a) İç Enerji

Maddenin iç yapısıyla ilgilidir. Bir maddenin moleküllerinin hareketi iç enerjiyi oluşturur. Bu enerji türü doğrudan ölçülemez, fakat sisteme ait **iç enerji değişimi** ölçülebilir.

ΔU : İç enerji değişimi (J)	$\Delta U = U_{son} - U_{ilk}$
-------------------------------------	--------------------------------

Sistemin iç enerji değişimi, sisteme eklenen ısıdan sistem tarafından yapılan işin çıkarılmasıyla bulunur.

ΔU : İç enerji değişimi (J)	$\Delta U = Q - W$
Q : Isı (J)	
W : İş (J)	

Bir sistemin sahip olduğu toplam iç enerjinin kütesine oranına ise **özellik iç enerji** denir. Özellikle iç enerji aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

u : Özellikle iç enerji (J/kg)	$u = \frac{U}{m}$
U : İç enerji (J)	
m : Kütle (kg)	

b) Entropi (s)

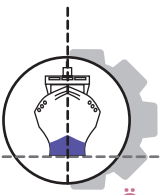
Entropi kavramı felsefeden mühendisliğe birçok alanda kullanılır. Bir sistemdeki düzensizliğin ölçüsüdür. Termodinamik açıdan bir sistemdeki ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülemeyen kısmına **entropi** denir ve büyük bir kısmı çevreye yayılır. Örneğin içten yanmalı dizel bir motorda yanma sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin tümü hareket enerjisine çevrilemez ve bu işe çevrilemeyen ısı enerjisi entropiyi temsil eder. Entropi, termodinamiğin ikinci kanununun temelini oluşturur.

c) Entalpi (H)

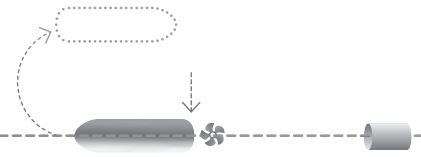
Entalpi, maddenin içinde depoladığı çeşitli enerjilerin toplamıdır. Bir hâl değişkenidir; yani maddenin o anki denge durumu hakkında bilgi verir. Termodinamik bir sistemin iç enerjisi (**U**) ile basıncı ve hacminin çarpımının (**P . V**) toplamı şeklinde ifade edilir.

H : Entalpi (J)	Birim kütle için,
U : İç enerji (J)	
P : Basınç	$H = U + P \cdot V$
V : Hacim	$h = u + P \cdot v$
h : Özellikle entalpi	
u : Özellikle iç enerji (J/kg)	
v : Özellikle hacim	





4. Öğrenme Birimi



Örnek 1: Şekil 4.8'deki sistemde, silindire 1200 J ısı verildiğinde piston tarafından 800 J iş elde edilmiştir. Enerji kayıplarını ihmal ederek sistemin iç enerji değişimini hesaplayınız.



Şekil 4.8: Silindir piston düzeneği

Verilenler:

$$Q = 1200 \text{ J}$$

$$W = 800 \text{ J}$$

$$\Delta U = ?$$

Çözüm:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 1200 - 800$$

$$\Delta U = 400 \text{ J}$$

1.5. Termodinamik Denge

Çevresiyle kütle ve enerji alışverişi olmayan sistemler termodinamik olarak dengededir. Bu sistemler, zamana göre herhangi bir değişime uğramazlar. Sistemin her yerinde sıcaklık, basınç ve elektriksel potansiyel aynıdır ve sistemde kimyasal reaksiyon gözlenmez. Bir sistemin dengede olduğunun söylenebilmesi için sistemin termal, mekanik, elektriksel ve kimyasal olarak dengede olması gerekir.

Gemilerdeki basınçlı hava ile ilk hareket sisteminin bir bileşeni olan kompresörün çalışır durumda iken termodinamik olarak dengede olduğu söylenemez. Kompresör çalışırken havayı ortamdan alır, basınçlı bir şekilde depolar ve sıcaklığı yükselir. Çalışmasını tamamlayıp durduğu anda da dengede olmaz, çünkü çalışma sırasında ısınan kompresör çevreye ısı aktarmaya devam eder. Kompresörün termodinamik olarak dengede olduğunun söylenebilmesi için çalışmasının durmuş, sıcaklığının çevreyle eşitlenmiş olması ve içinde herhangi bir değişiklik göstermemesi gerekir.

1.6. Isı ve Sıcaklık

Isı, bir enerji türüdür ve doğrudan ölçülemez. SI birim sistemindeki birimi Joule'dür (J). Bir sistemin çevresiyle olan sıcaklık farkı, ısı enerjisini meydana getirir. Örneğin sıcaklıkları farklı ve temas hâlinde iki sistem aynı sıcaklığa ulaşana kadar sıcaklık değişimleri devam eder. Isı, bu değişime neden olan enerjidir. Isı enerjisi, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder. Sıcaklık değişimindeki ısı enerjisi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

Q : Isı (kJ)

m : Kütle (kg)

c : Özgül ısı (kJ / kg.K)

ΔT : Sıcaklık farkı (K)

$$\Delta T = (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}})$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

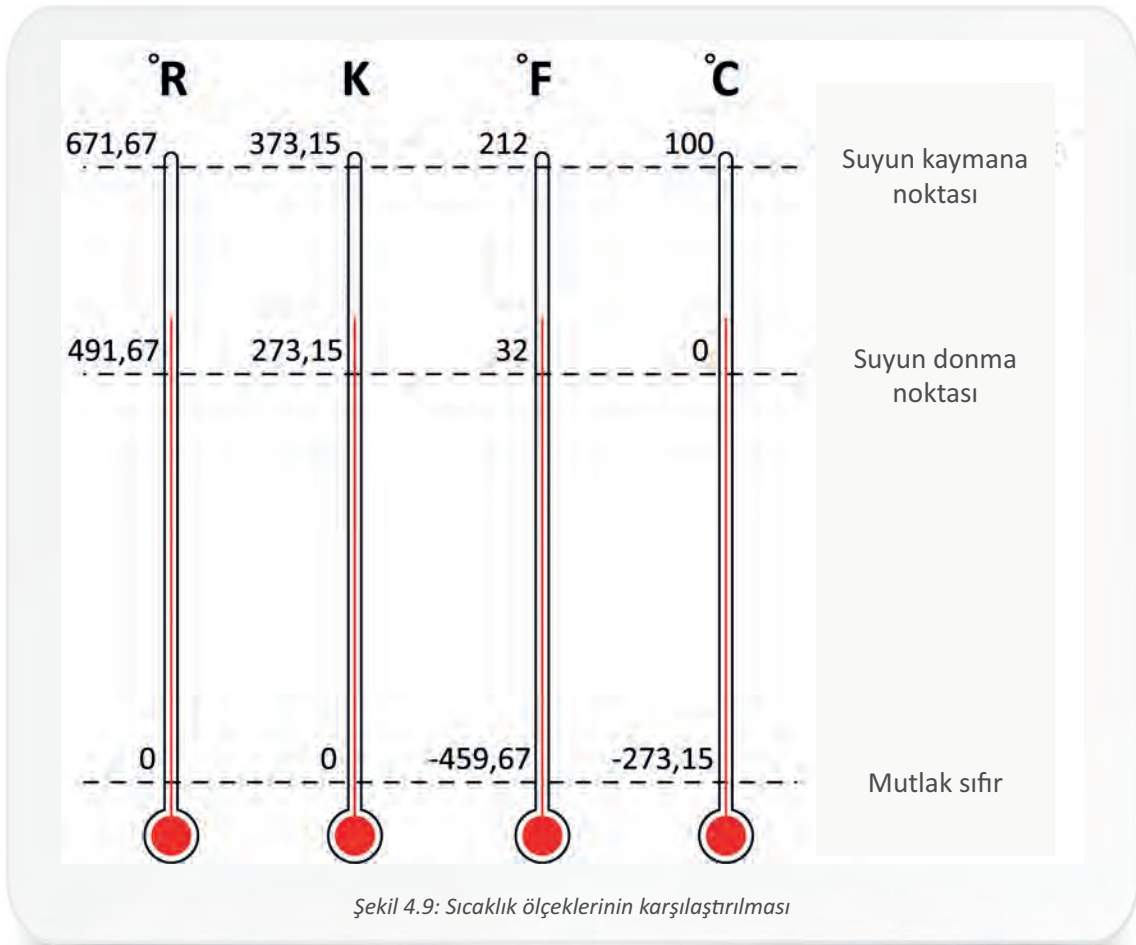


Sıcaklık ise termodinamik bir sistemde depolanan ısı enerjisinin bir göstergesidir. Her sistemin belirli bir sıcaklığı vardır ve fiziksel olarak ölçülebilir. Madde ısındıkça veya soğudukça sıcaklığı değişir. En yaygın sıcaklık ölçüm cihazına, **termometre** veya **sıcaklık ölçer** denir. Termometreler, ölçme işlemini maddelerin sıcaklıkla değişen özelliklerinden yararlanarak yapar. Gemi makinelerinde yüksek sıcaklıkların ölçümü için pirometre ve **termokupl sensörler** kullanılır.

İngiliz ve SI birim sistemlerinde kullanılan mutlak sıcaklık ölçekleri, sırasıyla Rankine ($^{\circ}\text{R}$) ölçeği ve Kelvin (K) ölçeğidir; metrik sıcaklık ölçekleri ise Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) ölçeği ve Celsius ($^{\circ}\text{C}$) ölçeğidir (Şekil 4.9). Termodinamik hesaplamalarda kullanılan sıcaklık ölçeği Kelvin (K) ölçeğidir.

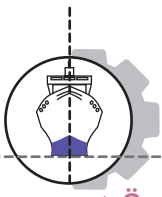
Sıcaklık ölçeklerinin birbirlerine dönüşümleri için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\frac{^{\circ}\text{R} - 492}{180} = \frac{\text{K} - 273}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180} = \frac{^{\circ}\text{C}}{100}$$

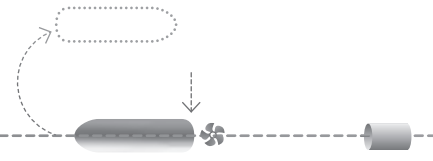


Maddenin moleküler hareketinin durduğu varsayılan en düşük sıcaklığa **mutlak sıfır** denir. Bu sıcaklığa ulaşan bir maddenin iç enerjisi sıfır olur ve daha fazla soğuyamaz.





4. Öğrenme Birimi



Örnek 2: Dökme demir alaşımdan yapılmış bir motor bloğunun ergime noktası 1100 °C olduğuna göre bu sıcaklığın Kelvin (K) karşılığı nedir?

Çözüm:

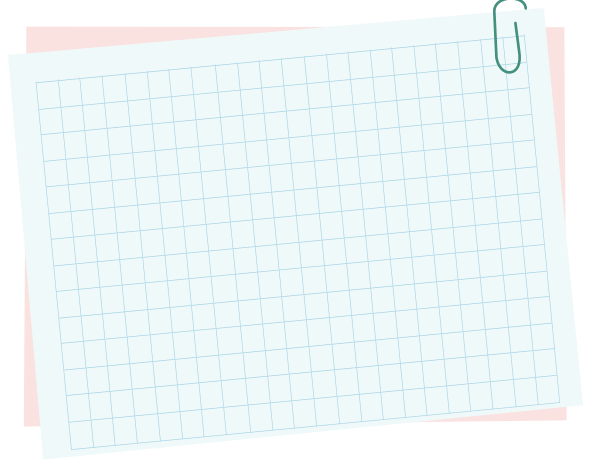
$$\frac{^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{\text{K} - 273}{100}$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$\text{K} = 1100 + 273$$

$$\text{K} = 1373$$



Örnek 3: Makine vardiyası tutan zabıt, ana makine yağlama yağı sıcaklığını kuler girişinde 283 K olarak ölçmüştür. Yağ sıcaklık değerinin Fahrenheit (°F) karşılığı nedir?

Çözüm:

$$\frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180} = \frac{\text{K} - 273}{100}$$

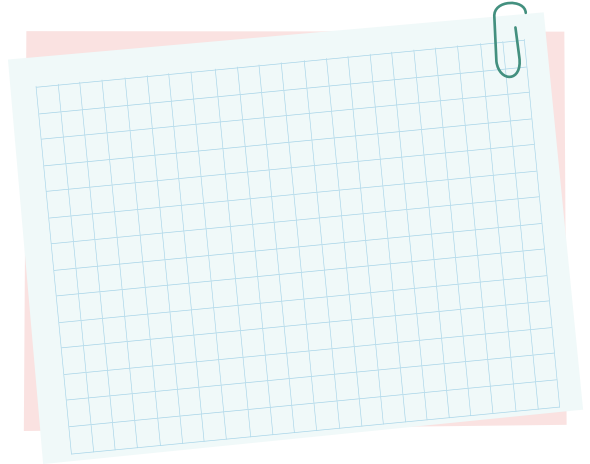
$$\frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180} = \frac{283 - 273}{100}$$

$$\frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180} = \frac{10}{100}$$

$$^{\circ}\text{F} - 32 = 18$$

$$^{\circ}\text{F} = 32 + 18$$

$$^{\circ}\text{F} = 50$$



Özgül Isı (c)

Bir maddenin birim kütleinde birim sıcaklık değişikliği sağlanabilmesi için gereken ısı miktarına **özümlü ısı** denir. Örneğin 1 kg suyun sıcaklığının 1 K artırılması için suya 4,18 kJ/kg.K ısı verilmesi gerekir. Aynı maddenin farklı hâllerde ve farklı koşullarda özümlü ısı değışir.

Gazlar sıkıştırılabildiği için sabit basınç ve sabit hacim koşullarında farklı özümlü ısı değeri kullanılır (Tablo 4.3). Katı ve sıvı maddeler için yapılan ısı değışimi hesaplamalarında, basıncın ve hacmin değışmediği kabul edilerek sabit basınçta özümlü ısı değeri kullanılır (Tablo 4.4).



Tablo 4.3: Bilinen Bazı Gazların Sabit Basınç ve Sabit Hacimdeki Özgül Isıları (300 K Sıcaklıkta)

Gaz	Kimyasal Formülü	R	C _p	C _v	k
Hava	—	0,2870	1,005	0,718	1,400
Azot	N ₂	0,2968	1,039	0,743	1,400
Oksijen	O ₂	0,2598	0,918	0,658	1,395
Argon	Ar	0,2081	0,5203	0,3122	1,667
Bütan	C ₄ H ₁₀	0,1433	17,164	15,734	1,091
Propan	C ₃ H ₈	0,1885	16,794	14,909	1,126
Karbondioksit	CO ₂	0,1889	0,846	0,657	1,289
Karbonmonoksit	CO	0,2968	1,040	0,744	1,400
Etilen	C ₂ H ₄	0,2964	15,482	12,518	1,237
Helyum	He	20,769	51,926	31,156	1,667
Hidrojen	H ₂	41,240	14,307	10,183	1,405
Metan	CH ₄	0,5182	22,537	17,354	1,299
Etan	C ₂ H ₆	0,2765	17,662	14,897	1,186
Neon	Ne	0,4119	10,299	0,6179	1,667
Oktan	C ₈ H ₁₈	0,0729	17,113	16,385	1,044
Su buharı	H ₂ O	0,4615	18,723	14,108	1,327

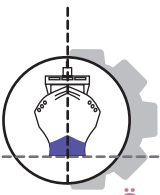
C_p : Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)
 C_v : Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg.K)
 R : Gaz sabiti (kJ/kg.K)
 k : C_p / C_v

Tablo 4.4: Bilinen Bazı Sıvı ve Katlıların Sabit Basınçta Özgül Isıları (25 °C Sıcaklıkta)

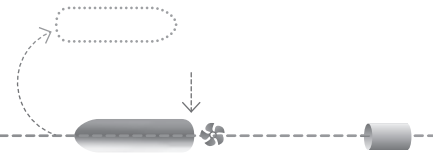
Madde	ρ	C _p
Su	997	4,18
Makine yağı	885	1,9
Propan	510	2,54
Bütan	556	2,47
Cıva (Hg)	13580	0,14
R-134a	1206	1,43
Buz (0 °C)	917	2,04
Alüminyum	2700	0,90
Bakır	8300	0,42
Dökme demir	7272	0,42
Gümüş	10524	0,24
Altın	19300	0,13
Çelik St-304	7820	0,46

ρ : Yoğunluk (kg/m³)
 C_p : Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)





4. Öğrenme Birimi



Örnek 4: Servis tankından gelen ve kütlesi 100 kg olan yakıtı 340 K sıcaklıktan 390 K sıcaklığa kadar ısıtılmak için gereken ısıyı hesaplayınız ($C_p = 1,90 \text{ kJ/kg.K}$).

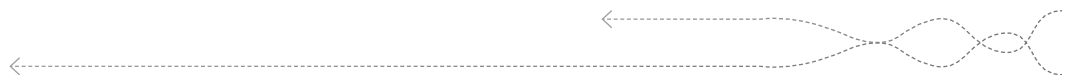
Verilenler:	Çözüm:
$m = 100 \text{ kg}$	$\Delta T = T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}$
$C_p = 1,90 \text{ kJ/kg.K}$	$\Delta T = 390 - 340$
$T_{\text{son}} = 390 \text{ K}$	$\Delta T = 50 \text{ K}$
$T_{\text{ilk}} = 340 \text{ K}$	$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
$Q = ?$	$Q = 100 \cdot 1,9 \cdot 50$
	$Q = 9500 \text{ kJ}$

Örnek 5: Bir buhar kazanına 20 °C sıcaklıkta giren 1 ton besleme suyunun 95 °C sıcaklığa kadar ısıtılması için 313500 kJ ısı gerekmektedir. Bu bilgilere göre suyun özgül ısısını hesaplayarak bulduğunuz sonucu Tablo 4.4'ten kontrol ediniz.

Verilenler:	Çözüm:
$Q = 313500 \text{ kJ}$	$\Delta T = T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}$
$m = 1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$	$\Delta T = 95 - 20$
$T_{\text{son}} = 95 \text{ °C}$	$\Delta T = 75 \text{ °C}$
$T_{\text{ilk}} = 20 \text{ °C}$	$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
$C_p = ?$	$c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$
	$c_p = 313500 / 1000 \cdot 75$
	$c_p = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$

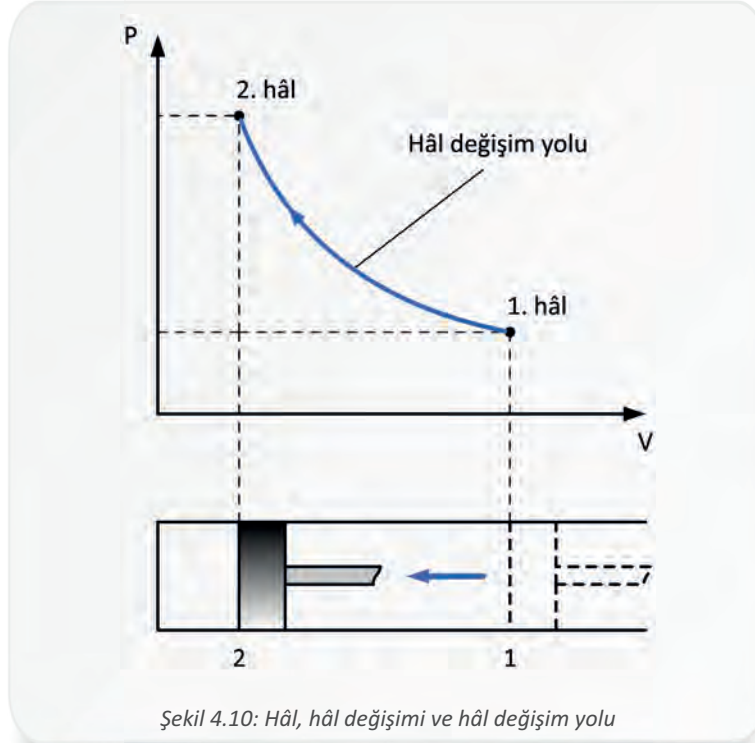
Örnek 6: Gemi kuzinesinde bir tencere içerisinde bulunan 28 °C sıcaklıktaki 10 kg yağa 392 kJ ısı verildiğinde yağın ulaşabileceği sıcaklığı hesaplayınız ($C_p = 1,96 \text{ kJ/kg.K}$).

Verilenler:	Çözüm:
$Q = 392 \text{ kJ}$	$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}})$
$m = 10 \text{ kg}$	$\frac{Q}{m \cdot c_p} = T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}$
$C_p = 1,96 \text{ kJ/kg.K}$	$T_{\text{son}} = \frac{Q}{m \cdot c_p} + T_{\text{ilk}}$
$T_{\text{ilk}} = 28 \text{ °C}$	$T_{\text{son}} = \frac{392}{10 \cdot 1,96} + 28$
$T_{\text{son}} = ?$	$T_{\text{son}} = 48 \text{ °C}$

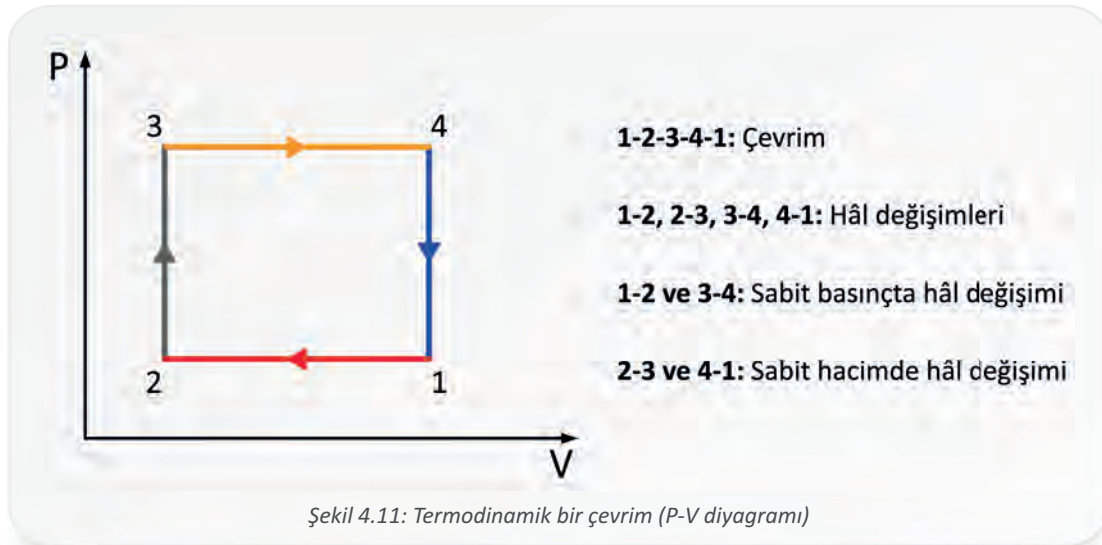


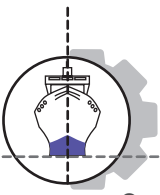
1.7. Hâl, Hâl Değişimi ve Çevrim

Dengedeki termodinamik bir sistemin içinde bulunduğu değişmeyen duruma **hâl**, bir denge hâlden başka bir denge hâline geçişine de **hâl değişimi** denir. İki hâl arasında sistem, bir dizi sonsuz değişime uğrar ve bu değişimin gerçekleştiği yol, **hâl değişim yolu** olarak adlandırılır (Şekil 4.10).



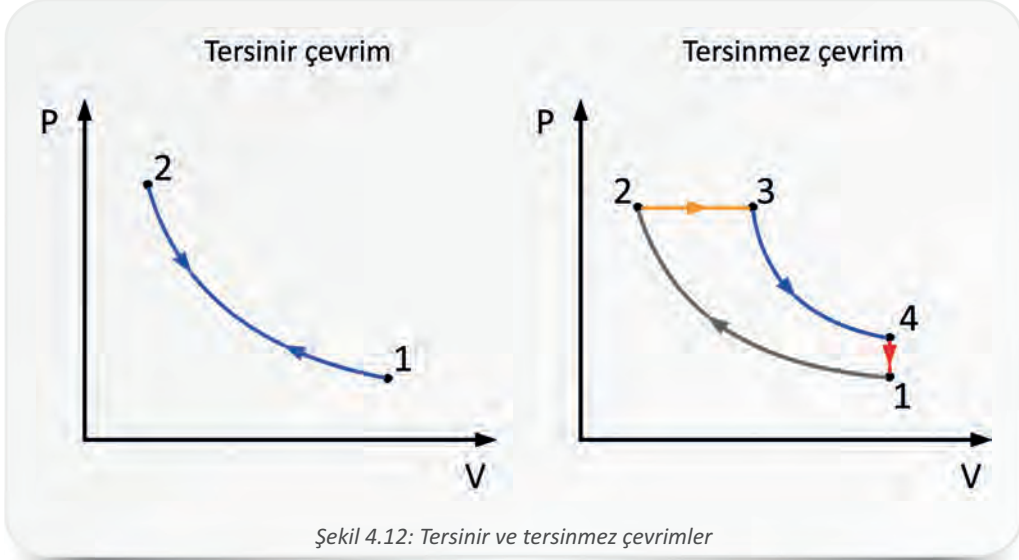
Bir sistemin bir dizi hâl değişimi sonrasında tekrar ilk hâline dönmeye **çevrim** denir. Çevrimin ilk ve son hâlleri aynıdır. Çevrim özelliklerinin değişimini gösteren grafiklere **diyagram** denir. Şekil 4.11'de termodinamik bir çevrimin basınç ve hacim (P-V) diyagramı görülmektedir.





4. Öğrenme Birimi

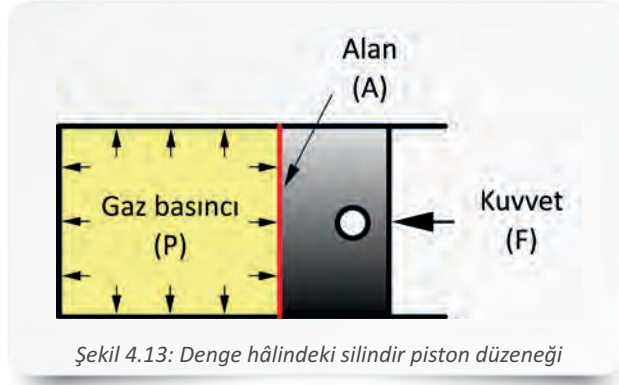
Çevrim bir süreçtir, bu süreç tersinir ve tersinmez olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir (Şekil 4.12). Sistemin geçirdiği hâl değişikliklerinin tekrar aynı yolu takip ederek iz bırakmadan ilk hâline gelmesine **tersinir çevrim** denir. Tersinir çevrimler teorik olarak vardır, fakat bunlara gerçek hayatta rastlanmaz. Sistemin geçirdiği hâl değişikliklerinin tekrar aynı yolu izlemeden ilk hâline dönmesine ise **tersinmez çevrim** denir. Bütün doğal süreçler tersinmezdir.



Şekil 4.12: Tersinir ve tersinmez çevrimler

1.8. Basınç

Bir sistemin, birim yüzey alana uyguladığı dik kuvvete **basınç** denir. Kapalı bir kaptaki gazın basıncı, temas ettiği tüm yüzeylerde aynıdır. Şekil 4.13'te görülen hareketli silindirik piston düzeneği dengededir. Pistonun hareketsiz kalması için gaz basıncı ile piston alanının çarpımı, dış kuvvete eşit olmalıdır. Dış kuvvetler değiştiğinde sistemin tekrar dengeye dönmesi gerekeceği için gazın basıncı da değişecektir.



Şekil 4.13: Denge hâlindeki silindirik piston düzeneği

Gazlarda basınç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

P : Basınç (Pa= N/m²)

F : Kuvvet (N)

A : Alan (m²)

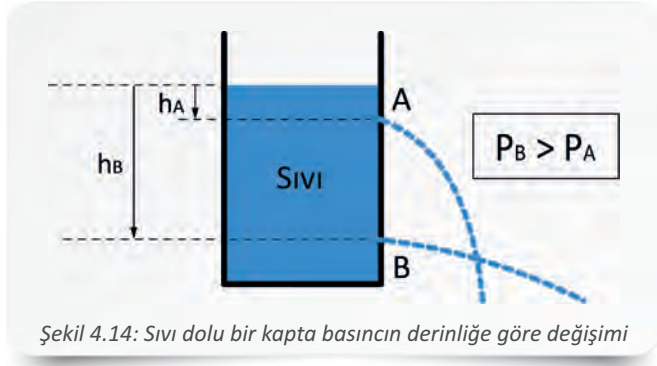
$$P = \frac{F}{A}$$



Örnek 7: Hareketli pistonu sahip bir silindirin içinde 100 Pa basınçta gaz vardır ve pistonu 10 N kuvvet etki etmektedir. Sürtünme olmadığı varsayılan sistem dengede olduğuna göre, piston yüzey alanını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$P=100 \text{ Pa}$	$P = \frac{F}{A}$
$F=10 \text{ N}$	$A = \frac{F}{P} = \frac{10}{100}$
$A=?$	$A = 0,1 \text{ m}^2$

Hareketsiz hâldeki sıvılar, buldukları kabın her yüzeyine basınç uygular. Yüzeyle uyguladıkları basınç, sıvının derinliğe göre değişir. Şekil 4.14'te içi sıvı dolu bir kabın yüzeyine iki delik açılmış ve farklı derinliklerde basınç değişimleri gözlemlenmiştir. B noktasındaki basınç A noktasına göre daha yüksek olduğu için B deliğinden akan sıvı daha tazyiklidir.



Şekil 4.14: Sıvı dolu bir kaptaki basıncın derinliğe göre değişimi

Sıvılarda basınç, aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

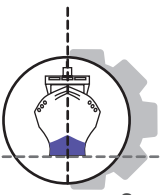
P : Basınç ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$)	$P = h \cdot \rho \cdot g$
h : Sıvının derinliği (m)	
ρ : Sıvının yoğunluğu (kg/m^3)	
g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)	

Uluslararası birim sisteminde (SI) ve termodinamik hesaplamalarda kullanılan basınç birimi **Pascal**'dır. İngiliz ölçü sisteminde kullanılan **psi**, atmosfer basıncını ifade eden **atm** ve Pascal'ın çok büyük değerler alması nedeniyle mühendislik hesaplamalarında kullanılan **bar**, diğer basınç birimlerinden bazılarıdır. Sık kullanılan bazı basınç birimleri, Tablo 4.5'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

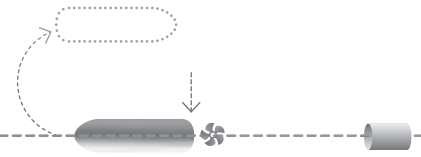
Tablo 4.5: Sık Kullanılan Basınç Birimlerinin Karşılaştırılması

	Pa	bar	atm	psi
1 Pa	1	0,00001	0,000009869	0,000145
1 bar	100000	1	0,9869	14,504
1 atm	101325	1,01325	1	14,696
1 psi	6895	0,06894	0,06804	1





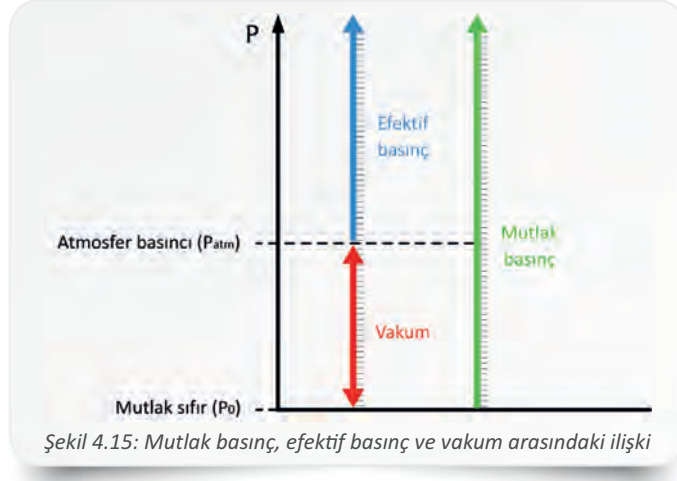
4. Öğrenme Birimi



Sıvı ve gaz akışkanların basıncını ölçmek için kullanılan cihazlara **manometre** denir. Manometre, ortamdaki atmosfer basıncını sıfır kabul ederek ölçüm yapar ve sadece bağlı olduğu sistemin basıncını ölçer. Manometrenin ölçtüğü basınca, **gösterge basıncı** ya da **efektif basınç** denir. Ölçülen değere ortamdaki atmosfer basıncı eklendiğinde **mutlak basınç** bulunur. Mutlak basınç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

P_{mutlak}	: Mutlak basınç	$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{efektif}} + P_{\text{atm}}$
P_{efektif}	: Manometreden ölçülen basınç (efektif basınç)	
P_{atm}	: Atmosfer basıncı	

Atmosfer basıncı yani açık hava basıncı **barometre** adı verilen cihazlarla ölçülür. Atmosfer basıncının altındaki basınçlara **vakum** denir. Mutlak basıncın sıfır olduğu yere ise **mutlak vakum** denir. Mutlak vakum tam boşluktur. Mutlak basınç, efektif basınç ve vakum arasındaki ilişki Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



1.9. Diğer Termodinamik Büyüklükler

Termodinamik hesaplamalarda yoğunluk, özgül hacim, özgül ağırlık gibi büyüklükler sıklıkla kullanılır.

- **Yoğunluk (ρ):** Değişmeyen madde miktarına **kütle** denir. Bir maddenin birim hacminin kütlesine ise **yoğunluk** denir.

ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)	$\rho = \frac{m}{V}$
m	: Kütle (kg)	
V	: Hacim (m^3)	

- **Özgül hacim (v):** Bir maddenin birim kütlesinin hacmine **özgül hacim** denir.

v	: Özgül hacim (m^3/kg)	$v = \frac{V}{m}$
m	: Kütle (kg)	
V	: Hacim (m^3)	

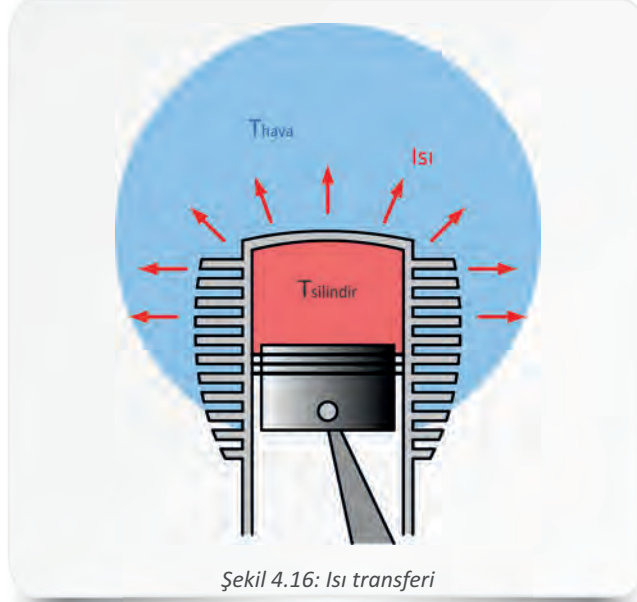
- **Özgül ağırlık (γ):** Bir maddenin birim hacminin ağırlığına **özgül ağırlık** denir.

γ	: Özgül ağırlık (N/m^3)	$\gamma = \frac{G}{V}$
G	: Ağırlık (N)	
V	: Hacim (m^3)	



2. ISI TRANSFERİ

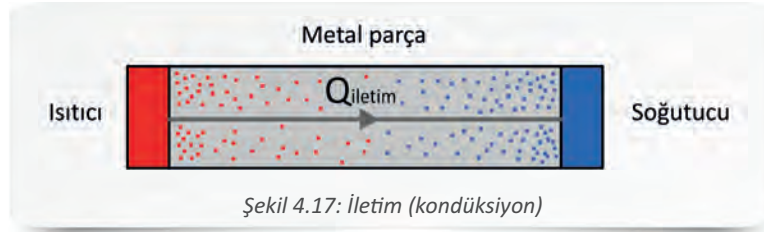
İki sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı alışverişine **ısı transferi (geçiş)** denir. Bu alışveriş, sistemler ısı dengeye ulaşana kadar yani sıcaklıklar eşitlenene kadar devam eder. Bir enerji çeşidi olan ısı, yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama doğru kendiliğinden hareket eder (Şekil 4.16).



Isının geçtiği ortamlara bağlı olarak ısı transferi üç şekilde meydana gelir. Bunlar; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) olarak sınıflandırılmaktadır.

- **İletim (Kondüksiyon)**

İletim, sistem içindeki sıcaklık farkından meydana gelir. Moleküller arası etkileşimle ısı enerjisinin geçişidir. İletim yoluyla ısı geçişi, sistemin her noktasındaki sıcaklık eşitlenene kadar devam eder. Bir ucundan ısıtılmış bir milin soğuk ucuna doğru geçen ısı, iletme örnek verilebilir (Şekil 4.17).



İletim yoluyla ısı geçişi, Fourier'in (Forier) ısı iletim kanununa göre aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

Q_{iletim} : İletim yoluyla ısı geçişi (W)

k : Isı iletim katsayısı (W/m.K)

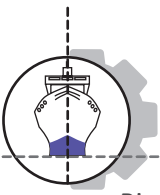
A : Yüzey alanı (m^2)

ΔT : Sıcaklık farkı (K)

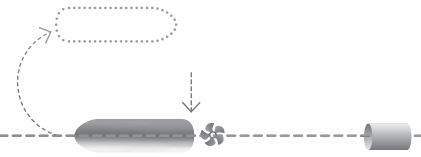
L : Kalınlık (m)

$$Q_{iletim} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$





4. Öğrenme Birimi



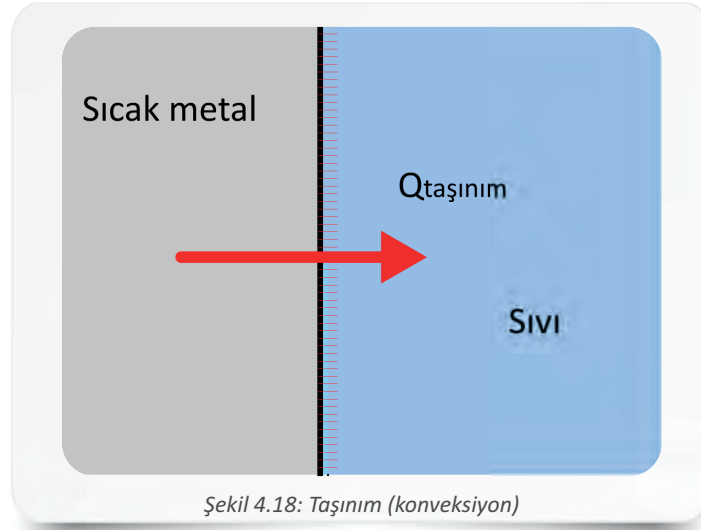
Bir maddenin ısıyı ne kadar iyi iletmediğini gösteren değere **ısı iletim katsayısı (k)** denir. Bu, maddeler için ayırt edici bir özelliktir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Isı İletim Katsayıları

Madde	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Alüminyum (saf)	204
Bakır (saf)	386
Demir (dövme)	59
Gümüş (saf)	407
Porselen	1,03
Cam	0,78
Su	0,59
Hava	0,026
20 °C'deki özelliklerdir.	

• Taşınım (Konveksiyon)

Taşınım, katı yüzey ve akışkan arasında gerçekleşen ısı alışverişidir. Isının silindirik bloğundan soğutma sıvısına geçişi taşınımına örnek verilebilir (Şekil 4.18). Isı geçişi yalnızca sıcaklık farkından oluşuyorsa **doğal taşınım**, pompa veya fan gibi cihazlar kullanılarak gerçekleştiriliyorsa **zorlamalı taşınım** olarak adlandırılır.



Taşınım yoluyla ısı geçişi, Tablo 4.7 Newton'un soğutma kanununa göre aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$Q_{\text{taşınım}}$: Taşınım yoluyla ısı geçişi (W)	$Q_{\text{taşınım}} = h \cdot A \cdot (T_y - T_a)$
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² .K)	
A	: Yüzey alanı (m ²)	
T_y	: Yüzey sıcaklığı (K)	
T_a	: Akışkan sıcaklığı (K)	

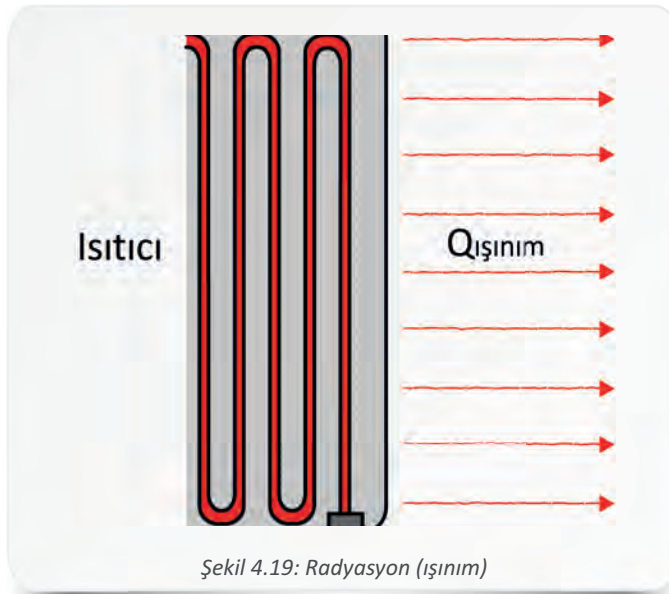


Tablo 4.7: Bazı Akışkanlar İçin Isı Taşınım Katsayıları

	Madde	Isı Taşınım Katsayısı (W/m ² .K)
Doğal Taşınım	Gazlar	5-30
	Yağlar	5-100
	Su	30-300
Zorlamalı Taşınım	Gazlar	30-300
	Yağlar	30-3000
	Su	300-10000

- **Işınım (Radyasyon)**

Elektromanyetik dalgalar veya fotonlarla gerçekleşen ısı aktarımına **ışınım (radyasyon)** denir. Işınım, fiziksel bir ortama ihtiyaç duymaksızın havasız ortamda veya mutlak vakumda gerçekleşebilir. Işınımın verilebilecek en bilinen örnek güneşin yeryüzünü ısıtmasıdır. Gemilerde ise ısı ın radyatör, buhar kazanı veya sıcak boru tesisatından etrafa yayılması, ışınımın örnek verilebilir (Şekil 4.19).



Işınım yoluyla ısı geçişi, Tablo 4.8 Stefan-Boltzman kanununa göre aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$Q_{\text{ışınım}}$: Işınım yoluyla ısı geçişi (W)

ϵ : Yayıma katsayısı

σ : Stefan-Boltzman sabiti ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

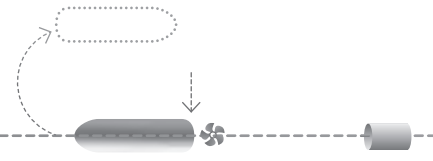
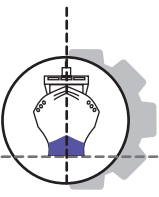
A : Yüzey alanı (m^2)

T_R : Radyasyon yayan cismin sıcaklığı (K)

T_C : Çevrenin sıcaklığı (K)

$$Q_{\text{ışınım}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_R^4 - T_C^4)$$

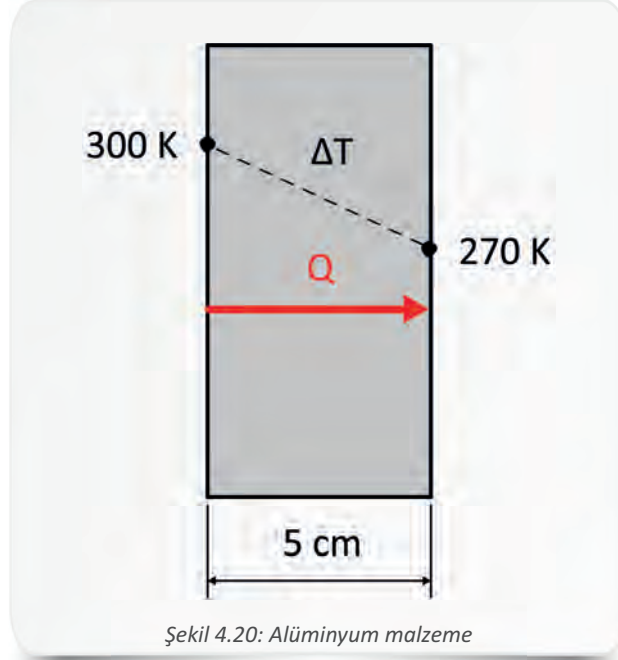




Tablo 4.8: Yayma Katsayıları

Madde	Yayma Katsayısı
Bakır (parlatılmış)	0,03
Çelik (parlatılmış)	0,1
Alüminyum (parlatılmış)	0,05
Demir (dövme parlatılmış)	0,28
Cam	0,92
Beyaz boya	0,89
Siyah boya	0,97
Su	0,96

Örnek 8: Şekil 4.20’de görülen 5 cm kalınlığındaki alüminyum bir soğutucu kapağının iç yüzeyi 270 K, dış yüzeyi 300 K sıcaklıktadır. Bu soğutucu kapağın 1 m²lik kısmından birim zamandaki ısı geçişini hesaplayınız.

**Verilenler:**

$k = 204 \text{ (W/m.K)}$
 $A = 1 \text{ m}^2$
 $\Delta T = (300 - 270) = 30 \text{ K}$
 $L = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$
 $Q_{\text{iletim}} = ?$

Çözüm:

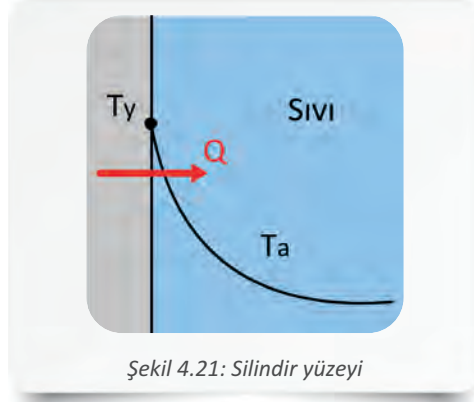
$$Q_{\text{iletim}} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

$$Q_{\text{iletim}} = \frac{204 \cdot 1 \cdot 30}{0,05}$$

$$Q_{\text{iletim}} = 122400 \text{ W} = 122,4 \text{ kW}$$



Örnek 9: Şekil 4.21'de görülen 0,02 m² su soğutma yüzey alanına sahip bir silindirin sıcaklığı 120 °C, yüzeye komşu soğutma suyunun sıcaklığı 20 °C olduğuna göre zorlamalı taşınım ısı geçişini hesaplayınız.



Şekil 4.21: Silindir yüzeyi

Verilenler:	Çözüm:
$h = 500 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$	$Q_{\text{taşınım}} = h \cdot A \cdot (T_y - T_a)$
$A = 0,02 \text{ m}^2$	$Q_{\text{taşınım}} = 500 \cdot 0,02 \cdot (393 - 293)$
$T_y = 120 \text{ }^\circ\text{C} = 393 \text{ K}$	$Q_{\text{taşınım}} = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$
$T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$	
$Q_{\text{taşınım}} = ?$	

Örnek 10: Alanı 0,01 m², yayma katsayısı 0,4 ve sıcaklığı 107 °C olan küre şeklindeki rulman bilyesinin (Şekil 4.22) -23 °C'lik bir ortamda gerçekleşen ısı geçişini hesaplayınız.



Şekil 4.22: Küre şeklindeki rulman bilyesi

Verilenler:	Çözüm:
$\epsilon = 0,4$	$Q_{\text{ışınım}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_R^4 - T_\zeta^4)$
$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$	$Q_{\text{ışınım}} = 0,4 \cdot 0,0000000567 \cdot 0,01 \cdot (380^4 - 250^4)$
$A = 0,01 \text{ m}^2$	$Q_{\text{ışınım}} = 3,84 \text{ W}$
$T_\zeta = -23 \text{ }^\circ\text{C} = 250 \text{ K}$	
$T_R = 107 \text{ }^\circ\text{C} = 380 \text{ K}$	
$Q_{\text{ışınım}} = ?$	





ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Sıcaklık, uluslararası birimler sistemine (SI) göre temel büyüklüklerdendir.
2. () Termodinamik bir sistemi çevreleyen yüzeye sistem ısısı denir.
3. () Ağırlık, maddenin kütesine bağımlı özelliklerindedir.
4. () Deniz suyu pompası, açık sistemlere örnek verilebilir.
5. () Isı enerjisi, düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru hareket eder.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Çevreleriyle yalnızca enerji alışverişi yapan, kütle alışverişi yapmayan sistemlere sistemler denir.
2. Sistem ve çevresi arasındaki enerji alışverişine denir.
3. Bir sistemin, birim yüzey alana uyguladığı dik kuvvete denir.
4. Bir maddenin birim hacminin kütesine denir.
5. İki sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı alışverişine denir.

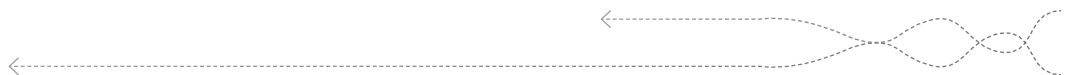
C) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. SI birim sisteminde yer alan ve gemi makinelerinin gücünü ifade etmek için de kullanılan güç birimi aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Amper
- B) Newton
- C) Radyan
- D) Tesla
- E) Watt

2. Kayıpların ihmal edildiği bir silindir piston düzeneğinde silindire 200 kJ ısı verildiğinde 40 kJ iş elde edilmiştir. Sistemin iç enerji değişimi kaç kJ'dür?

- A) 100
- B) 120
- C) 140
- D) 160
- E) 180





3. Aşağıdakilerden hangisi sistemin bağımsız (intensive) özelliklerindedir?

- A) Ağırlık
- B) Basınç
- C) Hacim
- D) Sıcaklık
- E) Uzunluk

4. Datça'da deniz suyu sıcaklığı 17 °C ölçüldüğüne göre bu değerin Kelvin (K) karşılığı nedir?

- A) 273
- B) 280
- C) 287
- D) 290
- E) 293

5. Kütleli 10 kg olan alüminyum bir iş parçasının sıcaklığını 10 °C artırmak için gerekli ısı kaç kJ'dür? ($c_p = 0,90 \text{ kJ/kg.K}$)

- A) 50
- B) 60
- C) 70
- D) 80
- E) 90

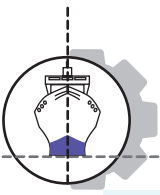
6. Hacmi 25 m³ olan 5 kg gazın özgül hacmi kaç m³/kg'dır?

- A) 3
- B) 4
- C) 5
- D) 6
- E) 7

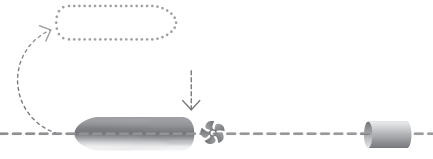
7. Aşağıdakilerden hangisi ile kapalı sistem basıncı ölçülebilir?

- A) Barometre
- B) Kilometre
- C) Manometre
- D) Pirometre
- E) Termometre





4. Öğrenme Birimi



8. Yüzey alanı $0,15 \text{ m}^2$ olan hareketli bir pistona sahip silindirin içinde 20 Pa basınçta gaz vardır. Bu sistemin dengede olabilmesi için pistona kaç N kuvvet etki etmelidir?

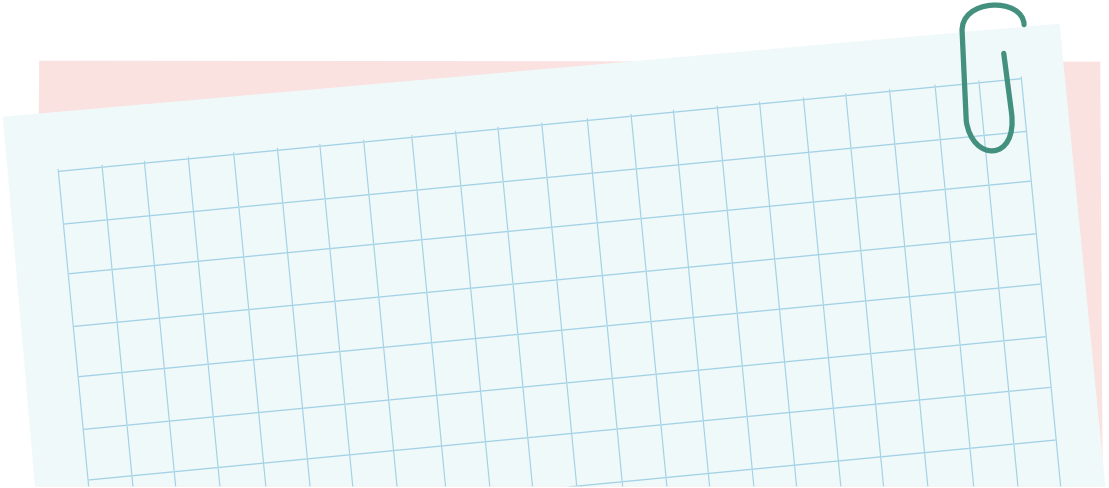
- A) 2
- B) 3
- C) 4
- D) 5
- E) 6

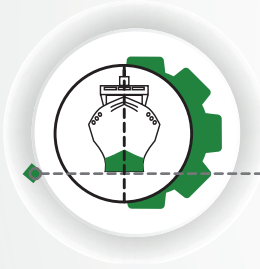
9. Isının silindir bloğundan soğutma suyuna geçişi aşağıdakilerden hangi ısı transfer türüne örnektir?

- A) Taşınım (konveksiyon)
- B) Işınım (radyasyon)
- C) Yalıtım (seperasyon)
- D) İletim (kondüksiyon)
- E) Yayılım (difüzyon)

10. Kalınlığı $0,01 \text{ m}$ olan paslanmaz çelik plakanın iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 20 K 'dir. Bu plakanın $0,4 \text{ m}^2$ lik kısmından birim zamandaki ısı geçişi kaç kJ 'dür? ($k = 15 \text{ W/m.K}$)

- A) 12000
- B) 12500
- C) 13000
- D) 13500
- E) 14000





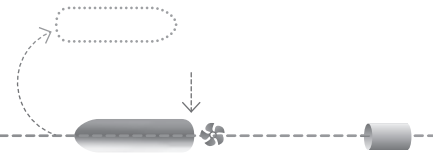
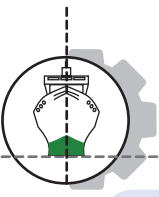
5. ÖĞRENME BİRİMİ

ÇEVİRİMLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR
2. SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ
3. BUHAR ÇEVİRİMLERİ
4. GAZ ÇEVİRİMLERİ
5. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE GÜÇ
6. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE VERİM
7. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE YAKIT TÜKETİMİ



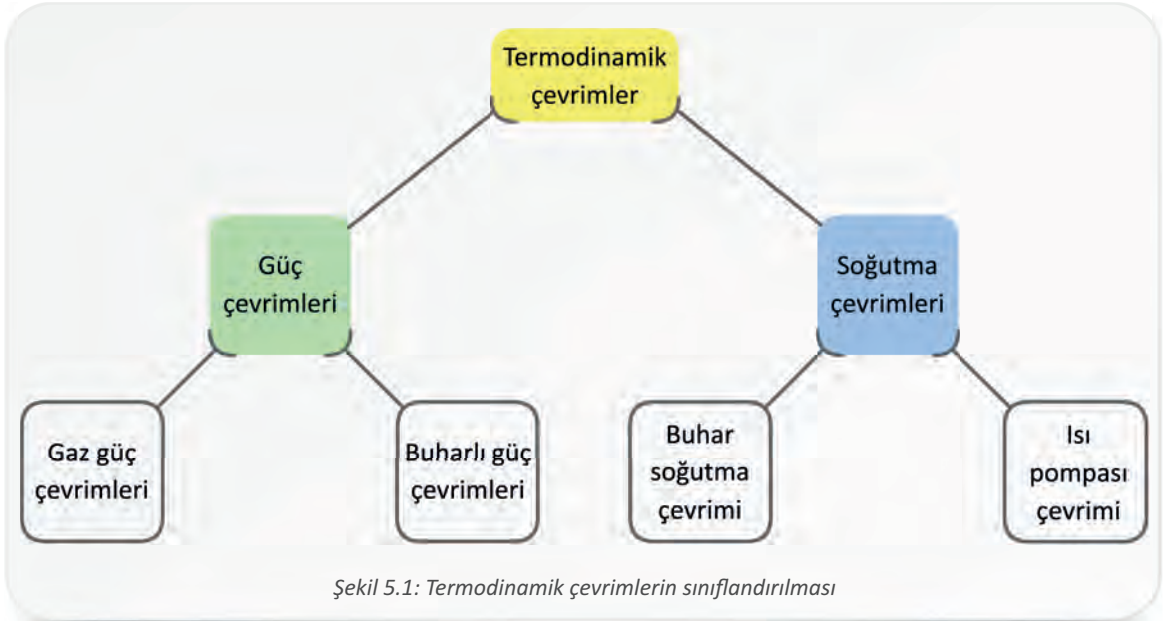


HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Gemi makine dairesinde bulunan ısı kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen ısının kullanım alanları ile ilgili bilgi ve gözlemlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Gemi ana makinesinin güç ve veriminin düşmesine nelerin sebep olabileceği ile ilgili görüşlerinizi belirtiniz.
3. İdeal (mükemmel) bir makinenin hangi özelliklere sahip olması gerektiğini ve bu özelliklerin gerçekte olup olmayacağını tartışınız.

ÇEVİRİMLER

Termodinamik çevrimlerde kullanılan çalışma akışkanı, bir veya birden fazla hâl değişimi gerçekleştirip tekrar ilk hâline döner. Bir amaç doğrultusunda gerçekleşen bu çevrimler, güç çevrimi ve soğutma çevrimi olarak sınıflandırılır (Şekil 5-1).

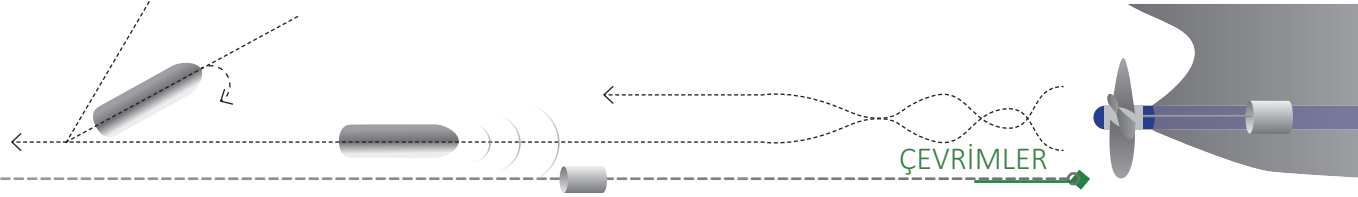


Şekil 5.1: Termodinamik çevrimlerin sınıflandırılması

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR

Termodinamik çevrimler, termodinamik kanunların yanı sıra çeşitli gaz kanunlarına dayanır. Bu kanunlar gazlarda basınç, sıcaklık ve hacim gibi değişkenlerin arasındaki ilişkiyi açıklar. Gazlarla ilgili yapılan hesaplamalarda işleme konu olan gazın ideal gaz olduğu varsayılır. Tüm hacmine oranla ihmal edilebilecek kadar küçük tanecikleri olan (atom, molekül, iyon vb.), bu tanecikler arasında çekme ya da itme kuvveti bulunmayan ve tanecikler arası çarpışmanın enerji kaybına yol açmadığı varsayılan gazlara **ideal gaz** denir. İdeal gazlar gerçekte yoktur. İdeal olmayan gazlara ise **gerçek gaz** denir. Tanecikler arası etkileşimin düşük olduğu yüksek sıcaklık ve düşük basınç gibi durumlarda gerçek gazlar, ideal gaz özelliklerine yaklaşır.





1.1. Mol Kavramı

Mol, Uluslararası Birimler Sistemi'nde (SI) belirtilen yedi temel büyüklükten biridir ve madde miktarının birimidir. 1 mol, **Avogadro sayısı** kadar yani $6,02 \times 10^{23}$ adet aynı tür tanecik içerir (Şekil 5.2). Avogadro sayısı SI sisteminde tanımlanmış yedi evrensel sabitten biridir. Normal şartlar altında ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve 1 atm basınçta) bütün gazların 1 molünün hacmi 22,414 litredir. Maddenin 1 molünün kütesine de **mol kütesi** denir.



Şekil 5.2: Mol sayısı

Mol sayısı aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir.

n	: Mol sayısı (mol)	$n = \frac{N}{N_A}$
N	: Tanecik sayısı	
N_A	: Avogadro sayısı	
m	: Toplam kütle (g)	$n = \frac{m}{M}$
M	: Mol kütesi (g/mol)	
V	: Verilen gaz hacmi (Litre)	$n = \frac{V}{22,4}$
22,4	: Normal şartlar altında bir gazın hacmi (Litre)	

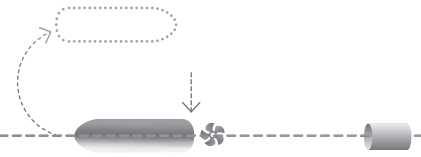
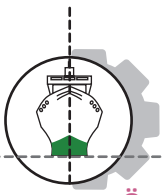
Örnek 1: 0,2 mol C_3H_8 gazı kaç tane molekül içerir?

Verilenler:	Çözüm:
$n = 0,2 \text{ mol}$	$n = \frac{N}{N_A}$
$N_A = 6,02 \times 10^{23}$	$0,2 = \frac{N}{6,02 \times 10^{23}}$
$N = ?$	$N = 0,2 \cdot 6,02 \times 10^{23}$
	$N = 1,204 \times 10^{23}$

Örnek 2: 4 gram CH_4 gazı kaç moldür?

Verilenler:	Çözüm:
$m = 4 \text{ g}$	$n = \frac{m}{M}$
$M = 16,04 \text{ g/mol}$	$n = \frac{4}{16,04}$
$n = ?$	$n = 0,25 \text{ mol}$





Örnek 3: Normal şartlar altında 44,8 litre CO₂ gazı kaç moldür?

Verilenler:

$$V = 44,8 \text{ L}$$

Normal şartlar altında gaz hacmi = 22,4 L

$$n = ?$$

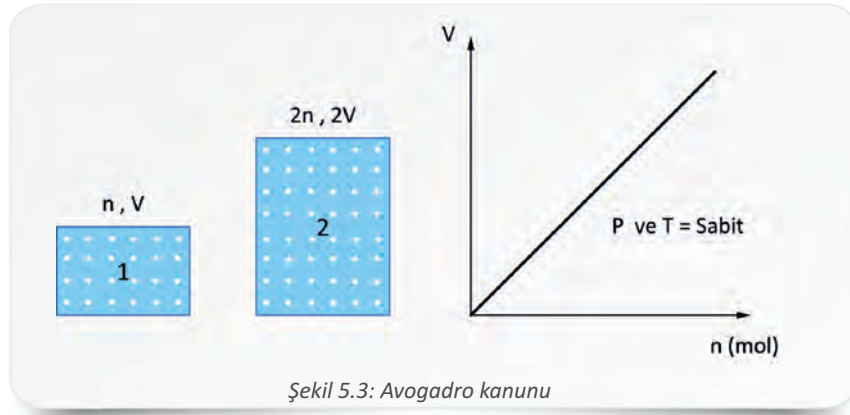
Çözüm:

$$n = \frac{V}{22,4} = \frac{44,8}{22,4}$$

$$n = 2 \text{ mol}$$

1.2. Avogadro Kanunu

Sabit basınç ve sıcaklıktaki bir gazın hacmi ve mol sayısı doğru orantılı olarak değişir (Şekil 5.3). Aynı basınç ve sıcaklıktaki farklı gazların eşit hacimlerinin mol sayıları aynıdır.



Avogadro kanunu aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$P_1 = P_2 = P_n$$

$$T_1 = T_2 = T_n$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = \frac{V_n}{n_n}$$

Örnek 4: Sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindirik piston düzeneği içerisinde 5 L hacimde 10 g H₂ gazı bulunmaktadır. Bu silindire eşit sıcaklıkta 2 g daha H₂ gazı eklenirse gazın son hacminin kaç L olacağını hesaplayınız. (H₂ = 2 g/mol)

Verilenler:

$$P_1 = P_2 = \text{Sabit}$$

$$T_1 = T_2 = \text{Sabit}$$

$$M = 2 \text{ g/mol}$$

$$V_1 = 5 \text{ L}$$

$$m_1 = 10 \text{ g}$$

$$V_2 = ?$$

Çözüm:

$$m_2 = 10 + 2 = 12 \text{ g}$$

$$n_1 = \frac{m_1}{M} = \frac{10}{2}$$

$$n_1 = 5 \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{m_2}{M} = \frac{12}{2}$$

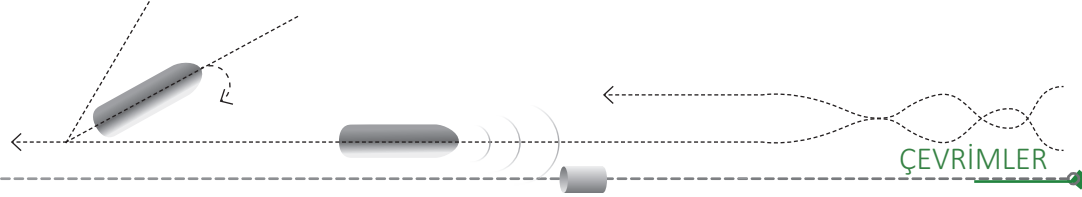
$$n_2 = 6 \text{ mol}$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

$$\frac{5}{5} = \frac{V_2}{6}$$

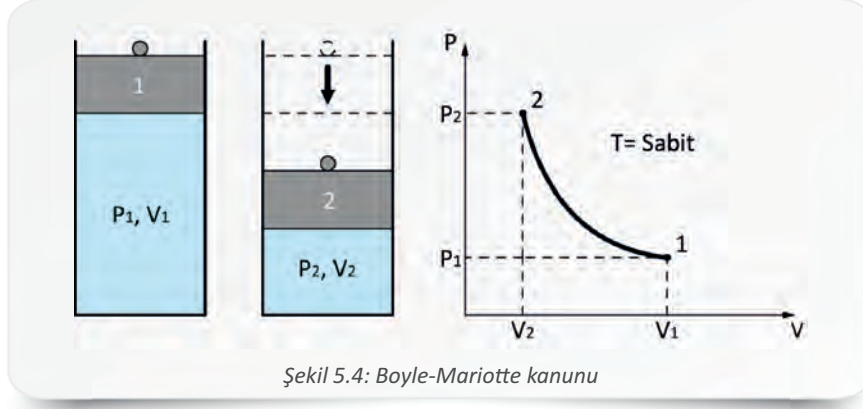
$$V_2 = 6 \text{ L}$$





1.3. Boyle-Mariotte Kanunu

Sabit sıcaklıkta, kapalı kaptaki bir gazın basıncı ile hacminin çarpımı daima sabittir. Gazın hacmi azalırsa basıncı da aynı oranda artar, hacmi artarsa basıncı da aynı oranda azalır (Şekil 5.4).



Boyle-Mariotte kanunu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$T_1 = T_2 = T_n$$

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_n \cdot V_n$$

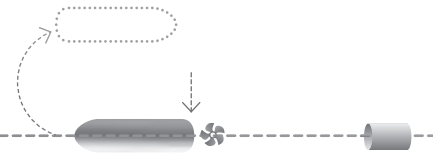
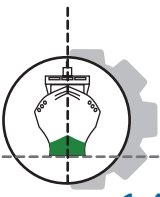
Örnek 5: Sabit sıcaklıkta, hacmi değişebilen kapalı bir silindir içindeki 3 Pa basınçtaki gaz, sabit sıcaklıkta 0,01 m³ hacim yer kaplamaktadır. Silindirin hacmi 0,007 m³ azaltıldığında içindeki gazın basıncının kaç Pa olacağını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$T_1 = T_2 = \text{Sabit}$	$V_2 = 0,01 - 0,007 = 0,003 \text{ m}^3$
$P_1 = 3 \text{ Pa}$	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
$V_1 = 0,01 \text{ m}^3$	$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{3 \cdot 0,01}{0,003} = 10 \text{ Pa}$
$P_2 = ?$	$P_2 = 10 \text{ Pa}$

Örnek 6: Basıncı 200 kPa, hacmi 0,12 m³ olan bir gaz, sabit sıcaklıkta 540 kPa basınca sıkıştırılıyor. Bu gazın son hacmini hesaplayınız.

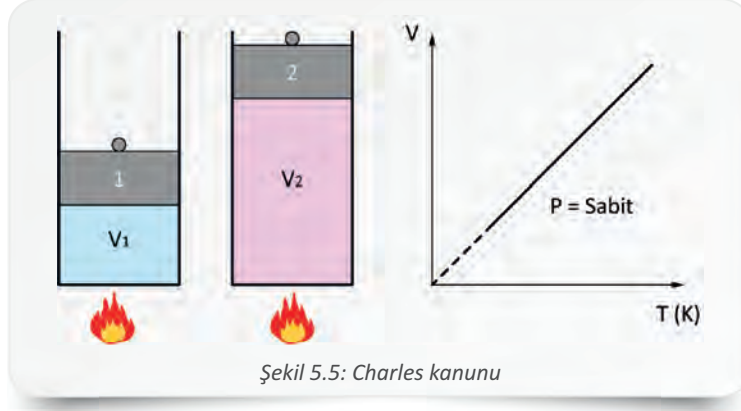
Verilenler:	Çözüm:
$T_1 = T_2 = \text{Sabit}$	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
$P_1 = 200 \text{ kPa}$	$V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2} = \frac{200 \cdot 0,12}{5400} = 0,04 \text{ m}^3$
$P_2 = 540 \text{ kPa}$	$V_2 = 0,04 \text{ m}^3$
$V_1 = 0,12 \text{ m}^3$	
$V_2 = ?$	





1.4. Charles Kanunu

Sabit basınçta kapalı bir kaptaki gazın hacmi, sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Gazın sıcaklığı artarsa hacmi de aynı oranda artar, sıcaklığı azalır hacmi de aynı oranda azalır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Charles kanunu

Charles kanunu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$P_1 = P_2 = P_n$$

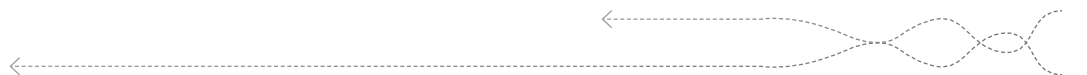
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_n}{T_n}$$

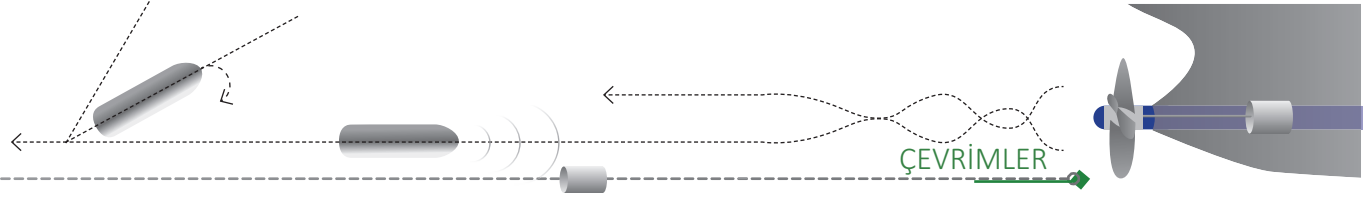
Örnek 7: Sabit basınçta, kapalı bir silindir içinde 280 K sıcaklıktaki gaz 14 L hacim yer kaplamaktadır. Kabin sıcaklığı 60 K azaltıldığında gazın hacminin kaç L olacağını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$P_1 = P_2 = \text{Sabit}$	$T_2 = 280 - 60 = 220 \text{ K}$
$T_1 = 280 \text{ K}$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
$V_1 = 14 \text{ L}$	$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{14 \cdot 220}{280} = 11 \text{ L}$
$V_2 = ?$	$V_2 = 11 \text{ L}$

Örnek 8: Sıcaklığı 110 °C olan bir gazın hacmi sabit basınçta 2 m³'ten 6 m³'e yükseltiliyor. Buna göre gazın son sıcaklığının kaç °C olduğunu hesaplayınız.

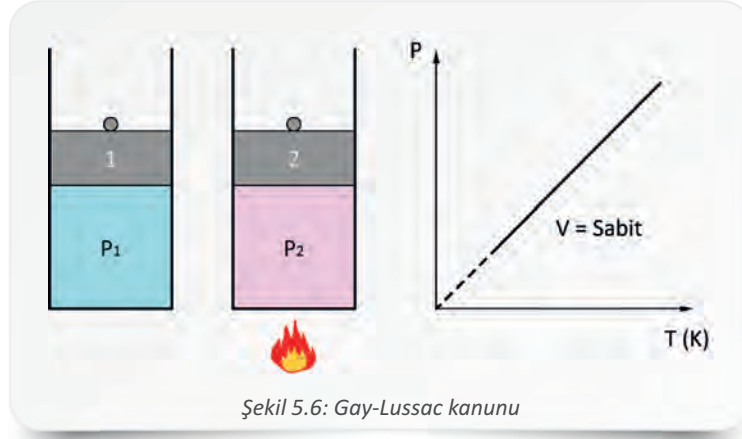
Verilenler:	Çözüm:
$P_1 = P_2 = \text{Sabit}$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
$T_1 = 110 \text{ °C}$	$T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1} = \frac{6 \cdot 110}{2} = 330 \text{ °C}$
$V_1 = 2 \text{ m}^3$	$T_2 = 330 \text{ °C}$
$V_2 = 6 \text{ m}^3$	
$T_2 = ?$	





1.5. Gay-Lussac Kanunu

Sabit hacimde kapalı bir kaptaki gazın basıncı, sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Gazın sıcaklığı artarsa basıncı da aynı oranda artar, sıcaklığı azalır ise basıncı da aynı oranda azalır (Şekil 5.6).



Gay-Lussac kanunu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$V_1 = V_2 = V_n$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_n}{T_n}$$

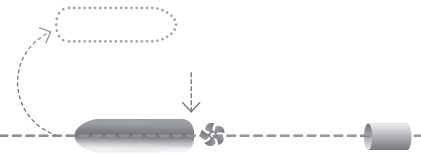
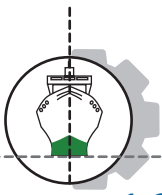
Örnek 9: Sabit hacimli bir silindirde bulunan gazın sıcaklığı 12 °C, basıncı ise 10 Pa'dır. Bu gazın basıncı 4 Pa artırılırsa son sıcaklığının kaç °C olacağını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$V_1 = V_2 = \text{Sabit}$	$P_2 = 10 + 4 = 14 \text{ Pa}$
$T_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$P_1 = 10 \text{ Pa}$	$T_2 = \frac{P_2 \cdot T_1}{P_1} = \frac{14 \cdot 12}{10} = 16,8 \text{ }^\circ\text{C}$
$T_2 = ?$	$T_2 = 16,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Örnek 10: Sıcaklığı 330 K, basıncı 110 kPa olan bir gazın sıcaklığı sabit hacimde 100 K azaltılırsa basıncının kaç kPa olacağını hesaplayınız.

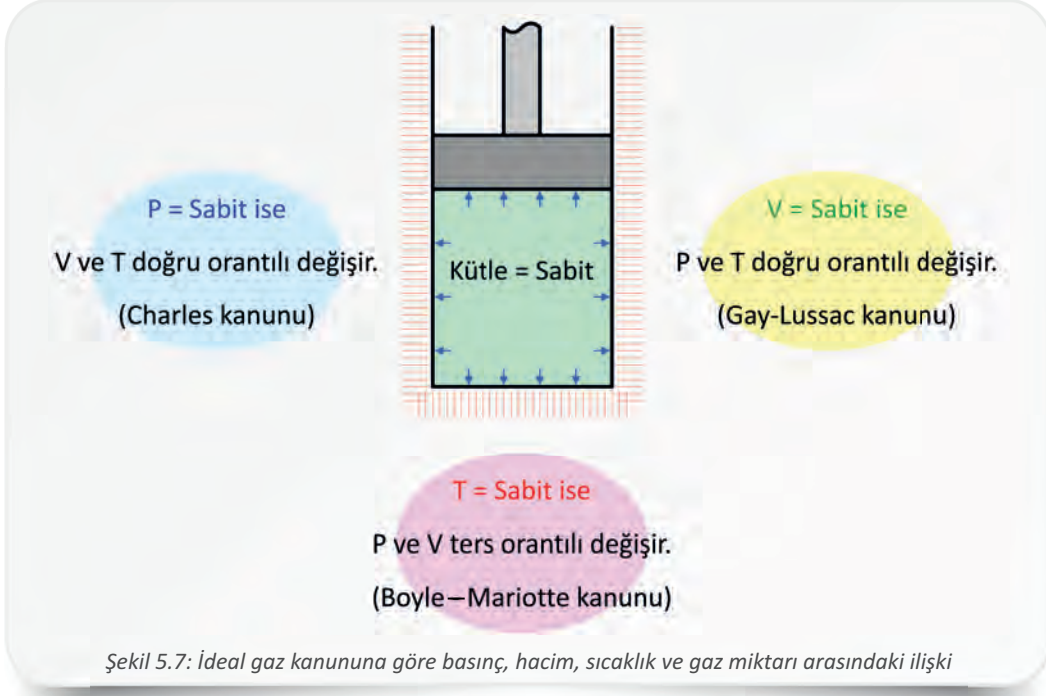
Verilenler:	Çözüm:
$V_1 = V_2 = \text{Sabit}$	$T_2 = 330 - 100 = 230 \text{ K}$
$T_1 = 330 \text{ K}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$P_1 = 110 \text{ kPa}$	$P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{110 \cdot 230}{330} = 76,6 \text{ kPa}$
$P_2 = ?$	$P_2 = 76,6 \text{ kPa}$





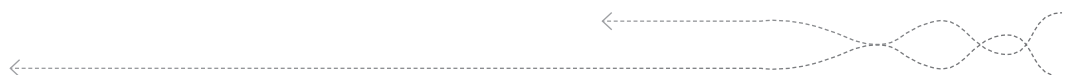
1.6. İdeal Gaz Kanunu

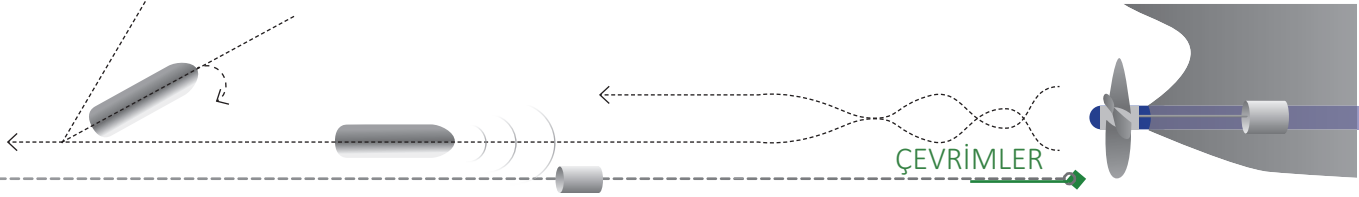
İdeal gaz kanunu, diğer gaz kanunlarının hepsini kapsar. İdeal bir gaz için çeşitli koşullar altındaki basınç, hacim ve sıcaklık ilişkisini inceler (Şekil 5.7).



İdeal gaz kanunu çeşitli değişkenlere bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

P : Basınç (kPa)	$P \cdot v = R \cdot T$
v : Özgül hacim (m^3/kg)	
R : Gaz sabiti (kJ/kg.K)	$v = \frac{V}{m}$
T : Sıcaklık (K)	
V : Hacim (m^3)	$\frac{P \cdot V}{m} = R \cdot T$
m : Kütle (kg)	
R_u : Evrensel gaz sabiti (kJ/kmol.K)	$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$
n : Mol sayısı (kmol)	
M : Mol kütlesi (kg/kmol)	$R = \frac{R_u}{M}$
	$m = n \cdot M$
	$P \cdot V = n \cdot M \cdot \frac{R_u}{M} \cdot T$
	$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T$





Normal şartlar altında bütün ideal gazlar için aynı olan **evrensel gaz sabiti (R_u)** aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

SI sistemine göre normal şartlar altında 1 mol gaz için,

Normal basınç : $P = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$

Normal hacim : $V = 22,414 \text{ L} = 0,022414 \text{ m}^3$

Normal sıcaklık : $T = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$

$$R_u = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$$

$$R_u = \frac{101325 \cdot 0,022414}{1 \cdot 273,15}$$

$$R_u = 8,3144 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$$

$$R_u = 8,3144 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

Her gerçek gazın kendine özgü bir **gaz sabiti (R)** vardır. Gerçek gazlar için gaz sabiti aşağıdaki bağıntılar ile bulunur.

R : Gaz sabiti (kJ/kg.K)

R_u : Evrensel gaz sabiti (kJ/kmol.K)

M : Mol kütlesi (kg/kmol)

c_p : Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)

c_v : Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg.K)

$$R = \frac{R_u}{M}$$

$$R = c_p - c_v$$

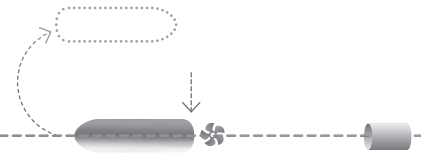
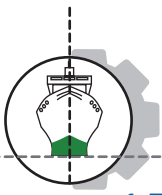
Örnek 11: 10 Pa basınçta 0,2 mol gazın hacmi 2,2 m³ ve sıcaklığı 20 °C olduğuna göre gaz sabitini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$P = 10 \text{ Pa}$	$R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$
$V = 2,2 \text{ m}^3$	$R = \frac{10 \cdot 2,2}{0,2 \cdot 293}$
$n = 0,2 \text{ mol}$	$R = 0,3754 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$
$T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$	
$R = ?$	

Örnek 12: Hacmi 0,2 m³ olan kapalı silindirik bir kapta basıncı 100 kPa olan 0,5 kg hava bulunmaktadır. Havanın sıcaklığını (K) Kelvin cinsinden bulunuz. ($R_{\text{hava}} = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$)

Verilenler:	Çözüm:
$P = 100 \text{ kPa}$	$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$
$V = 0,2 \text{ m}^3$	$T = \frac{P \cdot V}{m \cdot R}$
$m = 0,5 \text{ kg}$	$T = \frac{100 \cdot 0,2}{0,5 \cdot 0,287}$
$R_{\text{hava}} = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$	$T = 139,37 \text{ K}$
$T = ?$	





1.7. Gazların Hâl Değişimleri

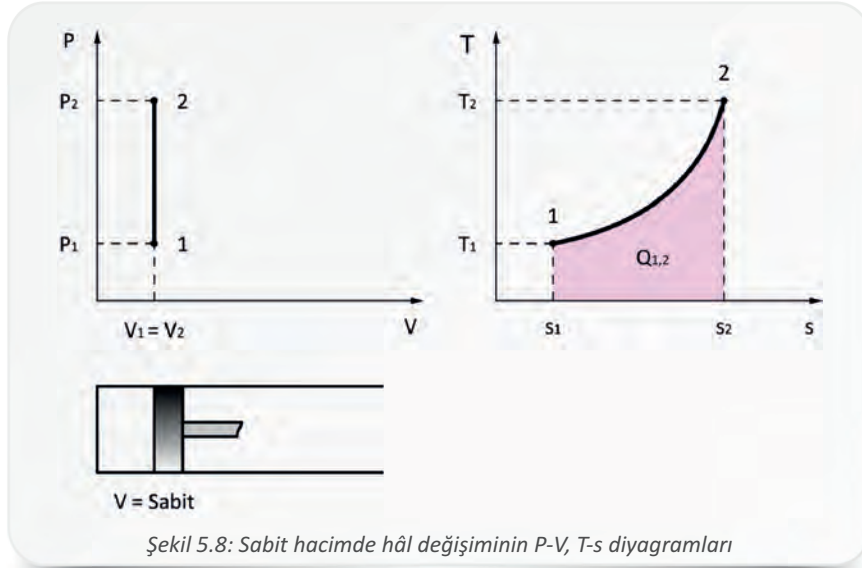
Termodinamik sistemlerin teorik çevrimlerindeki temel hâl değişimlerinin kapalı sistem, sürtünmesiz piston ve ideal gaz kullanılarak yapıldığı varsayılır. Bu hâl değişimleri, **basınç-hacim (P-V)** ve **sıcaklık-entropi (T-s)** diyagramları üzerinde incelenir. P-V diyagramı eğrisi altında kalan alan sistem tarafından yapılan işe, T-s diyagramı eğrisi altında kalan alan ise sistemdeki ısı alışverişine eşittir. Termodinamik hâl değişimlerinde iş, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

W	: Yapılan iş (J)	W = P · ΔV
P	: Basınç (Pa)	
ΔV	: Hacim değişimi (m ³)	

Hâl değişimlerinde iş, ısı ve entropi değişimi gibi bazı bağıntılar, logaritmik hesaplamalar (\ln) yardımıyla çözülür. Bu hesaplamalar, hesap makinesi kullanılarak kolayca yapılabilir. Hesaplamalarda sistemin yaptığı iş pozitif (+), sistemin harcadığı iş negatif (-), sistemin aldığı ısı pozitif (+) ve sistemin kaybettiği ısı negatif (-) değerde olur. Bu değerler iş ve ısının yönünü gösterir.

1.7.1. Sabit Hacimde (İzokorik) Hâl Değişimi

Bu hâl değişimi sırasında hacim değişmez. Sabit hacimde hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8: Sabit hacimde hâl değişiminin P-V, T-s diyagramları

Sabit hacimde hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Sabit hacimde hâl değişiminde $V_1 = V_2$ olduğu için

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

P-V diyagramı eğrisi altında alan olmadığı için sabit hacimde iş, sıfıra eşittir.

$$w_{1,2} = 0$$

Birim kütle için ısı değişimi

$$q_{1,2} = c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

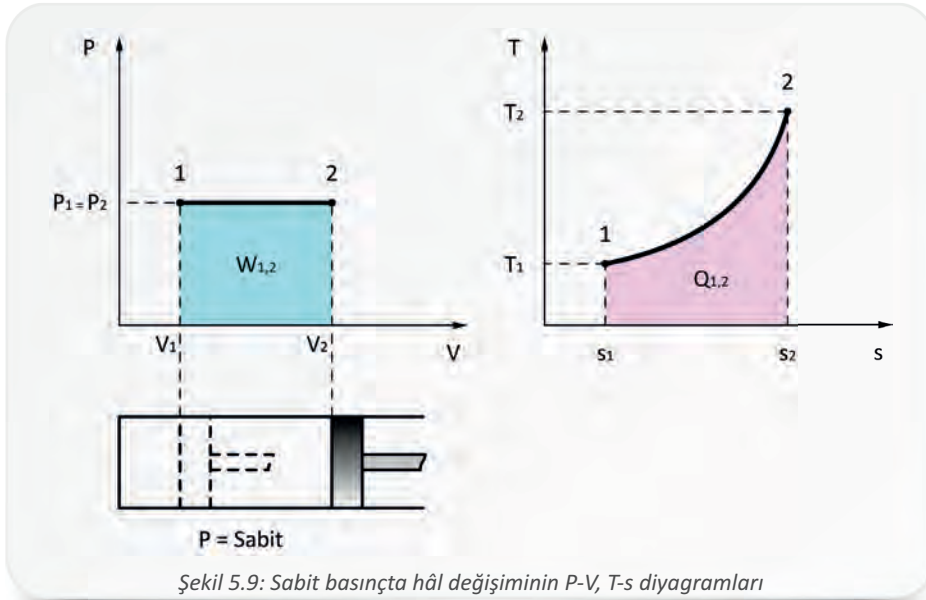


Örnek 13: Sıcaklıkla hacminin değişmediği varsayılan bir kompresörün hava tankında 350 K sıcaklıkta ve 550 kPa basınçta hava vardır. Bu deponun sıcaklığı 50 K azaldığında tank basıncının kaç kPa ve birim kütle için ısı kaybının kaç kJ/kg olacağını hesaplayınız. ($c_v = 0,718$ kJ/kg.K)

Verilenler:	Çözüm:
$V_1 = V_2$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$T_1 = 350$ K	
$P_1 = 550$ kPa	$P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{550 \cdot 300}{350} = 471$
$T_2 = 350 - 50 = 300$ K	$P_2 = 471$ kPa
$P_2 = ?$	$q_{1,2} = c_v \cdot (T_2 - T_1) = 0,718 \cdot (300 - 350) = -35,9$ kJ/kg
$q_{1,2} = ?$	$q_{1,2} = -35,9$ kJ/kg

1.7.2. Sabit Basıncda (İzobarik) Hâl Değişimi

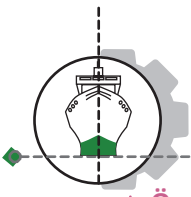
Bu hâl değişimi sırasında basınç değişmez. Sabit basınçta hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.9'da görülmektedir.



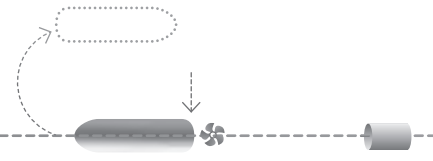
Sabit basınçta hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Sabit basınçta hâl değişiminde $P_1 = P_2$ olduğu için	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
Birim kütle için iş	$w_{1,2} = P \cdot (V_2 - V_1)$ veya $w_{1,2} = R \cdot (T_2 - T_1)$
Birim kütle için ısı değişimi	$q_{1,2} = c_p \cdot (T_2 - T_1)$





5. Öğrenme Birimi

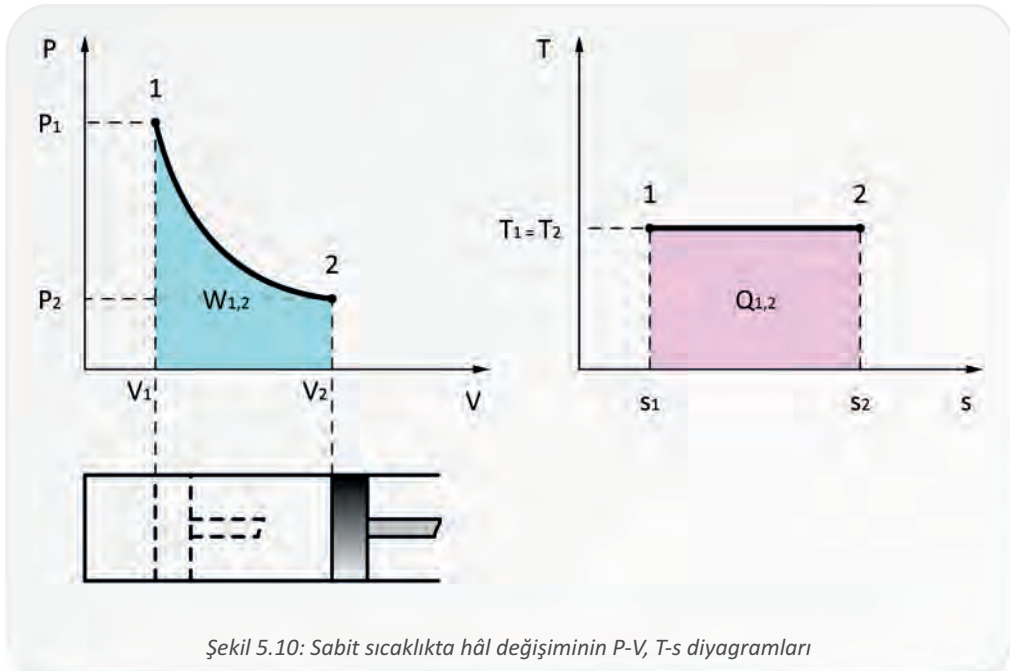


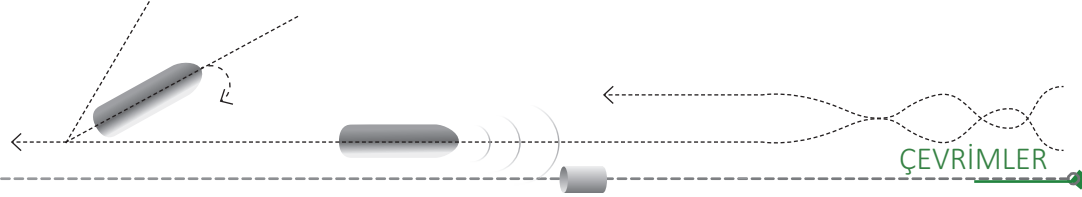
Örnek 14: Sabit basınçta sıcaklığı 500 K ve hacmi 0,50 m³ olan bir gaz 780 K sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Sistemdeki birim kütle için ısı değişimini ve işi hesaplayınız. ($c_p = 1,039$ kJ/kg.K, $c_v = 0,743$ kJ/kg.K)

Verilenler:	Çözüm:
$P_1 = P_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
$T_1 = 500$ K	$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,50 \cdot 780}{500} = 0,78$ m ³
$V_1 = 0,50$ m ³	$V_2 = 0,78$ m³
$T_2 = 780$ K	$q_{1,2} = c_p \cdot (T_2 - T_1) = 1,039 \cdot (780 - 500) = 290$ kJ/kg
$V_2 = ?$	$q_{1,2} = 290$ kJ/kg
$q_{1,2} = ?$	$R = c_p - c_v = 1,039 - 0,743 = 0,296$ kJ/kg.K
$w_{1,2} = ?$	$w_{1,2} = R \cdot (T_2 - T_1) = 0,296 \cdot (780 - 500) = 82,88$ kJ/kg
	$w_{1,2} = 82,88$ kJ/kg

1.7.3. Sabit Sıcaklıkta (İzotermal) Hâl Değişimi

Bu hâl değişimi sırasında sıcaklık değişmez. Sabit sıcaklıkta hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.10'da görülmektedir.





Sabit sıcaklıkta hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

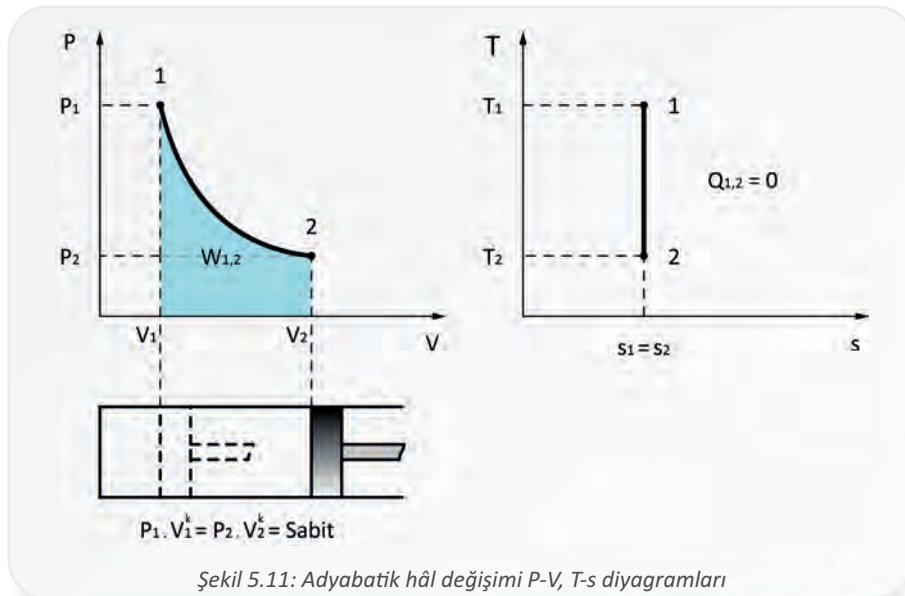
İzotermal hâl değişiminde $T_1 = T_2$ sabit olduğu için	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
Birim kütle için iş	$w_{1,2} = R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$
Birim kütle için ısı değişimi	$q_{1,2} = w_{1,2}$
İzotermal hâl değişiminde sistemin iç enerji değişimi sıfırdır. Isı alışverişi ve iş birbirine eşittir.	$\Delta u = q - w = 0$

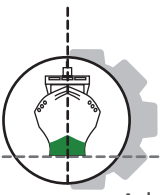
Örnek 15: Bir silindirin içinde bulunan 300 kPa basınçtaki hava, sabit sıcaklıkta 0,09 m³ hacimden 0,30 m³ hacme kadar genişletilmektedir. Havanın son basıncını hesaplayınız.

Verilenler: $T_1 = T_2$ $V_1 = 0,09 \text{ m}^3$ $V_2 = 0,30 \text{ m}^3$ $P_1 = 300 \text{ kPa}$ $P_2 = ?$	Çözüm: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ $P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{300 \cdot 0,09}{0,3} = 90 \text{ kPa}$ $P_2 = 90 \text{ kPa}$
---	---

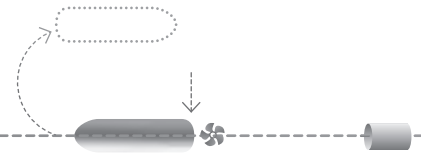
1.7.4. Adyabatik (İzentropik) Hâl Değişimi

Adyabatik hâl değişimi sırasında sistem çevresiyle ısı alışverişinde bulunmaz. Motorların teorik çevrimlerinde sıkıştırma ve genişleme işlemleri adyabatik özelliktedir. Bu hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.11'de görülmektedir.





5. Öğrenme Birimi



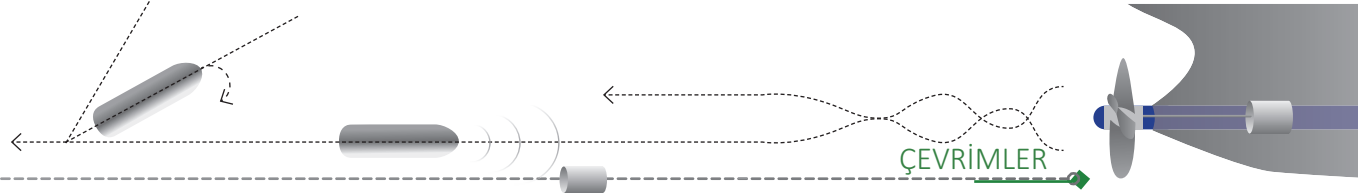
Adyabatik hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Adyabatik hâl değişiminde kullanılan bağıntılar	$P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k$ <p>ve</p> $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$
Adyabatik üs (k)	$k = \frac{c_p}{c_v}$
Birim kütle için iş	$w_{1,2} = \frac{(P_1 \cdot V_1) - (P_2 \cdot V_2)}{k - 1}$ <p>veya</p> $w_{1,2} = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{1 - k}$
Birim kütle için ısı değişimi	$q = 0$

- Örnek 16: Sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeneği içinde bulunan 50 kPa basınçta ve 55 °C sıcaklıktaki hava 250 °C sıcaklığa kadar adyabatik olarak sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında birim kütle için harcanan işin kaç kJ/kg olduğunu hesaplayınız. (R = 0,287 kJ/kg.K ve k = 1,4)

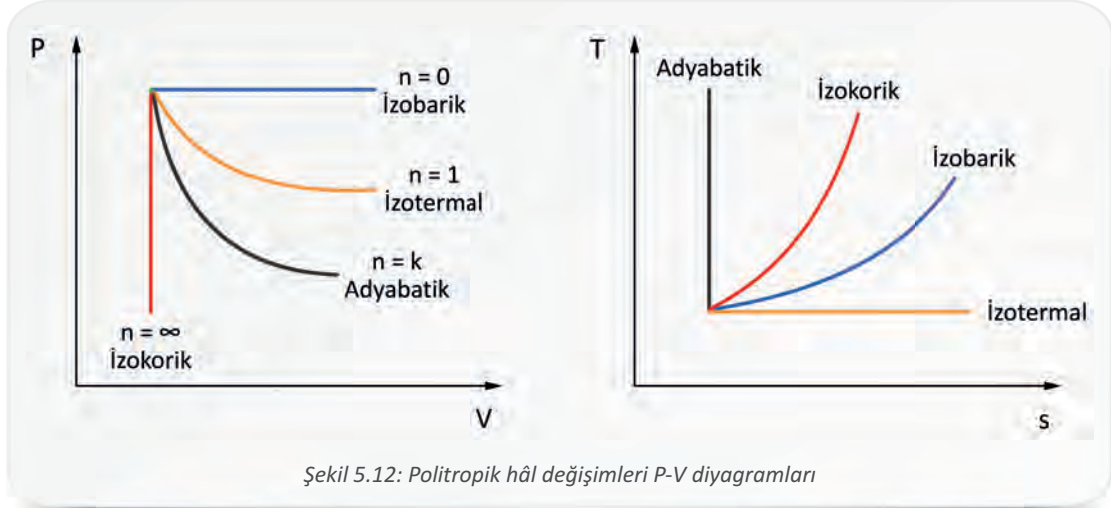
Verilenler: R = 0,287 kJ/kg.K k = 1,4 P ₁ = 50 kPa T ₁ = 55 °C T ₂ = 250 °C w _{1,2} = ?	Çözüm: $w_{1,2} = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{1 - k} = \frac{0,287 \cdot (250 - 55)}{1 - 1,4} = -140 \text{ kJ/kg}$ w_{1,2} = -140 kJ/kg
--	---





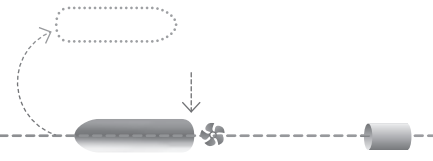
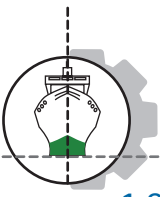
1.7.5. Çok Değişkenli (Politropik) Hâl Değişimi

Gerçek çevrimleri incelemeye kullanılan hâl değişimidir. Basınç, hacim ve sıcaklık değişkendir. Isı alışverişi olabilir. Diğer hâl değişimleri politropik hâl değişiminin özel durumlarıdır. Çok değişkenli hâl değişimlerinin P-V diyagramları Şekil 5.12'de görülmektedir.



Politropik hâl değişiminde kullanılan bağıntı	$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$ <p style="text-align: center;">ve</p> $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$
Politropik üs (n)	$(1 < n < k)$ <p>n = 0 ⇒ P = Sabit (İzobarik)</p> <p>n = 1 ⇒ T = Sabit (İzotermal)</p> <p>n = k ⇒ P · V^k = Sabit (Adyabatik)</p> <p>n = ∞ ⇒ V = Sabit (İzokorik)</p>
Sistemdeki iş	$W_{1,2} = \frac{(P_1 \cdot V_1) - (P_2 \cdot V_2)}{n - 1}$
Birim kütle için ısı etkileşimi	$q_{1,2} = c_n \cdot (T_2 - T_1)$
Politropik hâl değişiminde özgül ısı (c _n)	$c_n = c_v \frac{k - n}{1 - n}$





1.8. Termodinamik Kanunlar

Çeşitli gözlem ve deneyler sonucunda bilim insanları tarafından termodinamik ile ilgili dört temel kanun ortaya konulmuştur. Bunlar; termodinamiğin sıfıncı, birinci, ikinci ve üçüncü kanunları olarak adlandırılır.

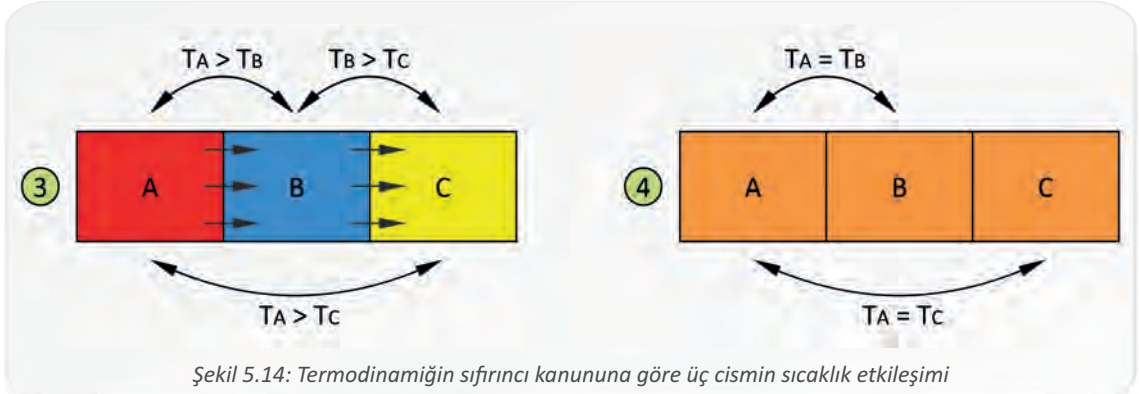
1.8.1. Termodinamiğin Sıfıncı Kanunu

Termodinamiğin birinci, ikinci ve üçüncü kanunlarından sonra bulunan bu kanun, diğer kanunların temelini oluşturduğu için sıfıncı kanun olarak adlandırılmış ve termodinamiğin diğer kanunları arasında ilk sıraya konulmuştur. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi sıcaklıkları farklı ve temas hâlindeki iki sistemin (A ve B) sıcaklık değişimleri her iki sistem de aynı sıcaklığa yani ısı dengeye ulaşana kadar devam eder.



Şekil 5.13: Termodinamiğin sıfıncı kanununa göre iki cismin sıcaklık etkileşimi

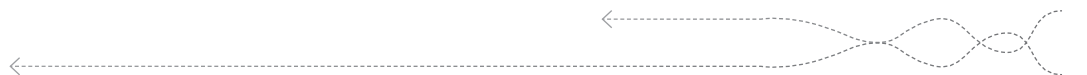
Termodinamiğin sıfıncı kanununa göre birbirleriyle temas hâlinde olmayan iki sistem (A ve C), ortak temas ettikleri üçüncü bir sistem ile (B) ısı dengedeyse bu iki ayrı sistem de (A ve C) birbiriyle ısı dengededir (Şekil 5.14).

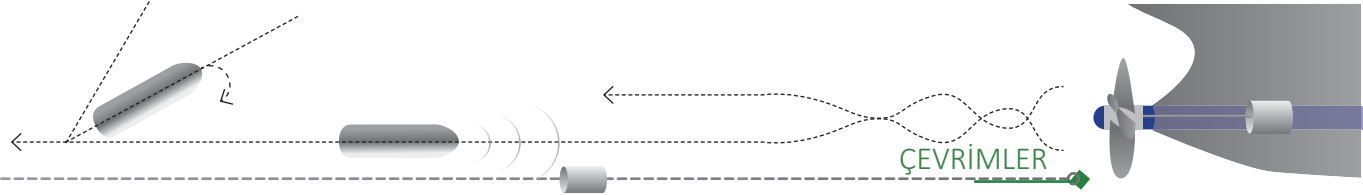


Şekil 5.14: Termodinamiğin sıfıncı kanununa göre üç cismin sıcaklık etkileşimi

1.8.2. Termodinamiğin Birinci Kanunu

Enerjinin korunumu olarak da bilinen bu kanuna göre enerji kendiliğinden var olmaz, var olan enerji de yok olmaz ancak başka bir enerji türüne dönüşebilir. Buna göre sistemin kaybettiği enerji, çevrenin kazandığı enerjiye eşittir. Termodinamiğin birinci kanunu, deney ve gözlemlerle



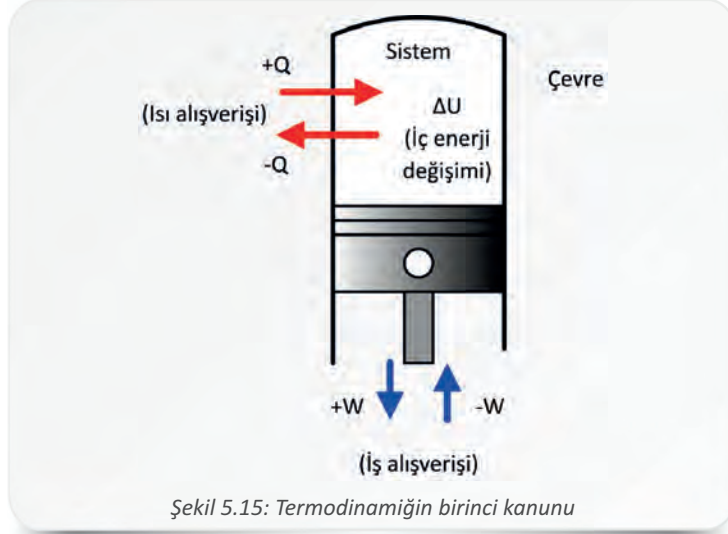


kanıtlanabilir ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilebilir.

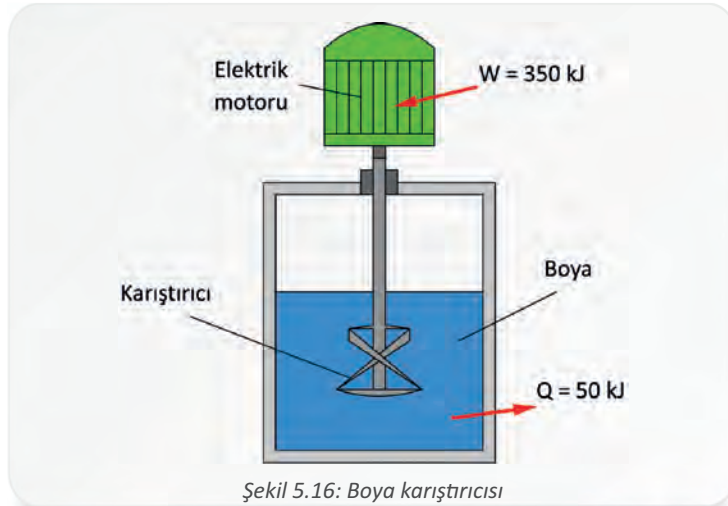
ΔU : İç enerji değişimi (J)
 Q : Isı alışverişi (J)
 W : İş alışverişi (J)

$$\Delta U = U_2 - U_1 = (Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}) - (W_{\text{giren}} - W_{\text{çıkan}})$$

$$\Delta U = Q - W$$

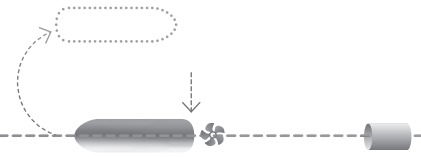
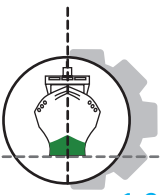


Örnek 17: Şekil 5.16'da görülen ve kapalı bir sistem olan boya karıştırıcısı, elektrik motorlu bir karıştırıcı yardımıyla çalışmaktadır. Karıştırıcının çevrilebilmesi için 350 kJ iş harcanmış ve karıştırma sonunda 50 kJ ısı çevreye yayılmıştır. Bu bilgilere göre sistemin iç enerji değişimini hesaplayınız.



Verilenler:	Çözüm:
$W_{\text{giren}} = 350 \text{ kJ}$	$\Delta U = Q - W$
$Q_{\text{çıkan}} = 50 \text{ kJ}$	$\Delta U = (Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}) - (W_{\text{giren}} - W_{\text{çıkan}})$
$\Delta U = ?$	$\Delta U = (0 - 50) - (350 - 0)$
	$\Delta U = 400 \text{ kJ}$





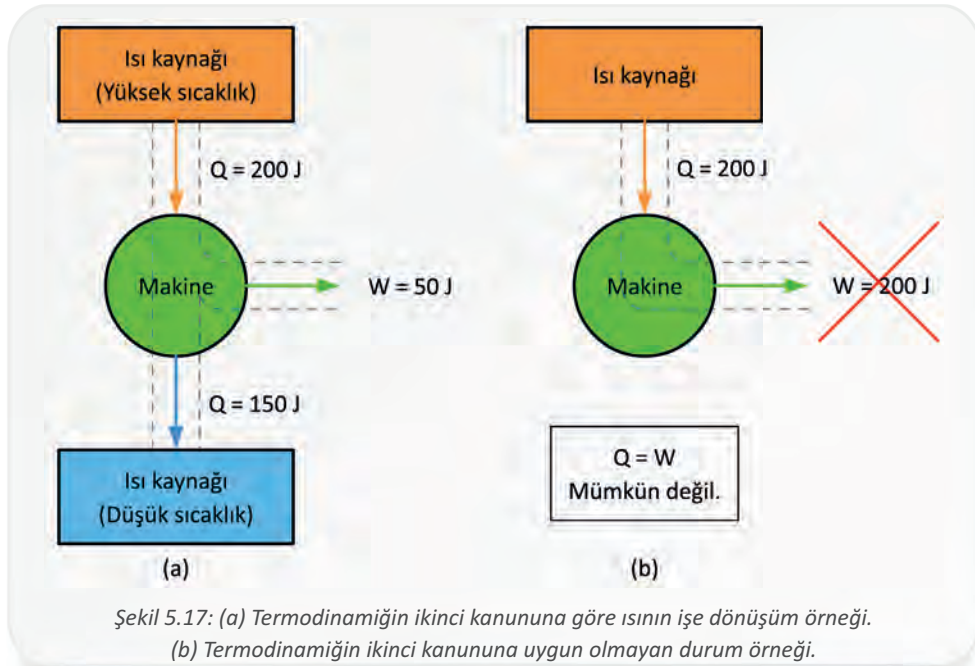
1.8.3. Termodinamiğin İkinci Kanunu

Diğer iki kanunu tamamlar nitelikte olan termodinamiğin ikinci kanunu, enerji türlerinin birbirine dönüşme yollarını inceler ve bu dönüşümün yönünü belirler. Bu kanun, serbest hâldeki bir sistemde birbiriyle bağlantılı üç tespite dayanır.

Düzensizliğin ölçüsü olan entropi ya artar ya da sabit kalır fakat hiçbir zaman azalmaz. Bu duruma bir buzun erimesi örnek verilebilir. Buz katı hâlden sıvı hâle geçerken moleküllerinin hareketi hızlanır ve düzensizliği artar.

Isı, kendiliğinden yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder. Bunun tam tersi mümkün değildir. Örneğin çalışma sıcaklığına ulaşmış içten yanmalı bir motor, ısıyı daha düşük sıcaklıktaki soğutma suyuna ve çevresine aktarır.

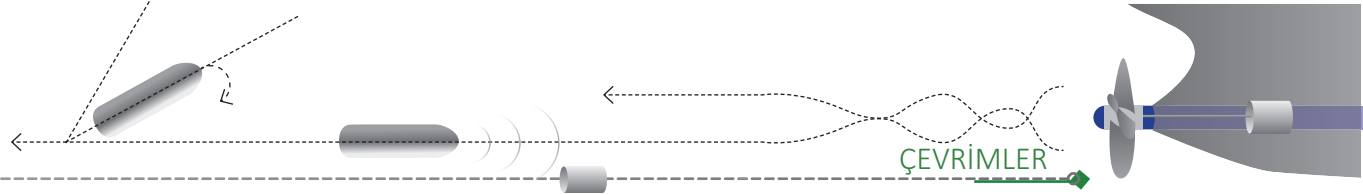
Tek ısı kaynaklı ve tüm ısını işe dönüştürerek yüzde yüz verimle çalışan bir makine üretmek mümkün değildir. Isı makinelerinde ısı, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket ederken iş üretir. ıının bir miktarı işe çevrilirken geri kalanı düşük sıcaklık kaynağına aktarılır (Şekil 5.17).



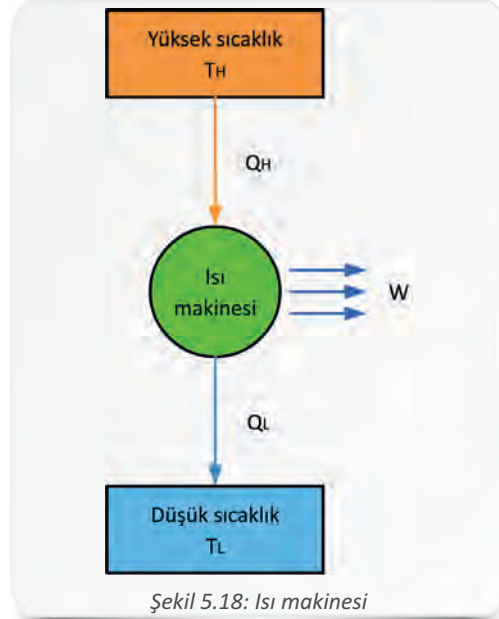
Isı enerjisini faydalı işe çeviren makinelere **ısı makineleri** denir (Şekil 5.18). Isı makinelerinin verimi, makinenin yaptığı işin makineye giren ısıya oranına eşittir.

η_t	: Isıl verim
T_H	: Yüksek sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)
T_L	: Düşük sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)
W	: Makinenin yaptığı iş (J)
Q_H	: Makineye verilen ısı (J)
Q_L	: Makineden atılan ısı (J)

$$\eta_t = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Isı makinelerinin çalışma prensibi Şekil 5.18'de yer alan şemadaki gibidir.



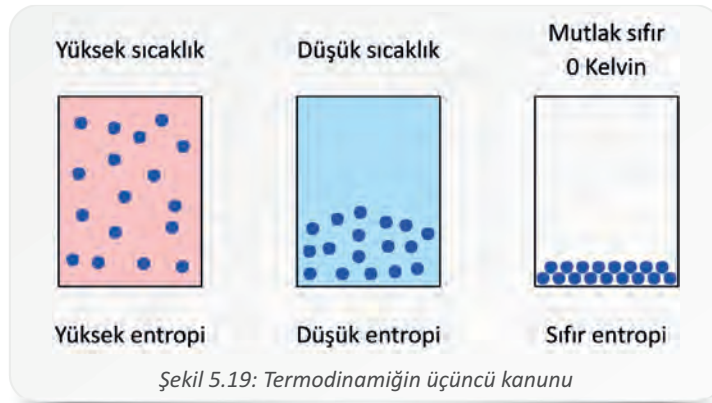
Şekil 5.18: Isı makinesi

Örnek 18: Bir ısı makinesinde gerçekleşen çevrim sırasında çevreye atılan ısı 220 kJ, makineden elde edilen iş ise 30 kJ'dür. Bu bilgilere göre makinenin ısıl verimini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$Q_L = 220 \text{ kJ}$	$W = Q_H - Q_L$
$W = 30 \text{ kJ}$	$Q_H = W + Q_L = 220 + 30 = 250 \text{ kJ}$
$\eta_t = ?$	$\eta_t = \frac{1 - Q_L}{Q_H} = \frac{1 - 220}{250} = 0,12$
	$\eta_t = \% 12$

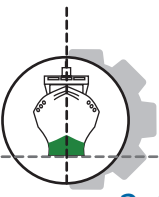
1.8.4. Termodinamiğin Üçüncü Kanunu

Bu kanun mutlak sıfırda (0 Kelvin) yani evrende mümkün olabilecek en düşük sıcaklıkta entropinin de sıfır olacağını belirtir. Şekil 5.19'da bir sistemin farklı sıcaklıklardaki entropi değişimi, temsili olarak görülmektedir.



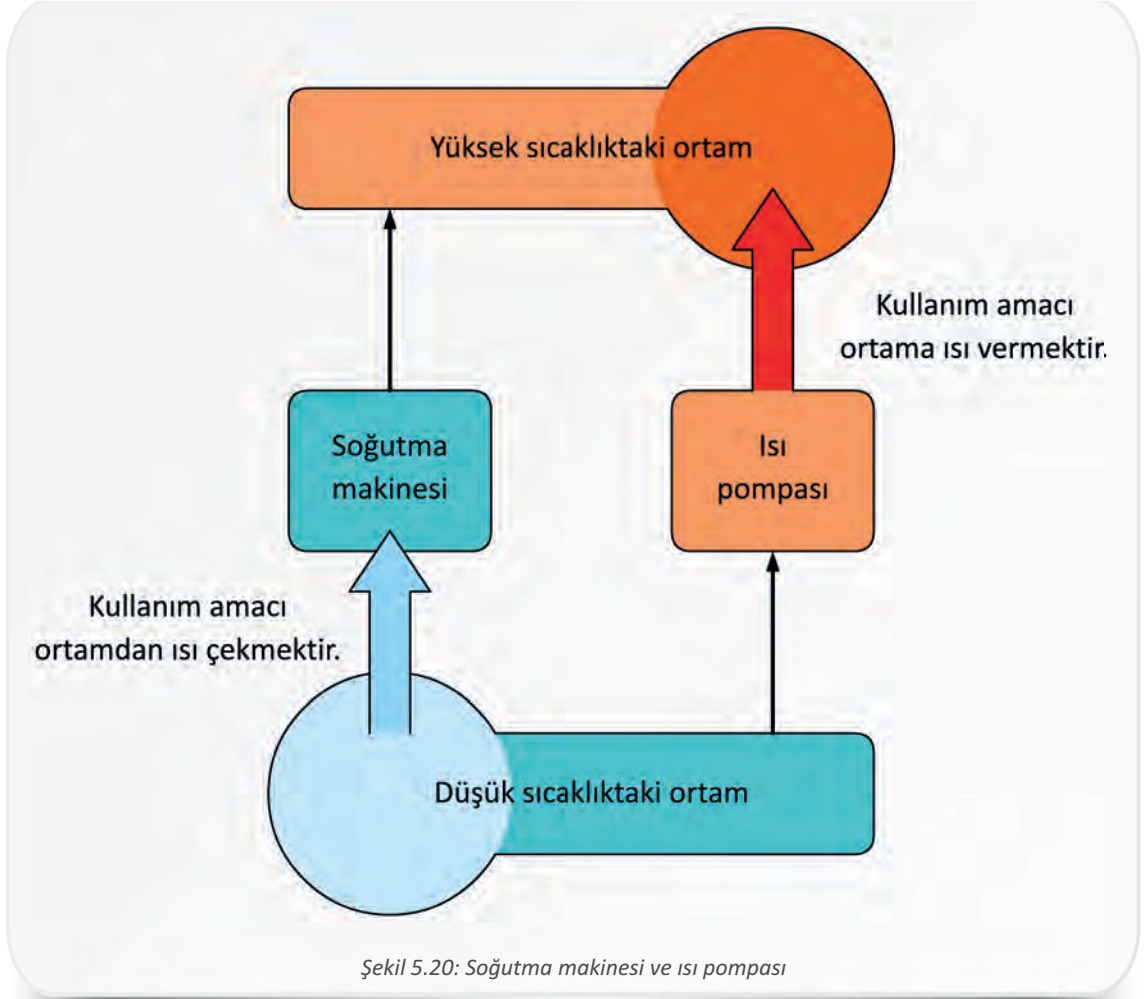
Şekil 5.19: Termodinamiğin üçüncü kanunu





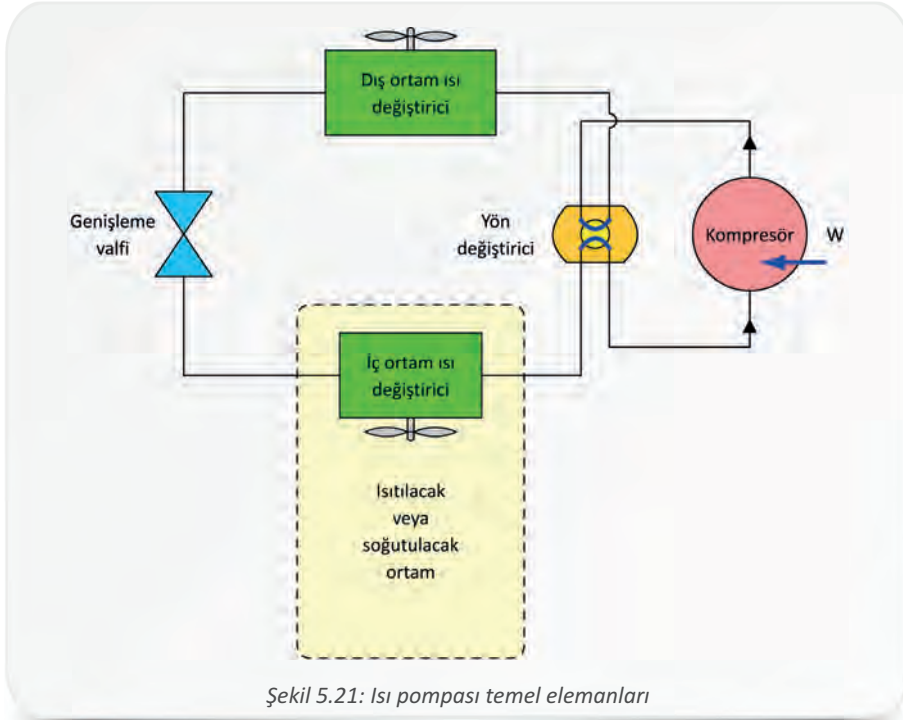
2. SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ

Düşük sıcaklıktaki ortamdan yüksek sıcaklıktaki ortama doğru ısı transferini sağlayan makinelerin çevrimlerine **soğutma çevrimleri** denir. Soğutma çevrimlerinde kullanılan akışkana **soğutma akışkanı** denir. Kullanılan soğutma akışkanlarında ucuzluk, uygun ısı aktarım özellikleri, çevreye ve insana zararlı olmama gibi özellikler aranır. Yüksek sıcaklıktaki ortamı ısıtma amacıyla kullanılan cihazlar ısı pompası, düşük sıcaklıktaki ortamı soğutma amacıyla kullanılan cihazlar ise **soğutma makinesi** olarak adlandırılır (Şekil 5.20).



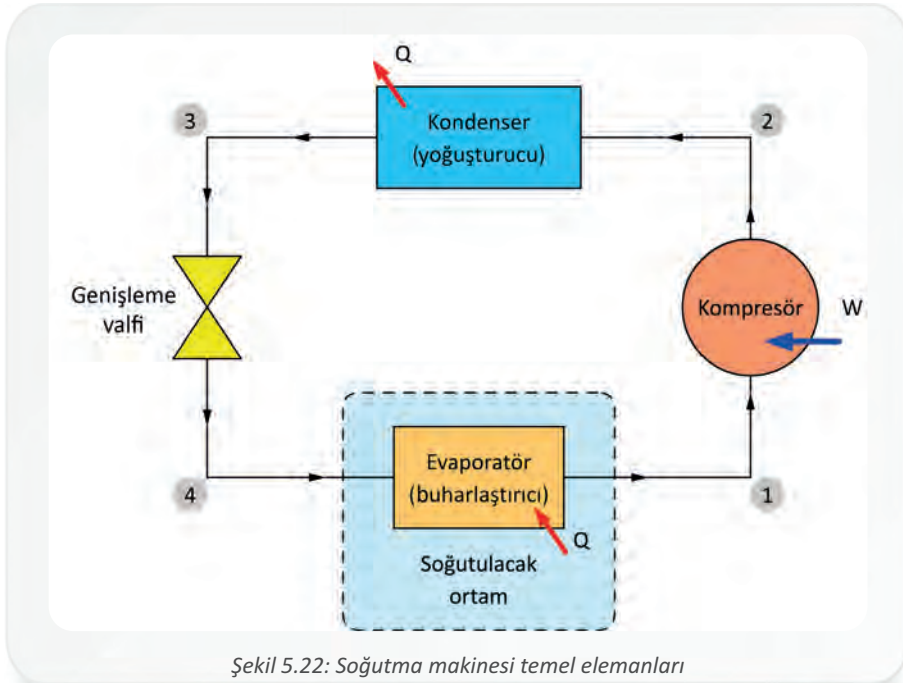
Düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına doğru ısı transferi sağlayarak ısıtma amacıyla kullanılan makinelere **ısı pompası** denir. Genellikle ev ve iş yeri gibi ortamların ısıtılması için kullanılan ısı pompalarının kurulum maliyetleri yüksektir; ancak ısıtma maliyetleri düşüktür. Bu nedenle bu pompalardan uzun vadede ekonomik verim elde edilebilir. Günümüzde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Isı pompaları, soğutma makineleriyle aynı temel elemanlara sahip olduğu için kışın ısıtma yazın da soğutma amacıyla kullanılabilir. Yön değiştirme valfi ile akışkan yönü değiştirilerek kullanım amacı da değiştirilebilir (Şekil 5.21). Isı pompaları enerji kaynağı olarak hava, toprak ve yeraltı sularındaki ısıyı kullanır.





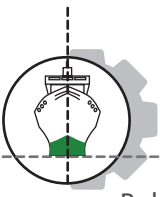
Şekil 5.21: Isı pompası temel elemanları

Amacı ortamdaki ısıyı çekmek olan ve güç makinelerinin tersi prensipte çalışan çevrime **buhar soğutma çevrimleri** denir. En yaygın kullanılan soğutma çevrimidir (Şekil 5.22). Gemilerde yiyeceklerin saklanması, kargo alanlarının ve yaşam mahallerinin soğutulması gibi uygulamalar için kullanılır. Buhar soğutma sisteminin temel elemanları kompresör, kondenser, genişleme valfi ve evaporatörden oluşur.



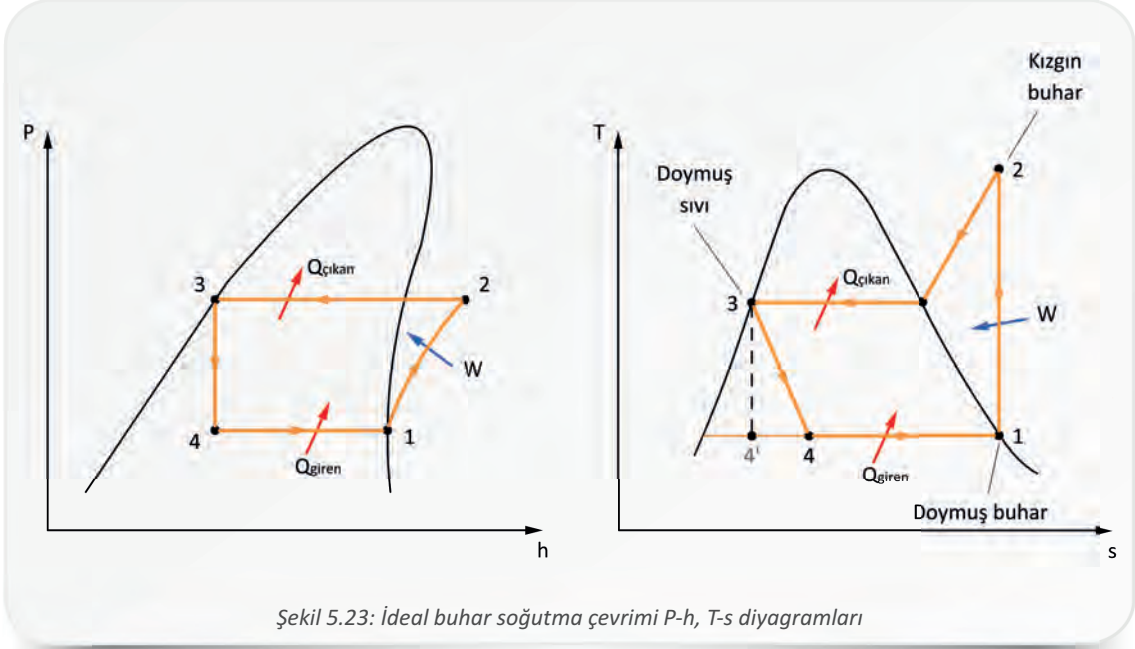
Şekil 5.22: Soğutma makinesi temel elemanları





5. Öğrenme Birimi

Buhar soğutma çevriminin basınç-entalpi (P-h) ve sıcaklık entropi (T-s) diyagramı Şekil 5.23'te görülmektedir.



Şekil 5.23: İdeal buhar soğutma çevrimi P-h, T-s diyagramları

Kompresörde adyabatik sıkıştırma (1→2): Kompresöre doymuş buhar olarak giren soğutucu akışkan sıkıştırılarak kondensere gönderilir. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Sıkıştırılan soğutucu akışkanın sıcaklığı yükselir ve ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Kompresörler, yapılarına ve tahrik mekanizmalarına göre çeşitlere ayrılır. Soğutma makinesinin türüne ve kapasitesine uygun bir kompresör kullanılır. Kompresörün çalışması için dışardan enerji girişi olmalıdır.

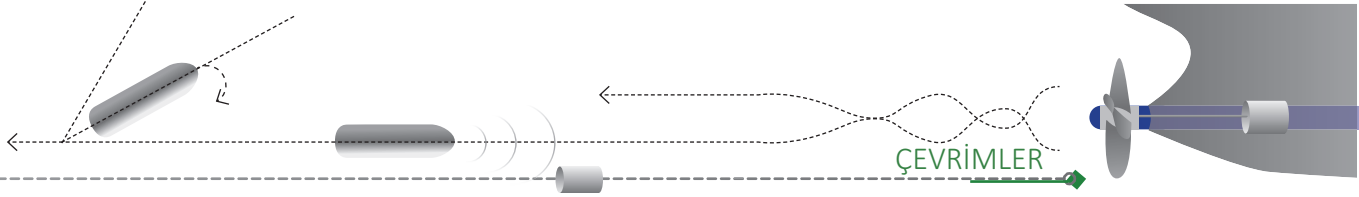
Kondenserde ısı çıkışı (2→3): Kondenser bir çeşit ısı değiştiricidir ve işlevi ısının akışkandan atılmasını sağlamaktır. Kızgın buhar hâlinde kondensere giren soğutucu akışkan, çevreye ısı vererek yoğuşur ve doymuş sıvı hâline gelir. Kondenserden ısı çıkışı sabit basınçta gerçekleşir.

Genişleme valfinden basınç düşürme (3→4): Doymuş sıvı hâlinde kondenserden çıkan soğutucu akışkanın basıncı, evaporatör basıncına kadar düşürülür. Bunun sonucunda akışkanın sıcaklığı, ortam sıcaklığının altına düşer. Bu işlem sabit entalpide gerçekleşir. Küçük sistemlerde kılcal borular, büyük sistemlerde ise mekanik veya otomatik olarak basınç düşürme işlemlerini yapan genişleme valfleri kullanılır.

Evaporatörde ısı girişi (4→1): Evaporatör de bir çeşit ısı değiştiricidir ve amacı akışkana ısı verilmesidir. Genişleme valfinden basıncı düşürülen sıvı hâldeki soğutucu evaporatöre girer ve ortamdaki ısı çekerek buharlaşır. Evaporatöre ısı girişi sabit basınçta gerçekleşir. Evaporatörden doymuş buhar hâlinde çıkan soğutucu akışkan tekrar kompresöre girer ve çevrim tamamlanır.

Soğutma makinelerinde çevrimin performansı etkinlik katsayısı [COP_{SM} (coefficient of performance)] ile aşağıdaki şekillerde ifade edilir.





Soğutma hesaplamaları için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

- COP_{SM} : Soğutma etkinlik katsayısı
 h : Entalpi
 q_{giren} : Evaporatörde alınan ısı (birim kütle için)
 w_{1-2} : Kompresörün harcadığı iş (birim kütle için)

$$COP_{SM} = \frac{q_{giren}}{w_{1-2}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Isıtma hesaplamaları için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

- COP_{IP} : Isıtma etkinlik katsayısı
 h : Entalpi
 $q_{çikan}$: Kondenserde atılan ısı (birim kütle için)
 w_{1-2} : Kompresörün harcadığı iş (birim kütle için)

$$COP_{IP} = \frac{q_{çikan}}{w_{1-2}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Örnek 19: Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanan teorik buhar soğutma çevrimi 100 kPa evaporatör ile 600 kPa kondenser basıncı arasında çalışmaktadır (Şekil 5.24). Akışkanın debisi 0,07 kg/s olduğuna göre,

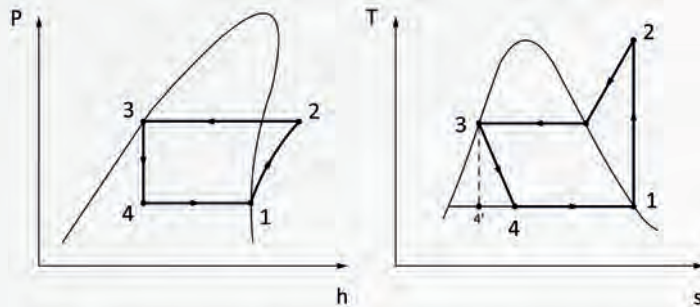
- Soğutulan ortamdaki çekilen ısıyı,
- Çevreye atılan ısıyı,
- Kompresörün çalışması için gerekli gücü,
- Soğutma etkinlik katsayısını,
- Isı pompası olarak kullanıldığı düşünülüğünde ısıtma etkinlik katsayısını hesaplayınız.

Basınca göre R-134a değer tablosu aşağıdaki gibidir.

Basınç	h_1 Doymuş buhar (kJ/kg)	h_2 Buhar (kJ/kg)	$h_3 = h_4$ Doymuş sıvı (kJ/kg)
100 kPa	234,44	217,16	17,28
600 kPa	262,40	180,90	81,51

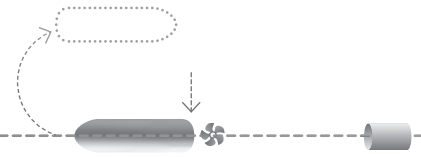
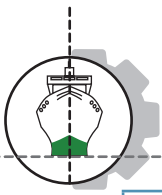
Verilenler:

- $P_1 = 100$ kPa
 $P_2 = 600$ kPa
 $m = 0,07$ kg/s
 $Q_{giren} = ?$
 $Q_{çikan} = ?$
 $W_{1-2} = ?$
 $COP_{SM} = ?$



Şekil 5.24: Teorik buhar soğutma çevrimi T-s diyagramı





Çözüm:

$$P_1 = 100 \text{ kPa için}$$

$$h_1 = 234,44 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = 600 \text{ kPa için}$$

$$h_2 = 180,90 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = P_3 = 600 \text{ kPa için}$$

$$h_3 = h_4 = 81,51 \text{ kJ/kg}$$

a)

$$Q_{\text{giren}} = m \cdot (h_1 - h_4) = 0,07 \cdot (234,44 - 81,51) = 10,70 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{giren}} = \mathbf{10,70 \text{ kW}}$$

b)

$$Q_{\text{çıkan}} = m \cdot (h_2 - h_3) = 0,07 \cdot (180,90 - 81,51) = 6,95 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{çıkan}} = \mathbf{6,95 \text{ kW}}$$

c)

$$W_{1-2} = m \cdot (h_2 - h_1) = 0,07 \cdot (180,90 - 234,44) = -3,75 \text{ kW}$$

$$W_{1-2} = \mathbf{3,75 \text{ kW}}$$

d)

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{q_{\text{giren}}}{w_{1-2}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{234,44 - 81,51}{180,90 - 234,44} = -2,85$$

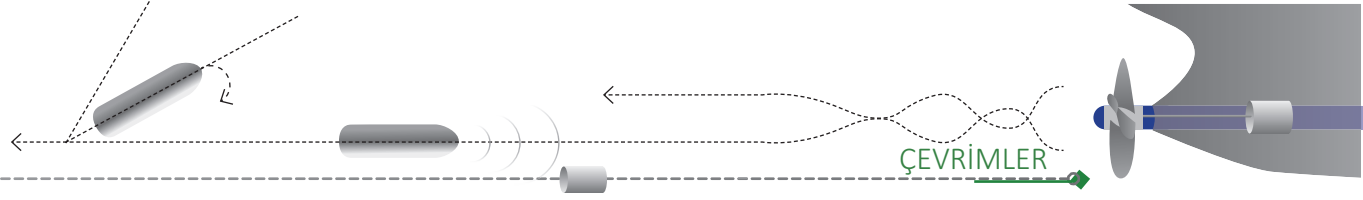
$$\text{COP}_{\text{SM}} = \mathbf{2,85}$$

e)

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{q_{\text{çıkan}}}{w_{1-2}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{180,90 - 81,51}{180,90 - 234,44} = -1,85$$

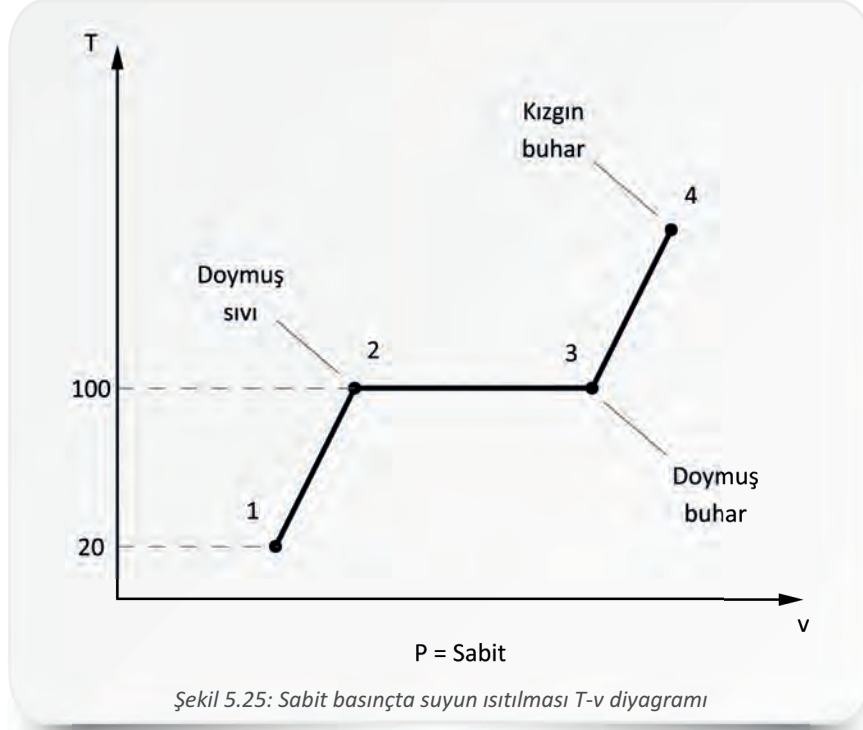
$$\text{COP}_{\text{IP}} = \mathbf{1,85}$$





3. BUHAR ÇEVİRİMLERİ

Bu çevrimlerde çalışma akışkanı, buhar (gaz) ve sıvı hâllerde bulunur. Kolay bulunabilme, buharlaşabilme ve ucuzluk gibi özelliklerinden dolayı çalışma akışkanı olarak genelde saf madde olduğu varsayılan su kullanılır. Kullanılan tüm çalışma akışkanları genelde aynı özellikleri gösterir. Suyun sabit basınçta ısıtılmasıyla elde edilen hâl diyagramı (T-v) Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



1→2: Suyu doymuş hâle getirme evresidir ve bu evrede suya **sıkıştırılmış su** denir.

2→: Bu noktada su, buharlaşmanın sınırındadır ve **doymuş su** olarak adlandırılır.

2→3: Doymuş suyu doymuş buhar hâline getirme evresidir.

3→: Bu noktada buhar, yoğuşmanın sınırındadır ve **doymuş buhar** olarak adlandırılır.

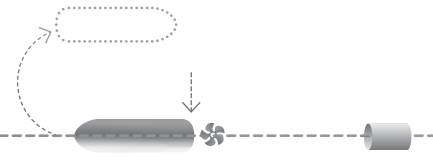
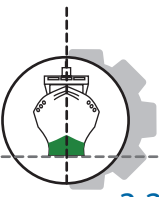
3→4: Doymuş buharı kızgın buhar hâline getirme evresidir, kuruluk derecesine göre kızgın buhar olarak adlandırılabilir.

4→: Bu noktada buharın kuruluk derecesi yüksektir ve **kızgın buhar** olarak adlandırılır.

3.1. Carnot Buhar Çevrimi

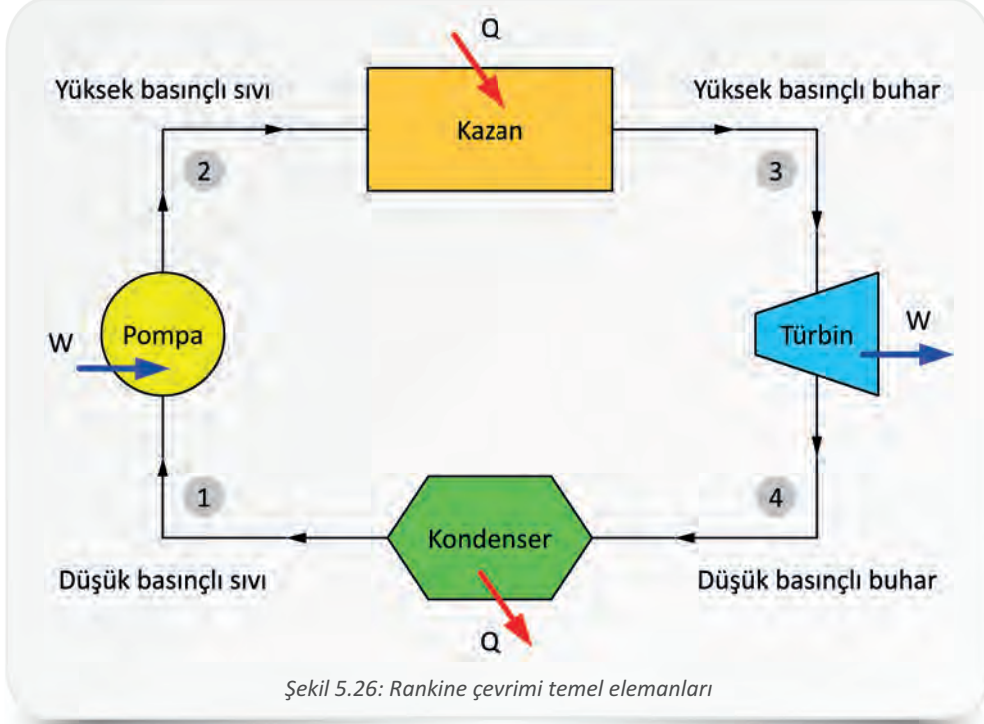
Yüksek ve düşük sıcaklık kaynağı arasında çalışan en yüksek verimli çevrim, Carnot çevrimidir. Fakat buhar güç çevrimlerinde çalışma akışkanının sıvı ve buhar olmak üzere iki hâlde bulunması Carnot çevriminin uygulamasında birçok zorluk oluşturur. Bu durum da Carnot çevrimini buharlı güç çevrimleri için uygun teorik model olmaktan çıkarır.



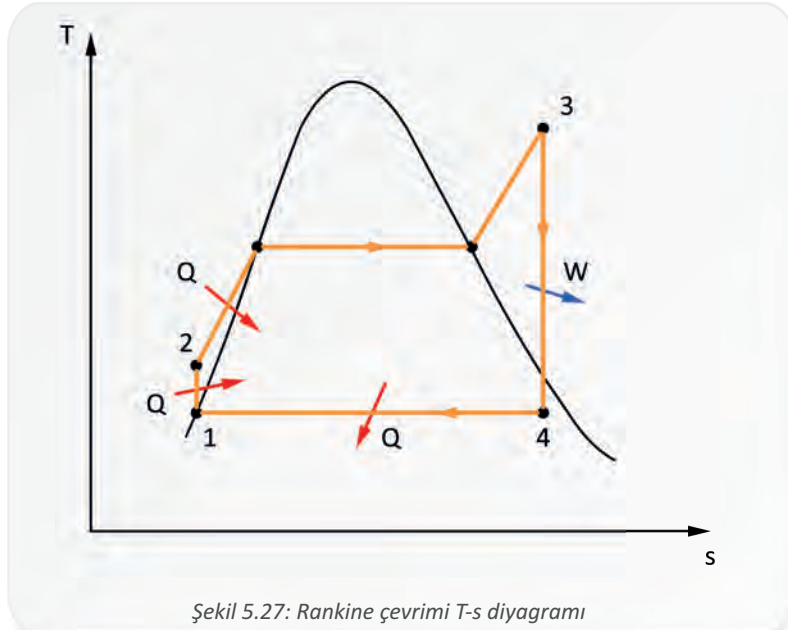


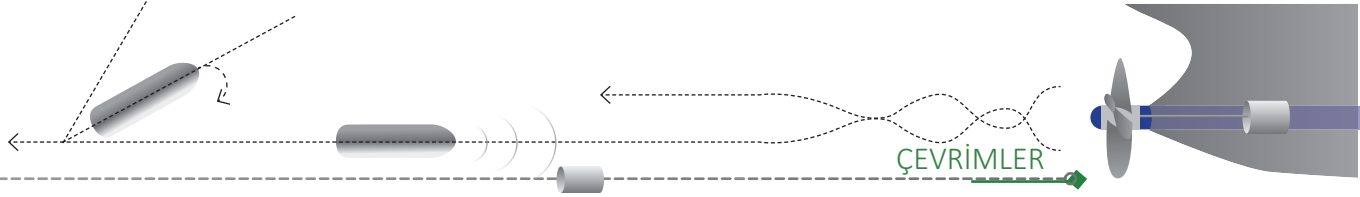
3.2. Rankine Çevrimi

Şekil 5-26'da şematik olarak gösterilen Rankine çevrimi, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimidir. Gerçekte suyun buharlaştırılması için gereken ısı kömür, doğalgaz ve nükleer enerji gibi çeşitli yakıtlardan elde edilebilir.



Rankine çevriminin T-s diyagramı Şekil 5.27'de görülmektedir.





Pompada adyabatik sıkıştırma (1→2): Doymuş sıvı hâldeki çalışma akışkanı, kazana iletilmek üzere pompada kazan basıncına kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma sırasında çok az da olsa özgül hacim azaldığından sıcaklık bir miktar yükselir. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Çalışabilmesi için pompaya dışarıdan bir güç aktarımı gerekir. Pompaya verilen işle ilgili hesaplamalarda aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

w_{pompa} : Pompaya verilen iş (J)	$q = 0$
h : Entalpi	$w_{\text{pompa}} = h_2 - h_1$
P_1 : Pompa giriş basıncı	veya
P_2 : Pompa çıkış basıncı	$w_{\text{pompa}} = v \cdot (P_2 - P_1)$
v : Özgül hacim	

Kazanda ısı girişi (2→3): Kazanda suya sabit basınçta ısı girişi olur ve sıkıştırılmış sıvı yüksek basınçlı kızgın buhar hâline getirilerek türbine gönderilir. Kazan, buhar üreticisi olarak da adlandırılan bir ısı değiştiricidir. Isı girişi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

q_{giren} : Kazana ısı girişi	$w = 0$
h : Entalpi	$q_{\text{giren}} = h_3 - h_2$

Türbinde adyabatik genişleme (3→4): Yüksek basınçlı kızgın buhar, türbinde genişlerken türbine hareket vererek iş elde edilmesini sağlar. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Buharın basıncı ve sıcaklığı azalır.

$w_{\text{türbin}}$: Türbinin yaptığı iş (J)	$q = 0$
h : Entalpi	$w_{\text{türbin}} = h_3 - h_4$

Kondenserde ısının çıkışı (4→1): Isı, sabit basınçta kondenserde atılır; çalışma akışkanı tekrar düşük basınçlı sıvı hâline getirilir ve pompaya gönderilerek çevrim tamamlanır. Isı çıkışı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

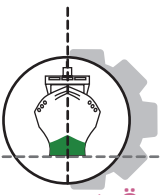
$q_{\text{çıkan}}$: Kondenserde atılan ısı	$w = 0$
h : Entalpi	$q_{\text{çıkan}} = h_4 - h_1$

Rankine çevrimi T-s diyagramında 2-3 eğrisi altındaki alan suya ısı girişini, 4-1 eğrisi altındaki alan da buhardan ısı çıkışını gösterir (Şekil 5.27). İki alan arasındaki fark yani çevrim eğrisinin alanı da yapılan net işi verir.

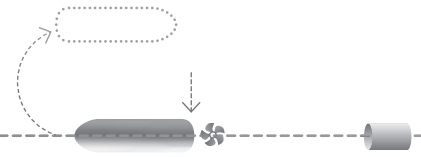
Rankine çevriminin ısıl verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_{Rankine} : Rankine çevrimi ısıl verimi	$w_{\text{net}} = w_{\text{türbin}} - w_{\text{pompa}} = q_{\text{giren}} - q_{\text{çıkan}}$ $\eta_{\text{Rankine}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{giren}}} = 1 - \frac{q_{\text{çıkan}}}{q_{\text{giren}}}$
W_{net} : Sistemin yaptığı iş (J)	
q_{giren} : Sisteme giren ısı (J)	
$q_{\text{çıkan}}$: Sistemden çıkan ısı (J)	





5. Öğrenme Birimi



Örnek 20: İdeal Rankine çevrimine göre çalışan buharlı bir güç santrali 500 kJ iş üretmektedir. Bu güç santrali %30 ısıl verimle çalıştığında sistemden kaç kJ ısı çıkışı olur?

Verilenler:	Çözüm:
$W_{\text{net}} = 500 \text{ kJ}$	$\eta_{\text{Rankine}} = \frac{W_{\text{net}}}{q_{\text{giren}}}$
$\eta_{\text{Rankine}} = \%30$	$q_{\text{giren}} = \frac{500}{0,30} = 1666,6 \text{ kJ}$
$Q_{\text{çikan}} = ?$	$W_{\text{net}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çikan}}$
	$Q_{\text{çikan}} = Q_{\text{giren}} - W_{\text{net}} = 1666,6 - 500 = 1166,6$
	$Q_{\text{çikan}} = \mathbf{1166,6 \text{ kJ}}$

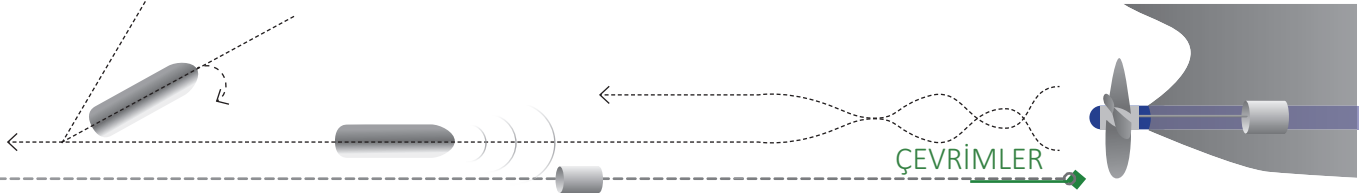
Örnek 21: İdeal Rankine çevrimine göre çalışan buharlı bir güç santralinde türbine 2000 kPa basınçta ve 350 °C sıcaklıkta giren çalışma akışkanı kondenserde 50 kPa basınçta yoğunlaşmaktadır (Şekil 5.28). Yapılan net işi ve çevrimin ısıl verimini hesaplayınız.

Soruda verilen şartlar için su ve su buharı tablolarından elde edilen aşağıdaki değerler kullanılacaktır.

$$v_1 = 0,001030 \text{ m}^3/\text{kg}, h_1 = 340,54 \text{ kJ/kg}, h_2 = 342,54 \text{ kJ/kg}, h_3 = 3137,7 \text{ kJ/kg}, h_4 = 2420,22 \text{ kJ/kg}$$

Verilenler:	
$P_1 = 50 \text{ kPa}$	
$P_2 = 2000 \text{ kPa}$	
$P_2 = P_3 = 2000 \text{ kPa}$	
$T_3 = 350 \text{ °C}$	
Çözüm:	
$w_{\text{pompa}} = v \cdot (P_2 - P_1) = 0,001030 \cdot (2000 - 50) = 2,008 \text{ kJ/kg}$	
$w_{\text{pompa}} = \mathbf{2,008 \text{ kJ/kg}}$	
$w_{\text{türbin}} = h_3 - h_4 = 3137,7 - 2420,22 = 717,48 \text{ kJ/kg}$	
$w_{\text{türbin}} = \mathbf{717,48 \text{ kJ/kg}}$	
$w_{\text{net}} = w_{\text{türbin}} - w_{\text{pompa}} = 717,48 - 2,008 = 715,472 \text{ kJ/kg}$	
$w_{\text{net}} = \mathbf{715,472 \text{ kJ/kg}}$	
$q_{\text{giren}} = h_3 - h_2 = 3137,7 - 342,54 = 2795,16 \text{ kJ/kg}$	
$q_{\text{giren}} = \mathbf{2795,16 \text{ kJ/kg}}$	
$q_{\text{çikan}} = h_4 - h_1 = 2420,22 - 340,54 = 2079,68 \text{ kJ/kg}$	
	$q_{\text{çikan}} = \mathbf{2079,68 \text{ kJ/kg}}$
	$\eta_{\text{Rankine}} = 1 - \frac{q_{\text{çikan}}}{q_{\text{giren}}} = 1 - \frac{2079,68}{2795,16} = 0,25$
	$\eta_{\text{Rankine}} = \mathbf{\%25}$





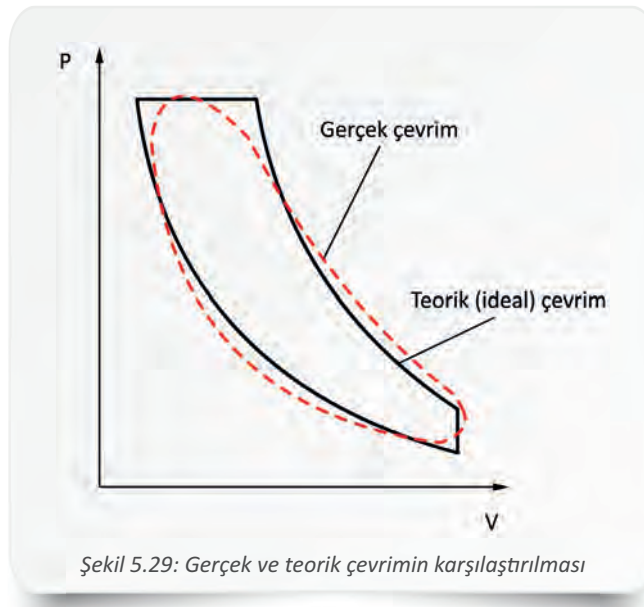
4. GAZ ÇEVİRİMLERİ

Termodinamiğin önemli alanlarından biri olan güç üretimi, genellikle motor olarak adlandırılan ve bir çevrime göre çalışan sistemler tarafından gerçekleştirilir. Çalışma akışkanı gaz veya buhar olan ve sonunda güç elde edilen çevrimlere **güç çevrimi** denir.

4.1. Gaz Güç Çevrimleri

Çalışma akışkanı olarak çevrimin her evresinde gaz kullanan ve güç üreten ısı makinelerinin çalışma sistemini gösteren çevrimlerdir. Gaz güç çevrimleri içten yanmalı motorlarda, gaz türbinlerinde ve çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılır.

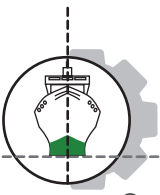
Silindir içinde çok fazla değişken ve olay olduğu için gerçek motor çevrimlerinin incelenmesi zordur. Bu nedenle termodinamik incelemelerin ve hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi için teorik (ideal) çevrimlerden yararlanır. Teorik çevrimler, gerçek çevrimlere göre daha az hassas olduğu için analiz ve hesaplamaları kolaylaştırır (Şekil 5.29).



Teorik gaz güç çevrimleri incelenirken aşağıda belirtilen kabullerin yapılması gerekir. Bu kabuller birçok karmaşık sistemi basitleştirip çözülebilir hâle getirir.

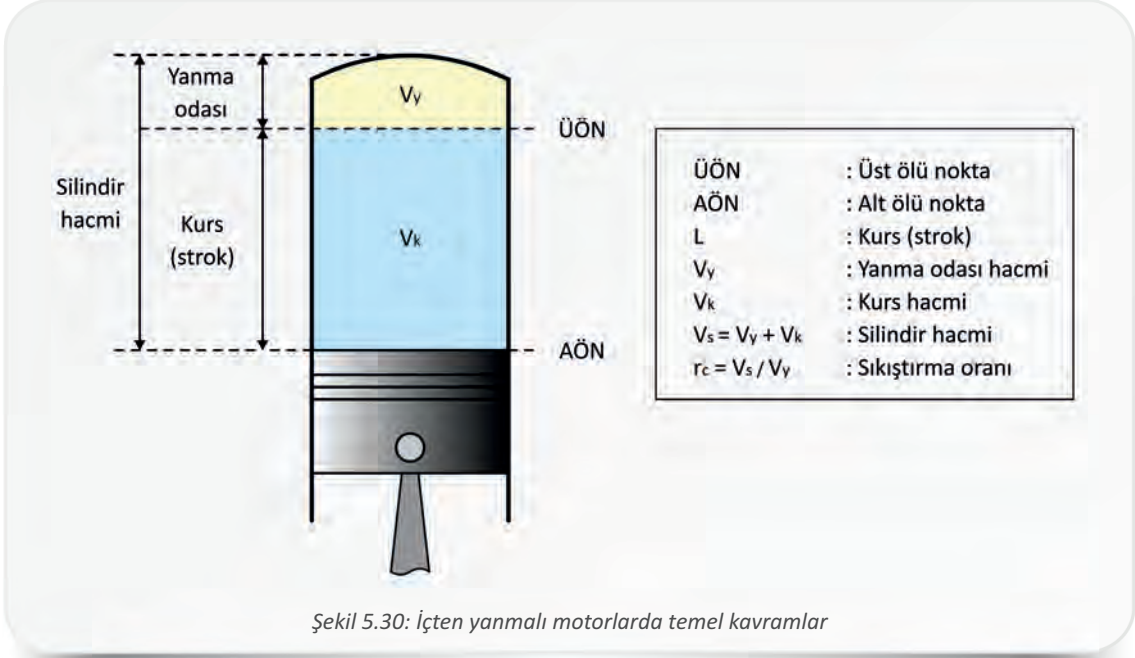
- Çalışma akışkanı olarak ideal gaz özelliklerine sahip hava kullanılır.
- Çalışma akışkanının kütlesi sabittir. Çevrim kapalı sistemde gerçekleşir, silindir içerisine giriş ve çıkış yoktur.
- Yanma işlemi yerine dış kaynaktan ısı girişi olduğu varsayılır.
- Egzoz işlemi yerine dış kaynağa ısı çıkışı olduğu varsayılır.
- Sürtünme ihmal edilir.
- Sıkıştırma ve genişleme işlemleri adyabatik olarak meydana gelir, çevreyle ısı alışverişi yoktur.
- Adyabatik hâl değişimlerinde $k = 1,4$ sabittir.





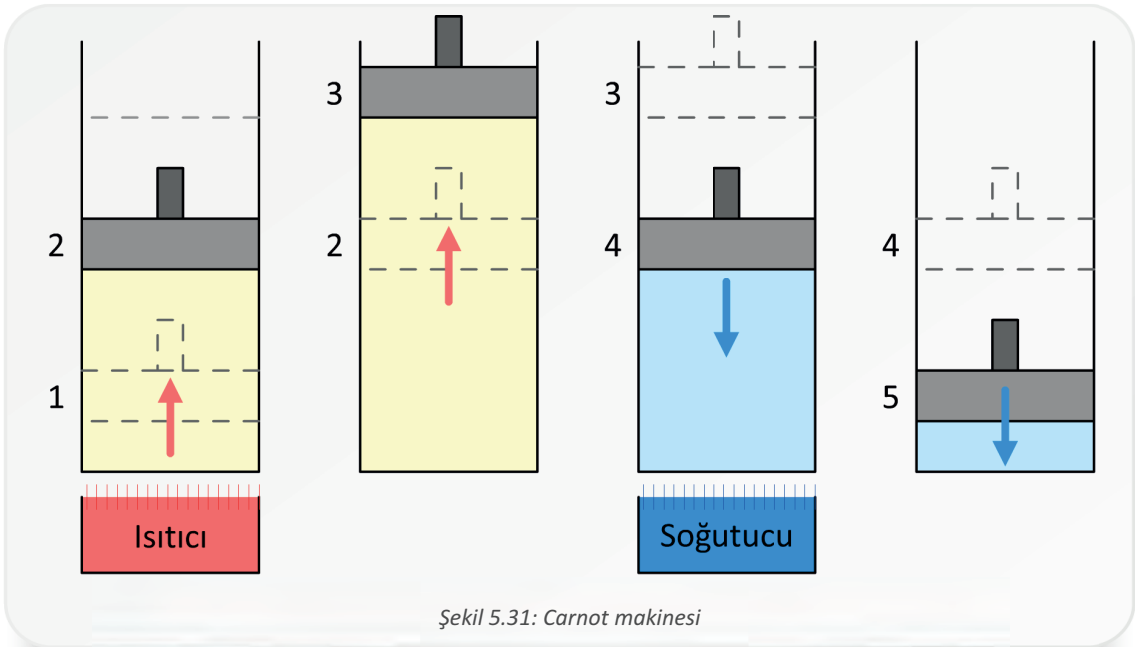
5. Öğrenme Birimi

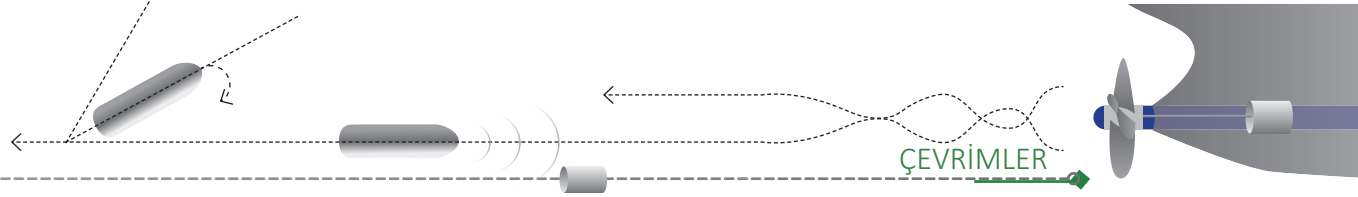
Gaz güç çevrimlerinin gerçekleştiği içten yanmalı motorlarda kullanılan temel kavramlar Şekil 5.30'da gösterilmiştir.



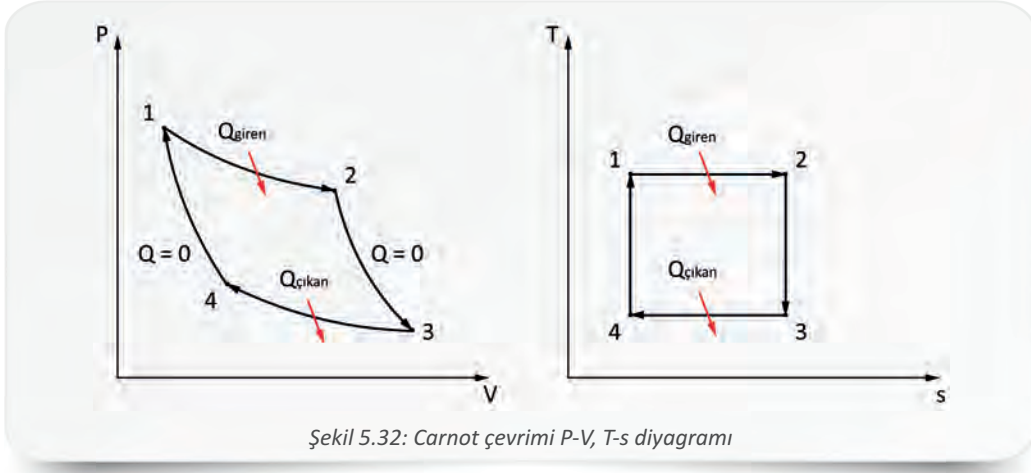
4.1.1. Carnot Güç Çevrimi

Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağı ile düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı arasında en yüksek verimle çalışan teorik ısı makinesi çevrimidir (Şekil 5.31). Carnot çevriminden daha yüksek verime sahip bir çevrim geliştirilemez.





Tersinir işlemler kullanan ideal bir ısı makinesinin çalışmasını açıklayan Carnot çevriminin gerçekte uygulaması yoktur. Çevrimin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.32'de görülmektedir.



Şekil 5.32: Carnot çevrimi P-V, T-s diyagramı

İzotermal genişleme (1→2): Isı, yüksek sıcaklık ısı kaynağından silindire aktarılır. Piston, sabit sıcaklıkta AÖN'ye doğru itilir ve hacim artar.

Adyabatik genişleme (2→3): Piston, hacim artışıyla AÖN'ye doğru ilerlemeye devam eder. Silindir tamamen yalıtılmıştır ve ısı alışverişi yoktur.

İzotermal sıkıştırma (3→4): Isı, düşük sıcaklık kaynağına aktarılır. Piston, sabit sıcaklıkta ÜÖN'ye doğru çıkar, gaz sıkıştırılır ve hacim azalır.

Adyabatik sıkıştırma (4→1): Silindir tamamen yalıtılmıştır ve ısı alışverişi yoktur. Piston, ÜÖN'ye doğru ilerleyerek sıkıştırmaya devam eder. İlk basınç, hacim ve sıcaklığa ulaştığında çevrim tamamlanır.

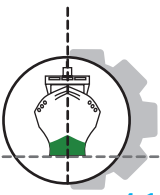
Carnot çevriminin ısı verimi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

η_{Carnot} : Isıl verim	$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$
T_H : Yüksek sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)	
T_L : Düşük sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)	

Örnek 22: Bir Carnot ısı makinesi, sıcaklıkları 500 K ve 200 K olan ısı kaynakları arasında çalışmaktadır. Isı makinesinin ürettiği iş 20 kJ ise ısı kaynaklarından alınan ve verilen ısı geçişlerini hesaplayınız.

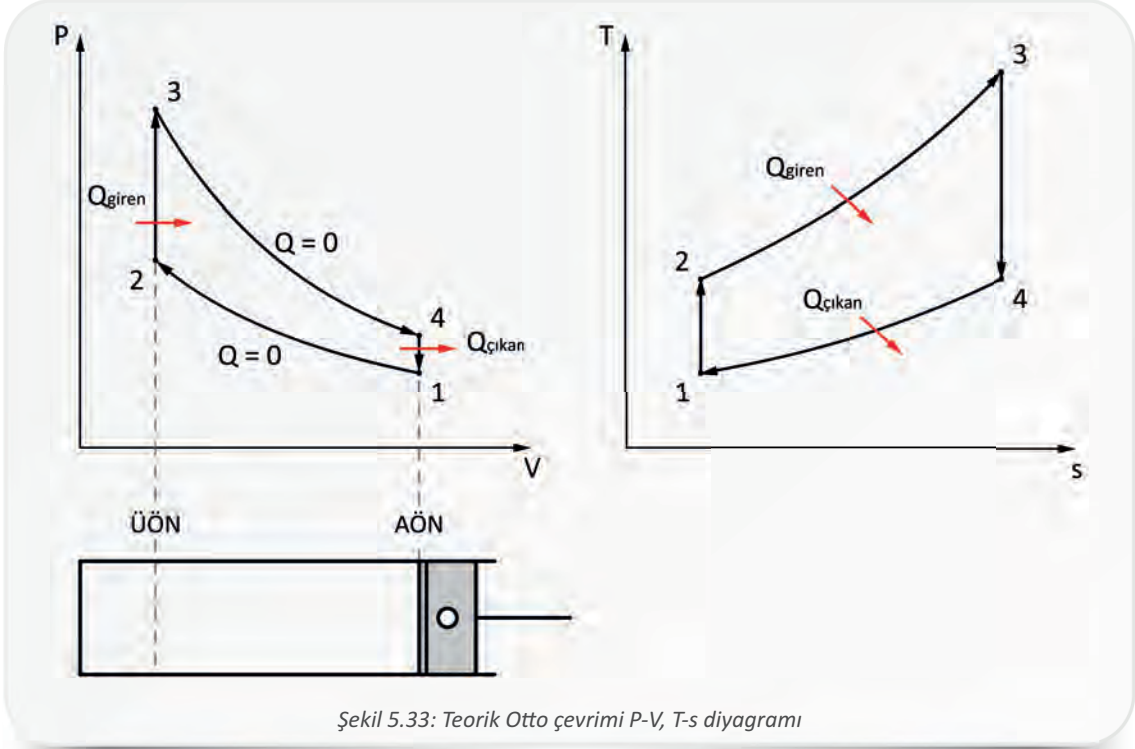
<p>Verilenler:</p> <p>$T_H = 500 \text{ K}$</p> <p>$T_L = 200 \text{ K}$</p> <p>$W_{\text{net}} = 20 \text{ kJ}$</p> <p>$Q_{\text{giren}} = ?$</p> <p>$Q_{\text{çıkan}} = ?$</p>	<p>Çözüm:</p> <p>$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{200}{500}$</p> <p>$\eta_{\text{Carnot}} = 0,60$</p> <p>$\eta_t = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{giren}}}$</p>	<p>$Q_{\text{giren}} = \frac{W_{\text{net}}}{\eta_t} = \frac{20}{0,60} = 33,3 \text{ kJ}$</p> <p>$Q_{\text{giren}} = 33,3 \text{ kJ}$</p> <p>$W_{\text{net}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}$</p> <p>$Q_{\text{çıkan}} = Q_{\text{giren}} - W_{\text{net}} = 33,3 - 20 = 13,3 \text{ kJ}$</p> <p>$Q_{\text{çıkan}} = 13,3 \text{ kJ}$</p>
--	--	--





4.1.2. Otto Çevrimi

Otto çevrimi, buji ateşlemeli pistonlu motorların teorik çevrimidir. Teorik Otto çevrimi dört evreden meydana gelir. Isı giriş çıkışının olduğu hâl değişimleri, sabit hacimde gerçekleştiği için bu hâl değişimleri sırasında iş gerçekleşmez. Şekil 5.33'te teorik Otto çevriminin P-V, T-s diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.33: Teorik Otto çevrimi P-V, T-s diyagramı

Adyabatik sıkıştırma (1→2): Piston AÖN'den ÜÖN'ye giderken silindir içindeki havayı sıkıştırır. Sıkışan havanın hacmi azalırken basıncı ve sıcaklığı artar. Çevreyle ısı alışverişi yoktur. Sıkıştırma sırasında hacim değişim oranına **sıkıştırma oranı** denir. Otto çevriminde sıkıştırma oranı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

r_c : Sıkıştırma oranı

V_1 : 1 noktasındaki hacim (silindir hacmi)

V_2 : 2 noktasındaki hacim (yanma odası hacmi)

$$r_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

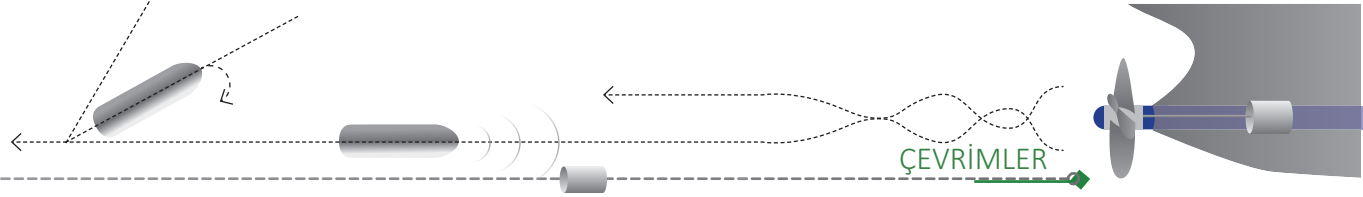
Sabit hacimde ısı girişi (2→3): Piston ÜÖN'deyken sisteme sabit hacimde ısı girişi gerçekleşir ve basınç ani olarak artar. Sabit hacimde ısı girişinde basınç artış oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

r_p : Basınç artış oranı

P_3 : 3 noktasındaki basınç

P_2 : 2 noktasındaki basınç

$$r_p = \frac{P_3}{P_2}$$



Adyabatik genişleme (3→4): Gücün ortaya çıktığı evredir ve piston ÜÖN'den AÖN'ye doğru hareket eder. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi yoktur.

Sabit hacimde ısı çıkışı (4→1): Piston AÖN'ye geldiğinde ısı sistemden sabit hacimde atılır ve çevrim tamamlanmış olur.

Otto çevriminde hâl değişimleri için aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Adyabatik sıkıştırma	Sabit hacimde ısı girişi	Adyabatik genişleme	Sabit hacimde ısı çıkışı
1→2	2→3	3→4	4→1
$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r_c^{(k-1)}$	$V_2 = V_3$ $\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$	$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = \frac{1}{r_c^{(k-1)}}$	$V_4 = V_1$ $\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$

Otto çevriminin ısı verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

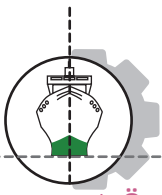
η_{otto} : Otto çevrimi ısı verimi r_c : Sıkıştırma oranı k : Adyabatik üs	$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}}$
--	--

Bağıntıdan da anlaşılacağı gibi Otto çevriminde ısı verim, sıkıştırma oranına bağlıdır. Sıkıştırma oranı artarsa ısı verim de artar.

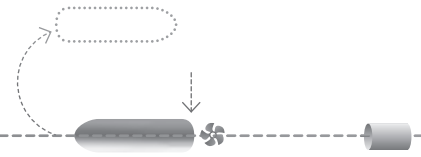
Örnek 23: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 7/1'dir. Bu motorun ısı verimini hesaplayınız.

Verilenler: $r_c = 7$ $k = 1,4$	Çözüm: $\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}}$ $\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{1}{7^{(1,4-1)}} = 0,54$ $\eta_{\text{otto}} = \%54$
--	---





5. Öğrenme Birimi



Örnek 24: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 10/1'dir. Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 140 kPa ve sıcaklığı 280 K'dir. Adyabatik sıkıştırma sonunda havanın basınç ve sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$r_c = 10$	$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$
$k = 1,4$	$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 140 \cdot 10^{1,4} = 3516 \text{ kPa}$
$P_1 = 140 \text{ kPa}$	$P_2 = 3516 \text{ kPa}$
$T_1 = 280 \text{ K}$	$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$
$P_2 = ?$	$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 280 \cdot 10^{(1,4-1)} = 703 \text{ K}$
$T_2 = ?$	$T_2 = 703 \text{ K}$

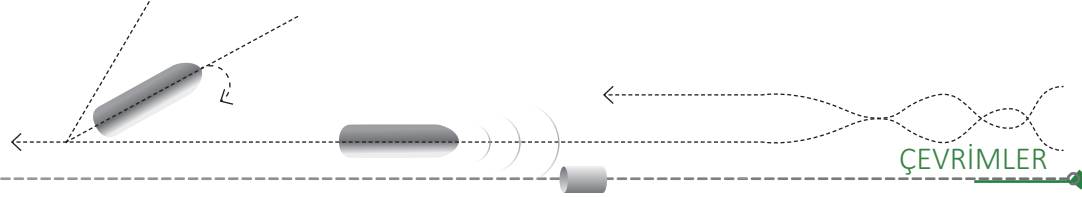
Örnek 25: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sabit hacimde ısı girişi başlangıcında havanın basıncı 3800 kPa, sabit hacimde ısı girişi sonunda 6500 kPa ve sıkıştırma sonu sıcaklığı 700 K'dir. Bu motorun basınç artış oranı ve sabit hacimde ısı girişi sonu sıcaklığını hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$P_2 = 3800 \text{ kPa}$	$r_p = \frac{P_3}{P_2} = \frac{6500}{3800} = 1,71$
$P_3 = 6500 \text{ kPa}$	$r_p = 1,71$
$T_2 = 700 \text{ K}$	$r_p = \frac{T_3}{T_2}$
$r_p = ?$	$T_3 = r_p \cdot T_2 = 1,71 \cdot 700 = 1197 \text{ K}$
$T_3 = ?$	$T_3 = 1197 \text{ K}$

Örnek 26: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 8/1'dir. Adyabatik genişleme başlangıcında hava basıncı 4500 kPa ve sıcaklığı 1500 K'dir. Adyabatik genişleme sonunda havanın basınç ve sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$r_c = 8$	$\frac{P_3}{P_4} = r_c^k$
$k = 1,4$	$P_4 = \frac{P_3}{r_c^k} = \frac{4500}{8^{1,4}} = 245 \text{ kPa}$
$P_3 = 4500 \text{ kPa}$	$P_4 = 245 \text{ kPa}$
$T_3 = 1500 \text{ K}$	$T_4 = \frac{T_3}{r_c^{(k-1)}} = \frac{1500}{8^{(1,4-1)}} = 653 \text{ K}$
$P_4 = ?$	$T_4 = 653 \text{ K}$
$T_4 = ?$	





Örnek 27: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 8/1'dir (Şekil 5.34). Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 100 kPa, sıcaklığı 290 K ve basınç artış oranı 3 olduğuna göre aşağıdaki basınç ve sıcaklık tablosunu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				

Verilenler:

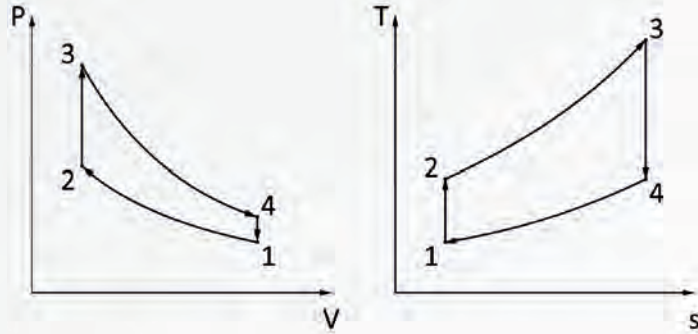
$$r_c = 8$$

$$r_p = 3$$

$$k = 1,4$$

$$P_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 290 \text{ K}$$



Şekil 5.34: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:
1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 100 \cdot 8^{1,4} = 1838 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 1838 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 290 \cdot 8^{(1,4-1)} = 666 \text{ K}$$

$$T_2 = 666 \text{ K}$$

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_p = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_p \cdot T_2 = 3 \cdot 666 = 1998 \text{ K}$$

$$T_3 = 1998 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2} = \frac{1998 \cdot 1838}{666} = 5514 \text{ kPa}$$

$$P_3 = 5514 \text{ kPa}$$

3-4 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_3}{P_4} = r_c^k$$

$$P_4 = \frac{P_3}{r_c^k} = \frac{5514}{8^{1,4}} = 300 \text{ kPa}$$

$$P_4 = 300 \text{ kPa}$$

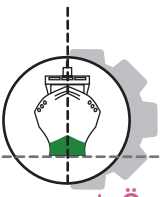
4-1 sabit hacimde ısı çıkışı:

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$$

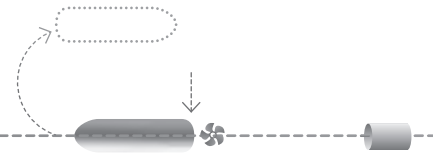
$$T_4 = \frac{P_4 \cdot T_1}{P_1} = \frac{300 \cdot 290}{100} = 870 \text{ K}$$

$$T_4 = 870 \text{ K}$$





5. Öğrenme Birimi



Örnek 28: Teorik Otto çevrimine göre çalışan 2 stroklu, 4 silindirli, silindir çapı 120 mm, kurs boyu 200 mm, sıkıştırma oranı 10/1, adyabatik sıkıştırma başlangıcında havanın basıncı 90 kPa ve sıcaklığı 15 °C olan bir motorun basınç artış oranı 1,7'dir.

- a) Bu motorun hâl değişim noktalarındaki (Şekil 5.35) basınç, sıcaklık ve hacimlerini hesaplayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				
V (m ³)				

- b) Çevrimin verimini hesaplayınız.
c) Çevrimin net işini hesaplayınız.

($c_p = 1,005$ kJ/kg.K, $c_v = 0,718$ kJ/kg.K, $k = 1,4$, $R = 0,287$ kJ/kg.K)

Verilenler:

2 stroklu

$Z = 4$

$D = 120$ mm = 0,12 m

$L = 200$ mm = 0,2 m

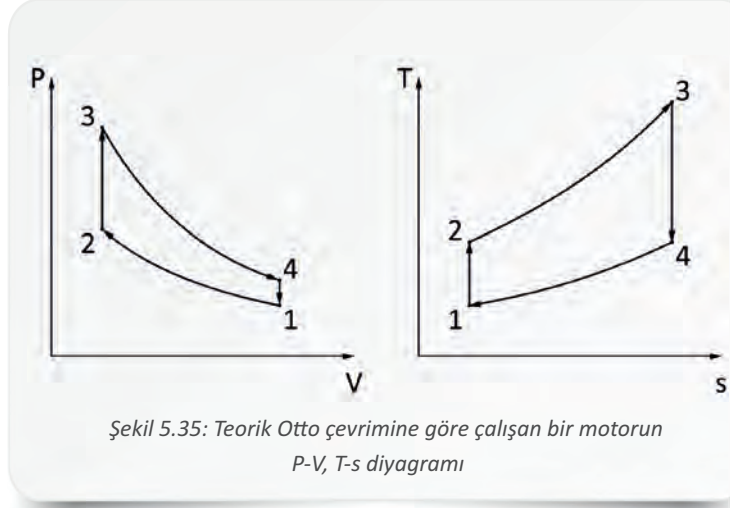
$r_c = 10$

$r_p = 1,7$

$P_1 = 90$ kPa

$T_1 = 15$ °C = 273 + 15 = 288 K

$n = 2000$ devir/dk.



Çözüm:

a)

$V_2 = V_3 = V_y =$ Yanma odası hacmi

$V_1 = V_4 = V_s =$ Silindir hacmi

$V_s - V_y = V_k =$ Kurs hacmi

$$V_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} \cdot 0,2$$

$$V_k = 0,0022 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_s}{V_y} = \frac{V_y + V_k}{V_y} = 1 + \frac{V_k}{V_y}$$

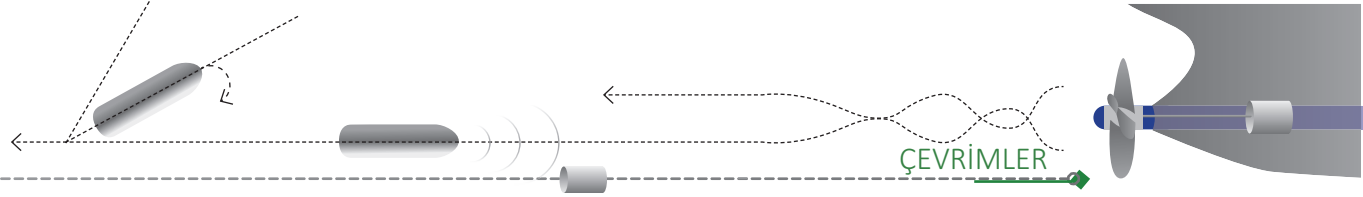
$$V_y = \frac{V_k}{r_c - 1} = \frac{0,0022}{10 - 1} = 0,00025 \text{ m}^3$$

$$V_y = V_2 = V_3 = 0,00025 \text{ m}^3$$

$$V_s = V_k + V_y = 0,0022 + 0,00025 = 0,00245 \text{ m}^3$$

$$V_s = V_4 = V_1 = 0,00245 \text{ m}^3$$





1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 90 \cdot 10^{1,4} = 2260 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 2260 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 288 \cdot 10^{(1,4-1)} = 723 \text{ K}$$

$$T_2 = 723 \text{ K}$$

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_p = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_p \cdot T_2 = 1,7 \cdot 723 = 1229 \text{ K}$$

$$T_3 = 1229 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2} = \frac{1229 \cdot 2260}{723} = 3841 \text{ kPa}$$

$$P_3 = 3841 \text{ kPa}$$

3-4 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_3}{P_4} = r_c^k$$

$$P_4 = \frac{P_3}{r_c^k} = \frac{3841}{10^{1,4}} = 152 \text{ kPa}$$

$$P_4 = 152 \text{ kPa}$$

4-1 sabit hacimde ısı çıkışı:

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$$

$$T_4 = \frac{P_4 \cdot T_1}{P_1} = \frac{152 \cdot 288}{90} = 486 \text{ K}$$

$$T_4 = 486 \text{ K}$$

b)

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} = 1 - \frac{1}{10^{(1,4-1)}} = 0,60$$

$$\eta_{\text{otto}} = \% 60$$

c)

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{90 \cdot 0,00245}{0,287 \cdot 288} = 0,0026 \text{ kg}$$

$$m = 0,0026 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{giren}} = m \cdot c_v (T_3 - T_2) = 0,0026 \cdot 0,718 \cdot (1229 - 723) = 0,944 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{giren}} = 0,944 \text{ kJ}$$

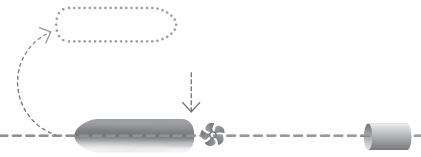
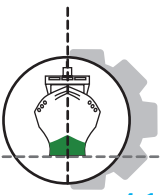
$$Q_{\text{çıkan}} = m \cdot c_v (T_4 - T_1) = 0,0026 \cdot 0,718 \cdot (486 - 288) = 0,369 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{çıkan}} = 0,369 \text{ kJ}$$

$$W_i = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}} = 0,944 - 0,369 = 0,575 \text{ kJ}$$

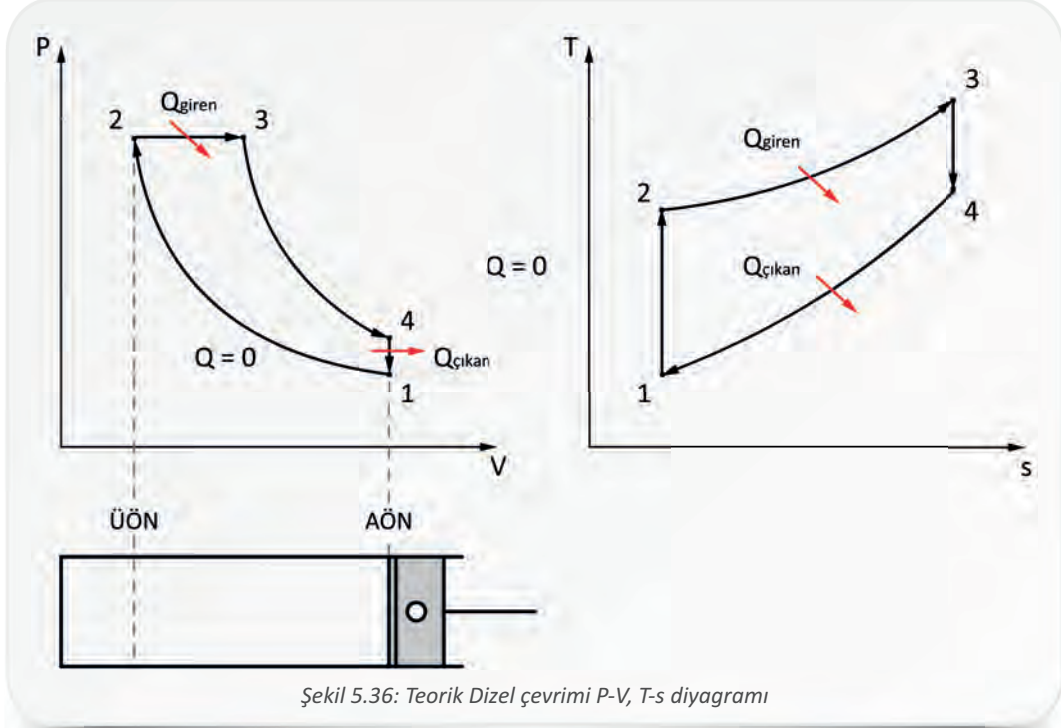
$$W_i = 0,575 \text{ kJ}$$





4.1.3. Dizel Çevrimi

Dizel çevrimi, ilk sıkıstırmayla ateşlemeli pistonlu motorlarda kullanılan çevrimdir. Günümüzde uygulaması kalmamasına rağmen dizel motorların temelini oluşturur. Teorik dizel çevrimi dört evreden meydana gelir (Şekil 5.36).



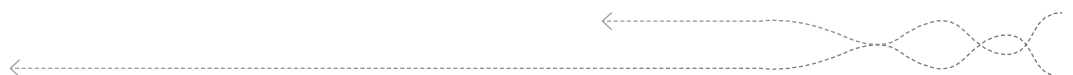
Şekil 5.36: Teorik Dizel çevrimi P-V, T-s diyagramı

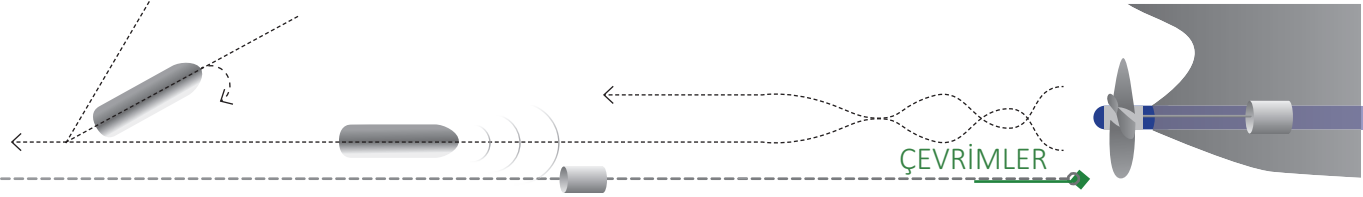
Adyabatik sıkıstırma (1→2): Piston, AÖN'den ÜÖN'ye giderken silindir içindeki havayı sıkıstırır. Sıkıstırılan havanın hacmi azalırken basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıstırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Dizel çevriminde sıkıstırma oranı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

r_c : Sıkıstırma oranı	$r_c = \frac{V_1}{V_2}$
V_1 : 1 noktasındaki hacim (silindir hacmi)	
V_2 : 2 noktasındaki hacim (yanma odası hacmi)	

Sabit basınçta ısı girişi (2→3): Piston ÜÖN'den 3 noktasına giderken sisteme sabit basınçta ısı girişi gerçekleşir ve hacim artar. Dizel çevrimde sabit basınçta hacim değişimi oranına **kesme oranı** denir. Aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

r_v : Kesme oranı	$r_v = \frac{V_3}{V_2}$
V_3 : 3 noktasındaki hacim	
V_2 : 2 noktasındaki hacim (yanma odası hacmi)	





Adyabatik genişleme (3→4): 3 noktasında adyabatik genişleme başlar ve piston AÖN'ye doğru itilir. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz.

Sabit hacimde ısı çıkışı (4→1): Piston AÖN'ye geldiğinde sabit hacimde ısı sistemden atılır ve çevrim tamamlanmış olur.

Dizel çevriminde hâl değişimleri için aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Adyabatik sıkıştırma	Sabit basınçta ısı girişi	Adyabatik genişleme	Sabit hacimde ısı çıkışı
1→2	2→3	3→4	4→1
$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r_c^{(k-1)}$	$P_2 = P_3$ $\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = r_v$	$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k$ $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$	$V_4 = V_1$ $\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$

Dizel çevriminin ısı verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

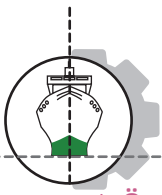
η_{dizel} : Dizel çevrimi ısı verimi r_v : Kesme oranı r_c : Sıkıştırma oranı	$\eta_{dizel} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \left[\frac{(r_v^k - 1)}{k \cdot (r_v - 1)} \right]$
--	---

Aynı değerlerde sıkıştırma oranı için Dizel çevriminin verimi Otto çevriminin veriminden daha düşüktür. Uygulamada ise daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabildiği için dizel motorların verimleri benzinli motorlara göre daha yüksektir.

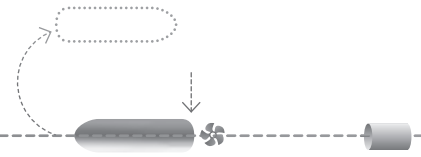
Örnek 29: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 24/1 ve kesme oranı 2 olduğuna göre bu motorun ısı verimini hesaplayınız.

Verilenler: $r_c = 24$ $r_v = 2$ $k = 1,4$ $\eta_{dizel} = ?$	Çözüm: $\eta_{dizel} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \left[\frac{(r_v^k - 1)}{k \cdot (r_v - 1)} \right] = 1 - \frac{1}{24^{(1,4-1)}} \left[\frac{(2^{1,4} - 1)}{1,4 \cdot (2-1)} \right] = 0,67$ $\eta_{dizel} = \%67$
--	---





5. Öğrenme Birimi



Örnek 30: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 18/1'dir. Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 120 kPa ve sıcaklığı 270 K'dir. Havanın adyabatik sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$r_c = 18$	$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$
$k = 1,4$	
$P_1 = 120 \text{ kPa}$	$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 120 \cdot 18^{1,4} = 6863 \text{ kPa}$
$T_1 = 270 \text{ K}$	$P_2 = 6863 \text{ kPa}$
$P_2 = ?$	$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$
$T_2 = ?$	$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 270 \cdot 18^{(1,4-1)} = 857 \text{ K}$
	$T_2 = 857 \text{ K}$

Örnek 31: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun kesme oranı 2,2'dir. Bu motorda sabit basınçta ısı girişi başlangıcında havanın sıcaklığı 790 K'dir. Buna göre sabit basınçta ısı girişi sonundaki havanın sıcaklığını ve birim kütle için ısı girişini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$r_v = 2,2$	$r_v = \frac{T_3}{T_2}$
$T_2 = 790 \text{ K}$	$T_3 = r_v \cdot T_2 = 2,2 \cdot 790 = 1738 \text{ K}$
$T_3 = ?$	$T_3 = 1738 \text{ K}$
$c_p = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$	$q_{\text{giren}} = c_p (T_3 - T_2) = 1,005 \cdot (1738 - 790) = 952 \text{ kJ}$
	$q_{\text{giren}} = 952 \text{ kJ}$

Örnek 32: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun adyabatik genişleme sonunda hava basıncı 450 kPa ve sıcaklığı 900 K'dir. Havanın sabit hacimde ısı çıkışı sonundaki basıncı 150 kPa olduğuna göre aynı andaki sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$P_4 = 450 \text{ kPa}$	$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$
$T_4 = 900 \text{ K}$	
$P_1 = 150 \text{ kPa}$	$T_1 = \frac{P_1 \cdot T_4}{P_4} = \frac{150 \cdot 900}{450}$
$T_1 = ?$	$T_1 = 300 \text{ K}$

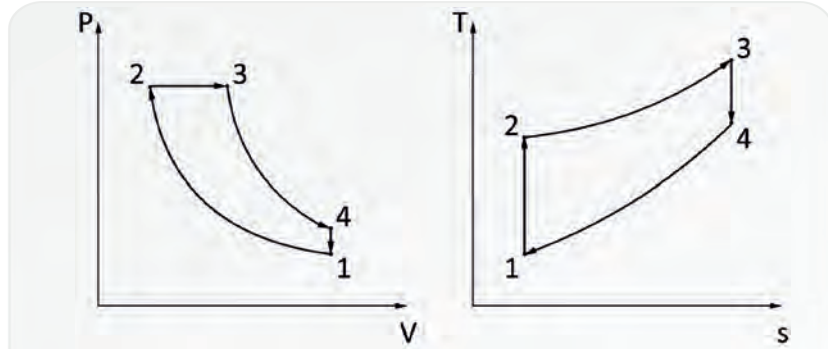


Örnek 33: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 24/1 ve yanma odası hacmi 0,03 m³tür (Şekil 5.37). Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 140 kPa, sıcaklığı 300 K ve kesme oranı 2,4 olduğuna göre aşağıdaki basınç ve sıcaklık tablosunu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				

Verilenler:

- $r_c = 24$
- $r_v = 2,4$
- $k = 1,4$
- $P_1 = 140 \text{ kPa}$
- $T_1 = 300 \text{ K}$
- $V_2 = 0,03 \text{ m}^3$



Şekil 5.37: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 140 \cdot 24^{1,4} = 11979 \text{ kPa}$$

$P_2 = 11979 \text{ kPa}$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 300 \cdot 24^{(1,4-1)} = 1069 \text{ K}$$

$T_2 = 1069 \text{ K}$

2-3 sabit basınçta ısı girişi:

$$P_2 = P_3 = 11979 \text{ kPa}$$

$$r_v = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_v \cdot T_2 = 2,4 \cdot 1069 = 2565 \text{ K}$$

$T_3 = 2565 \text{ K}$

3-4 adyabatik genişleme:

$$r_v = \frac{V_3}{V_2}$$

$$V_3 = V_2 \cdot r_v = 0,03 \cdot 2,4 = 0,072 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0,072 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$$V_1 = V_2 \cdot r_c = 0,03 \cdot 24 = 0,72 \text{ m}^3$$

$V_1 = V_4 = 0,72 \text{ m}^3$

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = 11979 \cdot \left(\frac{0,072}{0,72}\right)^{1,4-1} = 476 \text{ kPa}$$

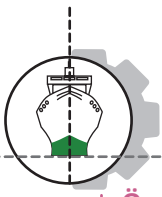
$P_4 = 476 \text{ kPa}$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

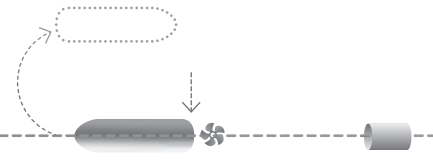
$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = 2565 \cdot \left(\frac{0,072}{0,72}\right)^{(1,4-1)} = 1021 \text{ K}$$

$T_4 = 1021 \text{ K}$





5. Öğrenme Birimi



Örnek 34: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan 2 stroklu, 5 silindri bir motorun sıkıştırma oranı 16/1, kesme oranı 1,5 ve yanma odası hacmi 0,04 m³, adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 100 kPa ve sıcaklığı 270 K'dir.

- a) Bu motorun hâl değişim noktalarındaki (Şekil 5.38) basınç, sıcaklık ve hacimlerini hesaplayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				
V (m ³)				

- b) Çevrimin verimini hesaplayınız.
c) Çevrimin net işini hesaplayınız.

($c_p = 1,005$ kJ/kg.K, $c_v = 0,718$ kJ/kg.K, $k = 1,4$, $R = 0,287$ kJ/kg.K)

Verilenler:

2 stroklu

$Z = 5$

$V_y = V_2 = 0,04$ m³

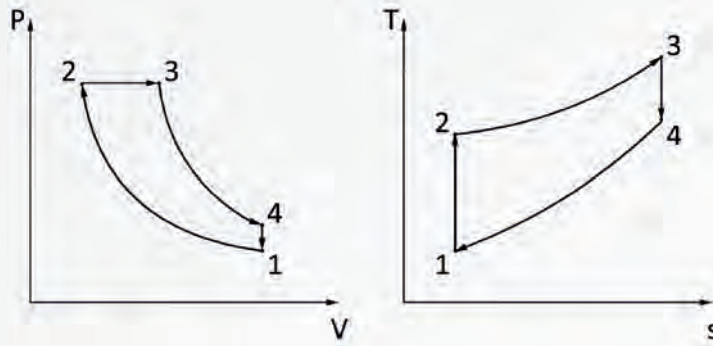
$r_c = 16$

$r_v = 1,5$

$P_1 = 100$ kPa

$T_1 = 270$ K

$n = 800$ devir/dk.



Şekil 5.38: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

a)

$$r_v = \frac{V_3}{V_2}$$

$$V_3 = V_2 \cdot r_v = 0,04 \cdot 1,5 = 0,06 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0,06 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$$V_1 = V_2 \cdot r_c = 0,04 \cdot 16 = 0,64 \text{ m}^3$$

$$V_1 = V_4 = 0,64 \text{ m}^3$$

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 100 \cdot 16^{1,4} = 4850 \text{ kPa}$$

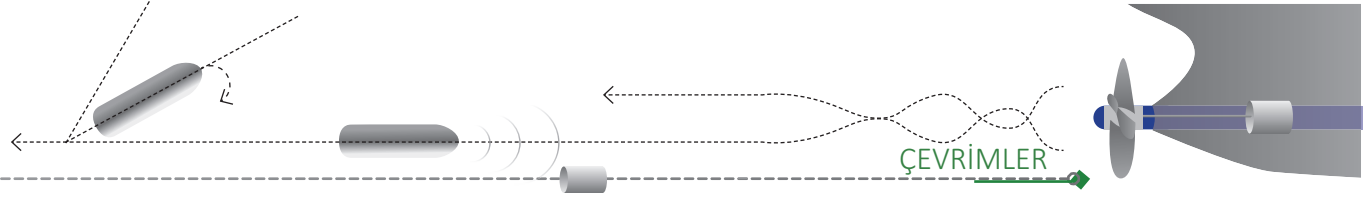
$$P_2 = 4850 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 270 \cdot 16^{(1,4-1)} = 818 \text{ K}$$

$$T_2 = 818 \text{ K}$$





2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_v = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_v \cdot T_2 = 1,5 \cdot 818 = 1227 \text{ K}$$

$$T_3 = 1227 \text{ K}$$

$$P_2 = P_3 = 4850 \text{ kPa}$$

3-4 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = 4850 \cdot \left(\frac{0,06}{0,64}\right)^{1,4} = 176 \text{ kPa}$$

$$P_4 = 176 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = 1227 \cdot \left(\frac{0,06}{0,64}\right)^{(1,4-1)} = 476 \text{ K}$$

$$T_4 = 476 \text{ K}$$

b)

$$\eta_{\text{dizel}} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \left[\frac{(r_v^k - 1)}{k \cdot (r_v - 1)} \right] = 1 - \frac{1}{16^{(1,4-1)}} \left[\frac{(1,5^{1,4} - 1)}{1,4 \cdot (1,5 - 1)} \right] = 0,64$$

$$\eta_{\text{dizel}} = \%64$$

c)

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{100 \cdot 0,64}{0,287 \cdot 270} = 0,82 \text{ kg}$$

$$m = 0,82 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{giren}} = m \cdot c_p (T_3 - T_2) = 0,82 \cdot 1,005 \cdot (1227 - 818) = 337 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{giren}} = 337 \text{ kJ}$$

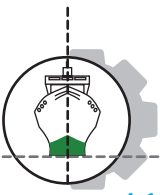
$$Q_{\text{çıkan}} = m \cdot c_v (T_4 - T_1) = 0,82 \cdot 0,718 \cdot (476 - 270) = 121 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{çıkan}} = 121 \text{ kJ}$$

$$W_i = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}} = 337 - 121 = 216 \text{ kJ}$$

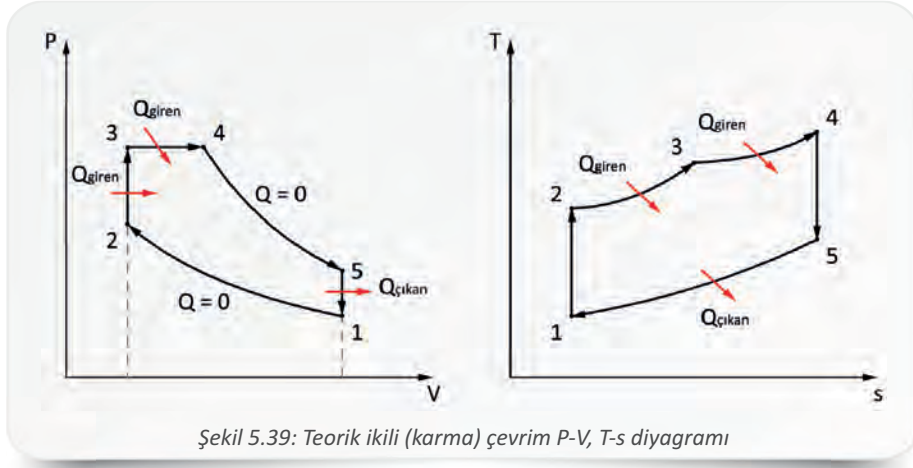
$$W_i = 216 \text{ kJ}$$





4.1.4. Karma (İkili) Çevrim

Günümüz modern dizel motorlarının çalışmasına yakın bir çevrimdir. Isı girişinin sabit hacimde ve sabit basınçta olmak üzere iki aşamada gerçekleştiği güç makinesi çevrimidir (Şekil 5.39).



Şekil 5.39: Teorik ikili (karma) çevrim P-V, T-s diyagramı

Adyabatik sıkıştırma (1→2): Piston AÖN'den ÜÖN'ye giderken silindir içindeki havayı sıkıştırır. Sıkışan havanın hacmi azalırken basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz.

Sabit hacimde sisteme ısı girişi (2→3): Piston ÜÖN'deyken sisteme sabit hacimde ısı girişi gerçekleşir ve basınç ani olarak artar. Bu durum Otto çevrimi ile benzerlik gösterir.

Sabit basınçta sisteme ısı girişi (3→4): 3 noktasında ısı girişi sabit basınçta devam eder ve hacim artar. Bu durum Dizel çevrimi ile benzerlik gösterir.

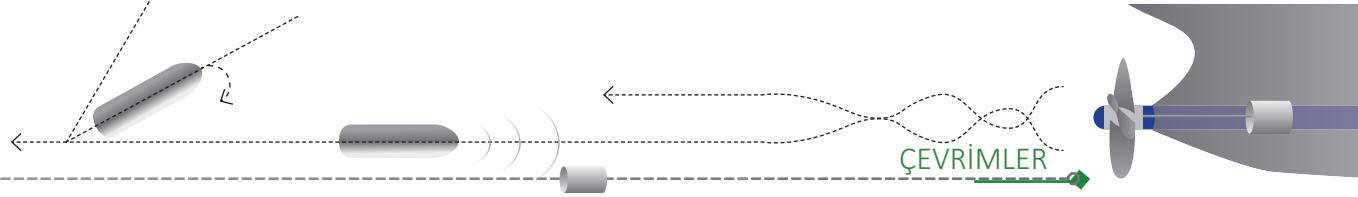
Adyabatik genişleme (4→5): 4 noktasında adyabatik genişleme başlar ve piston AÖN'ye doğru hareket eder. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz.

Sabit hacimde ısı çıkışı (5→1): Piston AÖN'ye geldiğinde sabit hacimde ısı sistemden atılır ve çevrim tamamlanmış olur.

Sıkıştırma oranı, basınç artış oranı ve kesme oranı Dizel ve Otto çevrimlerindeki tanımlarla aynıdır. Karma çevrimin hâl değişimleri aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir.

Adyabatik sıkıştırma	Sabit hacimde ısı girişi	Sabit basınçta ısı girişi	Adyabatik genişleme	Sabit hacimde ısı çıkışı
1→2	2→3	3→4	4→5	5→1
$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r_c^k$	$V_2 = V_3$	$P_3 = P_4$	$\frac{P_4}{P_5} = \left(\frac{V_5}{V_4}\right)^k$	$V_5 = V_1$
$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r_c^{(k-1)}$	$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = r_p$	$\frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} = r_v$	$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1}$	$\frac{P_5}{P_1} = \frac{T_5}{T_1}$





Karma çevrimin ısı verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir. Bağıntıda kesme oranı 1 alınrsa Otto ısı verimi, basınç artış oranı 1 alınrsa dizel ısı verimi elde edilir.

- η_{karma} : Karma çevrimi ısı verimi
 r_c : Sıkıştırma oranı
 r_v : Kesme oranı
 r_p : Basınç artış oranı
 k : Adyabatik üs

$$\eta_{\text{karma}} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \left[\frac{(r_p \cdot r_v^k - 1)}{k \cdot r_p (r_v - 1) + (r_p - 1)} \right]$$

Örnek 35: Teorik karma çevrimine göre çalışan 4 stroklu, 4 silindirli, silindir çapı 100 mm, kurs boyu 170 mm, sıkıştırma oranı 18/1, basınç artış oranı 1,9 olan bir motorun ısı verme işlemi kurs hacminin %10'unda sona ermektedir. Adyabatik sıkıştırma başlangıcında havanın basıncı 170 kPa, sıcaklığı 310 K'dir.

- a) Bu motorun hâl değişim noktalarındaki (Şekil 5.40) basınç, sıcaklık ve hacimlerini hesaplayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

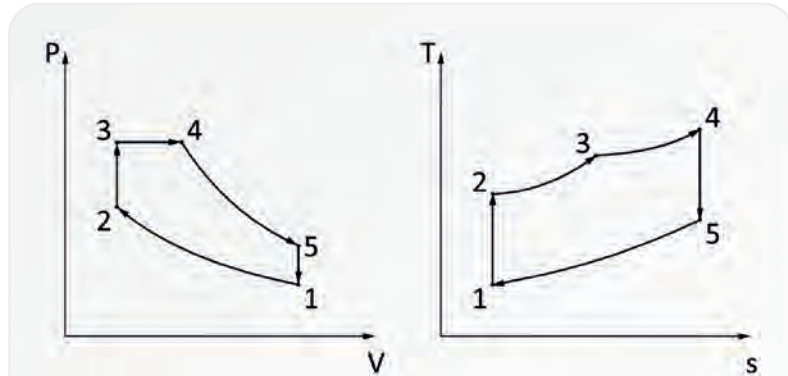
	1	2	3	4	5
P (kPa)					
T (K)					
V (m ³)					

- b) Çevrimin verimini hesaplayınız.
c) Çevrimin net işini hesaplayınız.

($c_p = 1,005$ kJ/kg.K, $c_v = 0,718$ kJ/kg.K, $k = 1,4$, $R = 0,287$ kJ/kg.K)

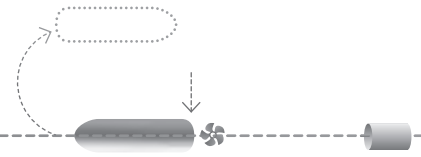
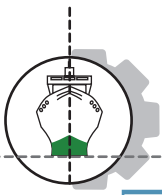
Verilenler:

- 4 stroklu
 $Z = 4$
 $D = 100$ mm = 0,1 m
 $L = 170$ mm = 0,17 m
 $r_c = 18$
 $r_p = 1,9$
 $P_1 = 170$ kPa
 $T_1 = 310$ K
 $n = 1750$ devir/dk.



Şekil 5.40: Teorik karma çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı



**Çözüm:****a)**

$$V_2 = V_3 = V_y = \text{Yanma odası hacmi}$$

$$V_1 = V_5 = V_s = \text{Silindir hacmi}$$

$$V_s - V_y = V_k = \text{Kurs hacmi}$$

$$V_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 0,12}{4} \cdot 0,17 = 0,0078 \text{ m}^3$$

$$V_k = 0,0078 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_s}{V_y} = \frac{V_y + V_k}{V_y} = 1 + \frac{V_k}{V_y}$$

$$V_y = \frac{V_k}{r_c - 1} = \frac{0,0078}{18 - 1} = 0,00045 \text{ m}^3$$

$$V_y = V_2 = V_3 = 0,00045 \text{ m}^3$$

$$V_s = V_k + V_y = 0,0078 + 0,00045 = 0,00825 \text{ m}^3$$

$$V_s = V_5 = V_1 = 0,00825 \text{ m}^3$$

$$V_4 = V_k \cdot 0,10 = 0,0078 \cdot 0,10 = 0,00078 \text{ m}^3$$

$$V_4 = 0,00078 \text{ m}^3$$

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 170 \cdot 18^{1,4} = 9723 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 9723 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 310 \cdot 18^{(1,4-1)} = 985 \text{ K}$$

$$T_2 = 985 \text{ K}$$

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_p = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_p \cdot T_2 = 1,9 \cdot 985 = 1871 \text{ K}$$

$$T_3 = 1871 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2} = \frac{1871 \cdot 9723}{985} = 18468 \text{ kPa}$$

$$P_3 = 18468 \text{ kPa}$$

3-4 sabit basınçta ısı girişi:

$$P_3 = P_4 = 18468 \text{ kPa}$$

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3}$$

$$T_4 = \frac{V_4 \cdot T_3}{V_3} = \frac{0,00078 \cdot 1871}{0,00045} = 3243 \text{ K}$$

$$T_4 = 3243 \text{ K}$$

4-5 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_4}{P_5} = \left(\frac{V_5}{V_4}\right)^k$$

$$P_5 = \frac{P_4 \cdot V_4^k}{V_5^k} = \frac{18468 \cdot 0,00078^{1,4}}{0,00825^{1,4}} = 679 \text{ kPa}$$

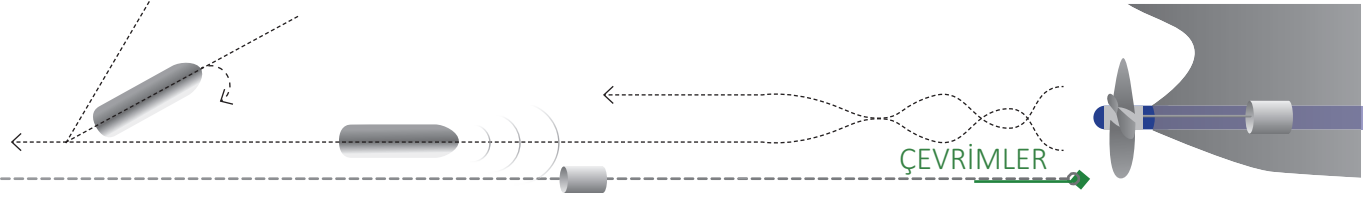
$$P_5 = 679 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1}$$

$$T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1} = 3243 \cdot \left(\frac{0,00078}{0,00825}\right)^{(1,4-1)} = 1262 \text{ K}$$

$$T_5 = 1262 \text{ K}$$





b)

$$r_v = \frac{V_4}{V_3} = \frac{0,00078}{0,00045} = 1,7$$

$$r_v = 1,7$$

$$\eta_{\text{karma}} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \cdot \left[\frac{(r_p \cdot r_v^k - 1)}{k \cdot r_p (r_v - 1) + (r_p - 1)} \right]$$

$$\eta_{\text{karma}} = 1 - \frac{1}{18^{(1,4-1)}} \cdot \left[\frac{(1,9 \cdot 1,7^{1,4} - 1)}{1,4 \cdot 1,9 \cdot (1,7 - 1) + (1,9 - 1)} \right] = 0,74$$

$$\eta_{\text{karma}} = \%74$$

c)

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{170 \cdot 0,00825}{0,287 \cdot 310} = 0,015 \text{ kg}$$

$$m = 0,015 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{giren2,3}} = m \cdot c_v (T_3 - T_2) = 0,015 \cdot 0,718 \cdot (1871 - 985) = 9,54 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{giren2,3}} = 9,54 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{giren3,4}} = m \cdot c_p (T_4 - T_3) = 0,015 \cdot 1,005 \cdot (3243 - 1871) = 20,68 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{giren3,4}} = 20,68 \text{ kJ}$$

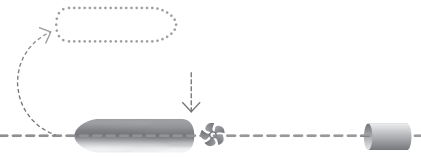
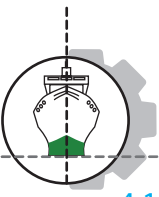
$$Q_{\text{çıkan}} = m \cdot c_v (T_5 - T_1) = 0,015 \cdot 0,718 \cdot (1262 - 310) = 10,25 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{çıkan}} = 10,25 \text{ kJ}$$

$$W_i = (Q_{\text{giren2,3}} + Q_{\text{giren3,4}}) - Q_{\text{çıkan}} = (9,54 + 20,68) - 10,25 = 19,97 \text{ kJ}$$

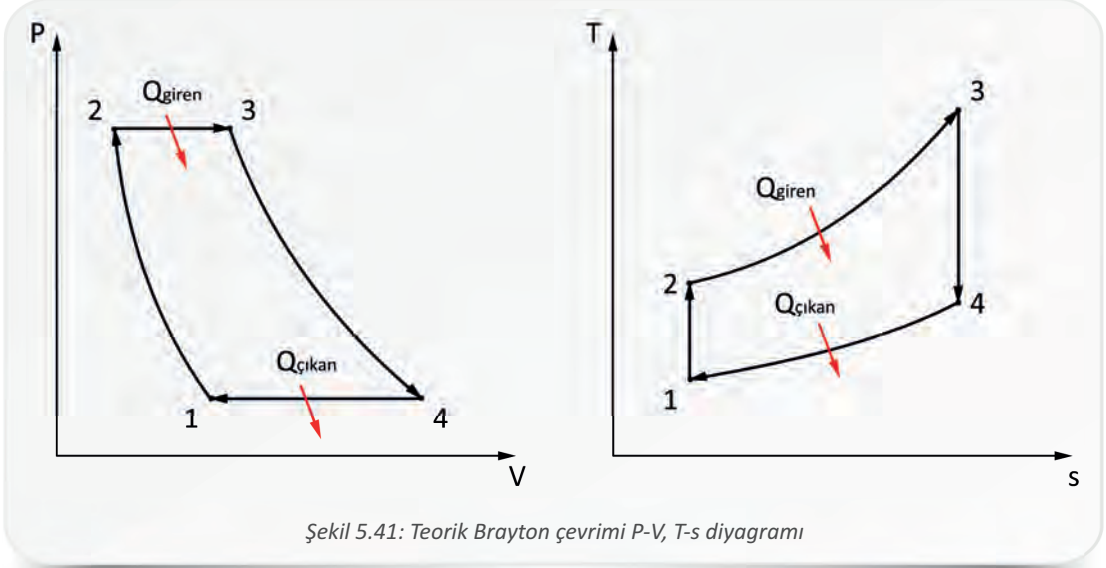
$$W_i = 19,97 \text{ kJ}$$





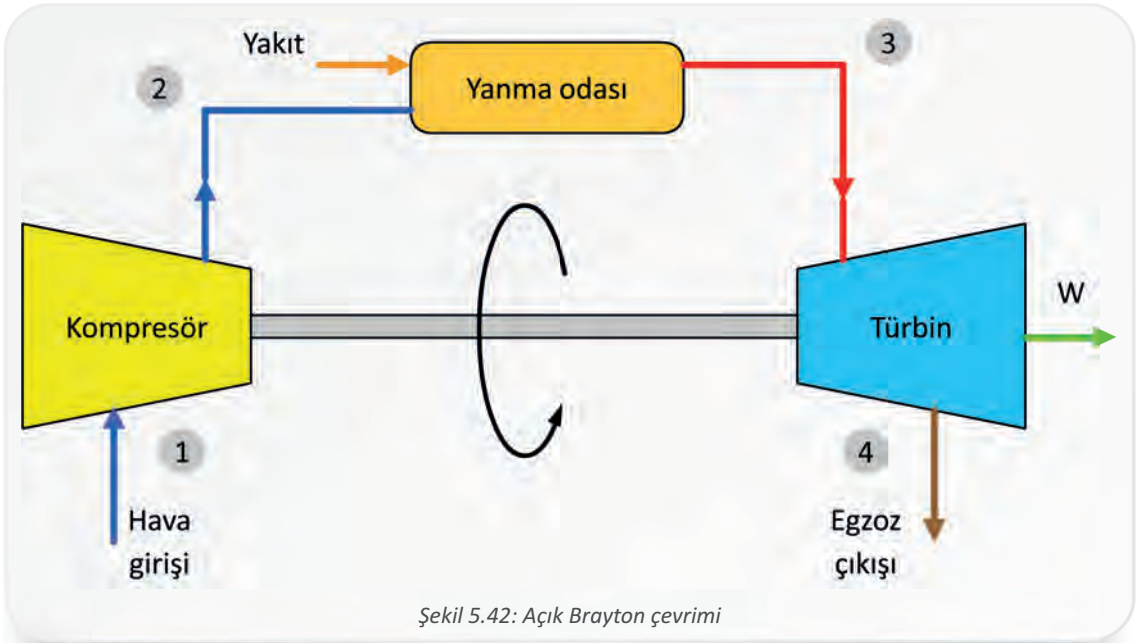
4.1.5. Brayton (Gaz Türbin Motorları) Çevrimi

Gaz türbin motorlarının çalışmasını gösteren çevrimdir. Yaygın olarak uçaklarda ve elektrik güç üretiminde kullanılır. Gerçekte açık veya kapalı sistem olarak çalışabilir. Şekil 5.41'de P-V ve T-s diyagramı görülen teorik Brayton çevrimi, kapalı sistem varsayılır ve dört evreden meydana gelir.



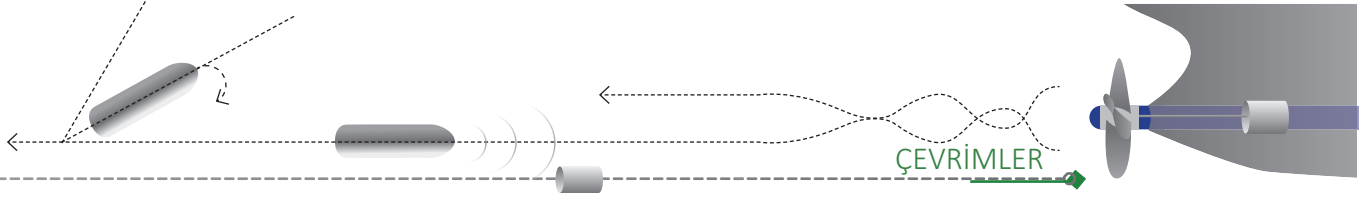
Şekil 5.41: Teorik Brayton çevrimi P-V, T-s diyagramı

Açık sistem Brayton çevriminde kompresöre dışardan alınan hava sıkıştırılır (1-2) ve yakıtın sabit basınçta yakıldığı bir yanma odasına gönderilir (2-3). Yanma odasında hava üzerine yakıt püskürtülür ve yanma olayı gerçekleşir. Yanma sonucunda yüksek basınç ve sıcaklığa sahip gazlar türbine girerek iş oluşturur (3-4), daha sonra egzoz gazı olarak türbinden dışarı atılır (4-1). Şekil 5.42'de açık Brayton çevriminin temel elemanları gösterilmiştir.

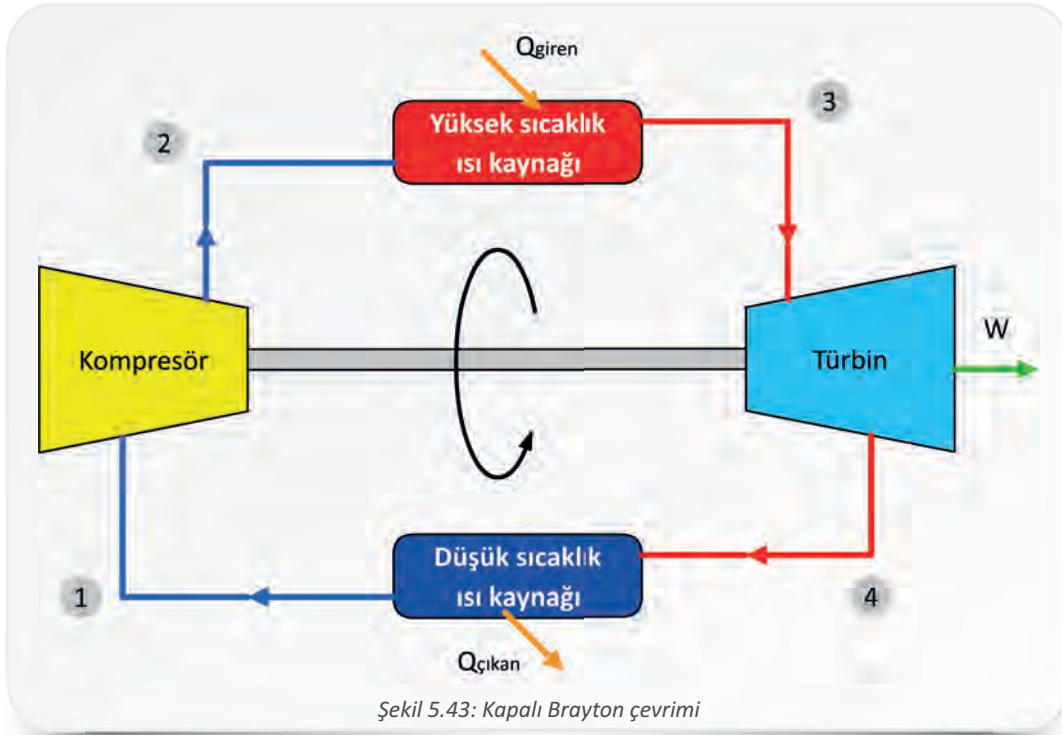


Şekil 5.42: Açık Brayton çevrimi





Kapalı sistem Brayton çevriminde ise türbinden çıkan gaz bir ısı değiştirici yardımıyla tekrar kompresöre girerek (4-1) çevrime devam eder. Yanma ve egzoz işlemlerinin yerini yüksek ve düşük ısı kaynakları alır. Şekil 5.43'te kapalı Brayton çevriminin temel elemanları gösterilmiştir. Gerçekte gaz türbinlerinde kompresör ve türbinde ısı kayıpları meydana geldiği için verim önemli ölçüde azalmış olur.



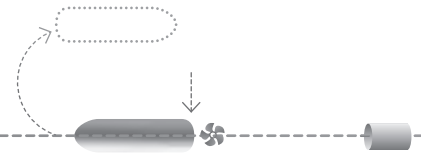
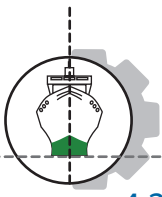
Brayton çevriminin ısı verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_{Brayton} : Brayton çevrimi ısı verimi	$r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4}$
r_p : Basınç oranı	$\eta_{\text{Brayton}} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$
k : Adyabatik üs	

Örnek 36: İdeal Brayton çevrimine göre çalışan bir gaz türbini giriş basıncı 900 kPa ve çıkış basıncı 100 kPa'dır. Çevrimin ısı verimini hesaplayınız. ($k=1,4$)

Verilenler:	Çözüm:
$P_1 = 100 \text{ kPa}$	$r_p = \frac{P_3}{P_4} = \frac{900}{100} = 9$
$P_2 = 900 \text{ kPa}$	$\eta_{\text{Brayton}} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}} = 1 - \frac{1}{9^{(1,4-1)/1,4}} = 0,42$
$\eta_{\text{Brayton}} = ?$	$\eta_{\text{Brayton}} = \%42$



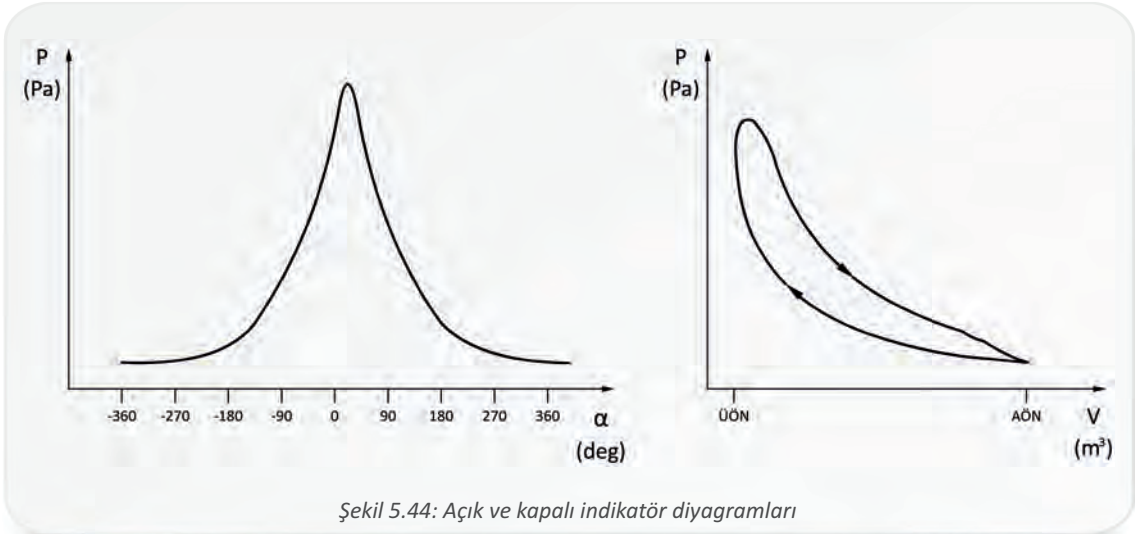


4.2. Gerçek Dizel Motor Çevrimleri

Teorik çevrimler, gerçekte olmayan ve ideal motorda olduğu varsayılan çevrimlerdir. Uygulamada içten yanmalı motorlarda çalışma akışkanı, teorik termodinamik bir çevrim gerçekleştirmez. Silindir içinde meydana gelen istenen veya istenmeyen birçok olay teorik çevrimler için belirlenmiş kabullere uymaz. Gerçek çevrimlerin verimleri de ideal çevrimlere göre oldukça düşüktür.

Gerçek çevrimlerde içten yanmalı motorların çalışmasında emme zamanında silindir içerisine hava alınması, egzoz zamanında silindir dışına yanmış gazların atılması, silindir içindeki sürtünme, adyabatik olmayan ortam, ısı kayıpları, kompresyon kaçakları, yakıt kalitesi ve pompalama kayıpları gibi durumlar gerçekleşir.

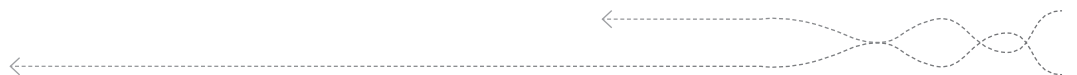
Gerçek motor diyagramları silindirlere bağlanan indikatör cihazlarının yardımıyla çizilir. Günümüzde kullanılan indikatör cihazları, silindir içindeki basınç değişimini sensörler yardımıyla elektronik sinyallere dönüştürür, daha sonra bu sinyaller işlenerek bilgisayara aktarılır. Bu diyagramların analizi, motorun sağlıklı çalışması ve arıza tespiti için önemlidir. İndikatör diyagramları krankşaft açısına veya silindir hacmine göre silindir içindeki basınç değişimini gösterir. Krankşaft açısına göre silindir içindeki basıncı gösteren diyagrama **açık indikatör diyagramı**, silindir hacmine bağlı basınç değişimini gösteren diyagrama ise **kapalı indikatör diyagramı** denir (Şekil 5.44).

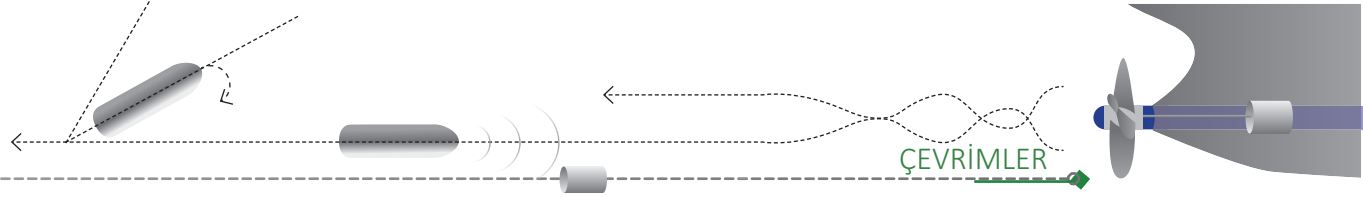


İki ve dört stroklu motorların diyagramları arasında çalışma yöntemlerinden kaynaklanan bazı yapısal farklar vardır.

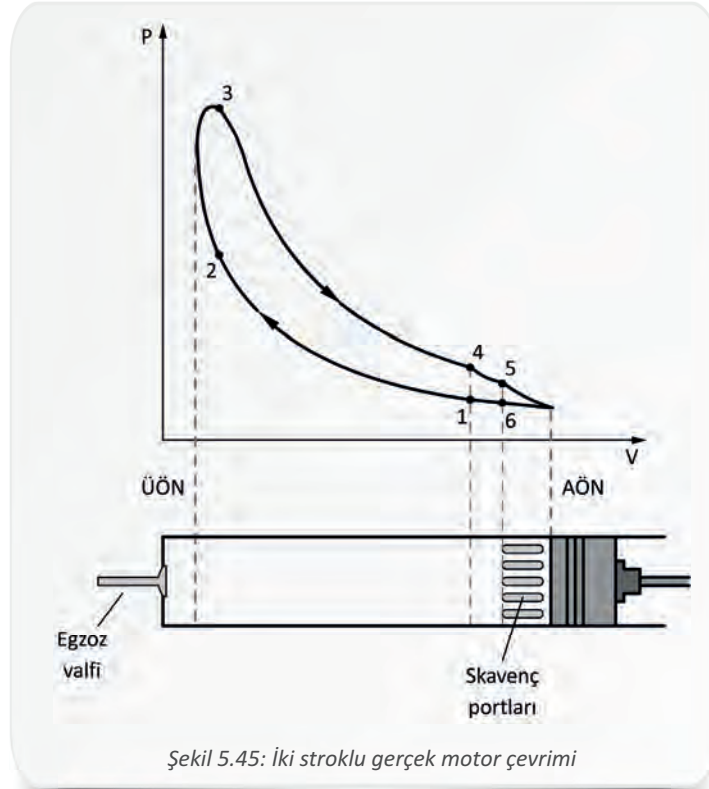
4.2.1. İki Stroklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi

Gemilerde, doğru akımlı süpürme yapan iki stroklu dizel motorlar ana makine olarak yaygın şekilde kullanılır. İki stroklu dizel motorlar, iş çevrimlerini pistonun iki stroku ve krank şaftın bir tam turunda (360°) tamamlar. Piston ÜÖN'ye her çıktığında bir iş gerçekleşir. Çevrim; sıkıştırma, iş, egzoz ve emme olmak üzere dört temel zamanda incelenir. Çevrimin indikatör diyagramı Şekil





5.45'te görülmektedir.

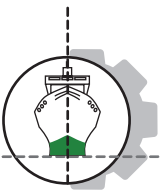


İndikatör diyagramında sayılarla işaretlenen noktalar her motora göre değişiklik gösterebilir. Genel olarak silindir içinde meydana gelen evrelerin başlaması ve bitmesi aşağıda belirtildiği gibi gerçekleşir.

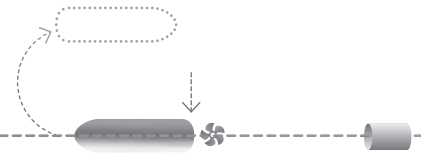
- 1→ Sıkıştırma zamanı başlar.
- 2→ Enjektör açılır, sıkıştırma zamanı biter ve yanma başlar.
- 3→ Enjektör kapanır, genişleme zamanı başlar.
- 4→ Egzoz valfi açılır, egzoz zamanı başlar.
- 5→ Skavenç portları açılır, emme zamanı başlar, süpürme başlar.
- 6→ Skavenç portları kapanır, emme zamanı biter.
- 1→ Egzoz valfi kapanır, egzoz zamanı biter ve bir çevrim tamamlanır.

Piston AÖN'yi geçtikten sonra egzoz valfi ve skavenç portu kapalı durumdayken **(1)** sıkıştırma zamanı **(1)** başlar. Silindir içerisine alınmış havanın sıkıştırma işlemi ile birlikte basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma sonunda enjektör açılarak **(2)** silindir içerisine yakıt püskürtür, tutuşma ve yanma başlar. Yanma sonunda oluşan yüksek basınç ve sıcaklık pistonu AÖN'ye doğru iter ve iş meydana gelir. İş zamanı yanma ve genişleme olmak üzere iki evreden oluşur. Yanma evresi bittiğinde **(3)** genişleme evresi başlar ve egzoz valfi açılıncaya kadar **(4)** devam eder. Egzoz zamanı, serbest egzoz ve kuvvetlendirilmiş egzoz olmak üzere iki ayrı evreden oluşur. Egzoz valfi açıldığında





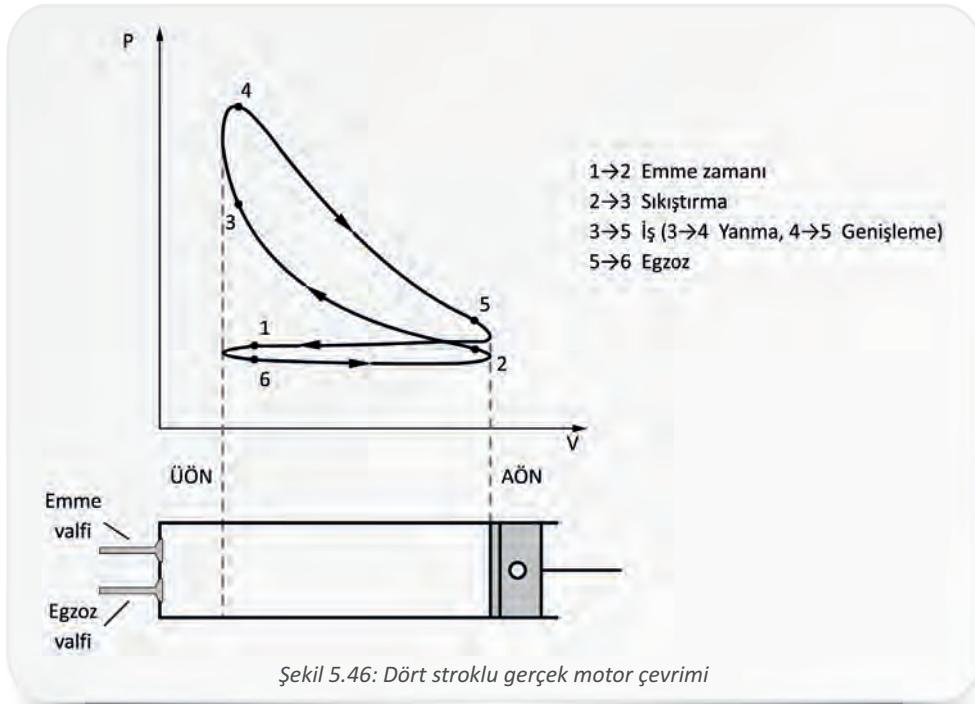
5. Öğrenme Birimi



yanmış gazlar dışarı atılmaya başlar. Piston AÖN'ye doğru inmeye devam ederken skavenç portları açılarak **(5)** silindir içerisine hava alınmaya başlar. Skavenç portlarının açılmasına kadar geçen egzoz süresine **serbest egzoz zamanı** denir. Egzoz valfi ve skavenç portlarının aynı anda açık olması, süpürme işleminin gerçekleşmesini sağlar. Silindir içerisine giren skavenç havasının egzoz gazlarını itererek dışarı atmasına **süpürme** denir. Süpürme işlemi boyunca geçen egzoz zamanına da **kuvvetlendirilmiş egzoz** denir. Piston tekrar AÖN'den ÜÖN'ye doğru hareket ederken önce skavenç portlarını kapatır **(6)**. Daha sonra egzoz valfi kapanır **(1)** ve sıkıştırma başlar. Çevrim tamamlanmış olur.

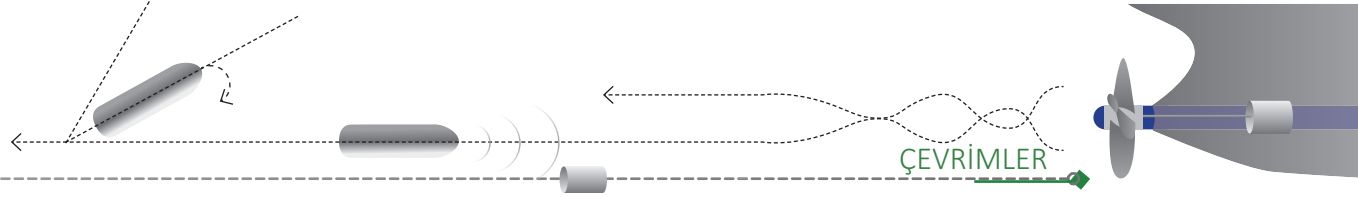
4.2.2. Dört Stroklı Gerçek Dizel Motor Çevrimi

Dört stroklı dizel motorlar, iş çevrimlerini pistonun dört stroku ve krank şaftın iki tam turunda (720°) tamamlar. Pistonun ÜÖN'ye her iki çıkışından birinde iş gerçekleşir. Çevrim, iki stroklı motorlarda olduğu gibi; sıkıştırma, iş, egzoz ve emme olmak üzere 4 temel zamanda incelenir. Çevrimin indikatör diyagramı Şekil 5.46'da görülmektedir.



Piston ÜÖN'ye gelmeden **(1)** emme valfi açılır ve hava silindir içerisine alınmaya başlar. Piston AÖN'ye doğru hareket ederken hava silindire alınmaya devam edilir. Piston AÖN'yi geçtikten sonra emme valfi tam kapalı duruma gelir **(2)** ve sıkıştırma başlar. Sıkıştırma ve iş evreleri iki stroklı motorlarla benzer şekilde gerçekleşir. Sıkıştırma sonunda havanın basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma, enjektörün açılmasına kadar **(3)** devam eder. Enjektör açılıp silindir içerisine yakıt püskürtülmeye başlandığında tutuşma ve yanma başlar. Yanma sonunda oluşan yüksek basınç ve sıcaklık, pistonu AÖN'ye doğru iter ve iş meydana gelir. İş zamanı, yanma ve genişleme olmak üzere iki evreden oluşur. Yanma evresi bittiğinde **(4)** genişleme evresi başlar ve egzoz valfi açılıncaya kadar **(5)** devam eder. Piston AÖN'ye gelmeden egzoz valfi açılır ve yanmış gazlar piston ÜÖN'ye doğru çıkarken silindir dışına atılır. Egzoz valfi piston ÜÖN'yi geçtiğinde **(6)** kapanır. Diyagramda her iki valfin de aynı anda açık olduğu zaman, net bir şekilde görülmektedir **(1-6)**. Bu





5. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE GÜÇ

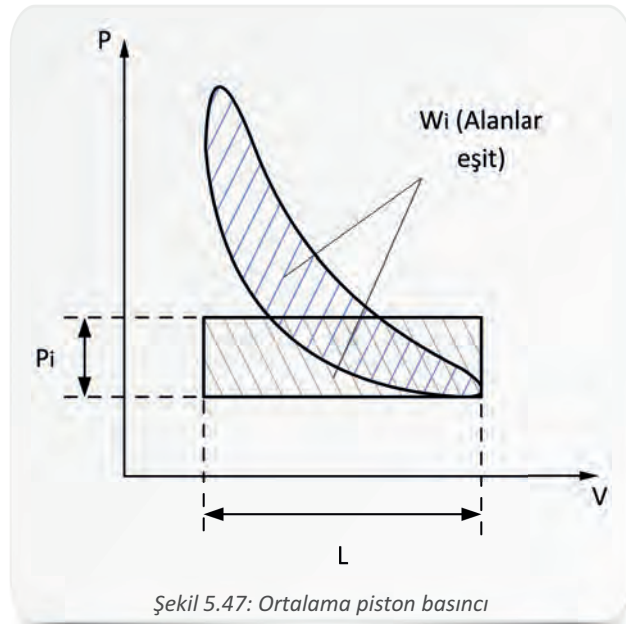
Birim zamanda gerçekleşen işe **güç** denir. Denizcilikte yaygın olarak kullanılan güç birimi Watt'tır. Bunun yanında beygir gücü de (hp) kullanılan güç birimlerindedir. Dizel gemi makineleri için önemli bir özellik olan güç, genel anlamda aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

N : Güç (W)	$N = \frac{W}{t}$
W : İş (J)	
t : Zaman (s)	
1 hp = 0,7457 kW	

İçten yanmalı motorlarda güç; motorun devri, silindir sayısı, yakıt ve silindir hacmi gibi çeşitli koşullara bağlıdır. Güç, elde edildiği yere ve koşula göre birçok şekilde adlandırılır. Çeşitli deney düzenekleri ve ölçme cihazları kullanılarak bir makineden alınabilecek en yüksek ve en düşük güç, en ekonomik güç, en dengeli güç, silindir içinde oluşan güç, volandan alınan güç ve shafttan alınan güç gibi ayrı ayrı koşullara bağlı güç hesapları yapılabilir.

5.1. İndike (İç) Güç

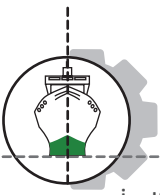
Dizel gemi makinelerinde silindir içinde yanma sonucu ortaya çıkan güce **indike (iç) güç** denir. Üretilen bu güç, piston tarafından motor parçalarına aktarılır. İndike gücün hesaplanabilmesi için silindir içinde yanma sonucu oluşan ortalama basıncın bilinmesi gerekir. Bu basınca **ortalama piston basıncı** denir. Ortalama piston basıncı, indikatör diyagramlarından faydalanılarak bulunur. İndikatör diyagramının alanı, bir silindir tarafından yapılan işe eşittir. Bu alan, eşdeğer bir dikdörtgene dönüştürülürse bu dikdörtgene ait yükseklik, ortalama indike basıncı verir (Şekil 5.47). Ortalama piston basıncı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.



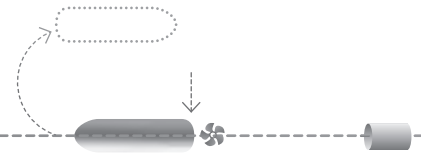
Şekil 5.47: Ortalama piston basıncı

P_i : Ortalama piston basıncı (Pa)	$V_k = A \cdot L$ $P_i = \frac{W_i}{V_k}$
W_i : 1 çevrimin net işi (J)	
V_k : Kurs hacmi (m^3)	
A : Piston tepesi alanı (m^2)	
L : Kurs (m)	





5. Öğrenme Birimi



İndike güç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

N_i	: İndike güç (W)
P_i	: Ortalama piston basıncı (Pa)
V_k	: Kurs hacmi (m^3)
n	: Motor devri (devir/dk.)
Z	: Silindir sayısı

İki stroklu motorlarda
her devirde güç üretildiği için,

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{60}$$

Dört stroklu motorlarda
her iki devirde bir güç üretildiği için,

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{2 \cdot 60}$$

Örnek 37: Dakikada 750 devir ile çalışan 2 stroklu, 4 silindirli dizel bir motorun kurs hacmi 0,0055 m^3 'tür. Ortalama piston basıncı 1200 kPa olduğuna göre motorun indike gücünü hesaplayınız.

Verilenler: $P_i = 1200$ kPa $V_k = 0,0055$ m^3 $n = 750$ devir/dk. $Z = 4$ $N_i = ?$	Çözüm: $N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{60}$ $N_i = \frac{1200 \cdot 0,0055 \cdot 750 \cdot 4}{60} = 330$ kW $N_i = 330$ kW
---	---

Örnek 38: Dakikada 400 devir ile çalışan 4 stroklu, 6 silindirli, ortalama piston basıncı 2000 kPa olan bir dizel motorun piston çapı 0,2 m ve kursu 1,2 m'dir. Bu motorun indike gücünü hesaplayınız.

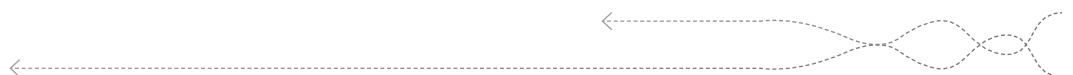
Verilenler: $P_i = 2000$ kPa $L = 1,2$ m $D = 0,2$ m $n = 400$ devir/dk. $Z = 6$ $N_i = ?$	Çözüm: $A = \pi \cdot D^2 / 4 = 3,14 \cdot (0,2)^2 / 4 = 0,314$ m^2 $V_k = A \cdot L = 0,314 \cdot 1,2 = 0,3768$ m^3 $N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{2 \cdot 60} = \frac{2000 \cdot 0,3768 \cdot 400 \cdot 6}{2 \cdot 60} = 15072$ kW $N_i = 15072$ kW
---	---

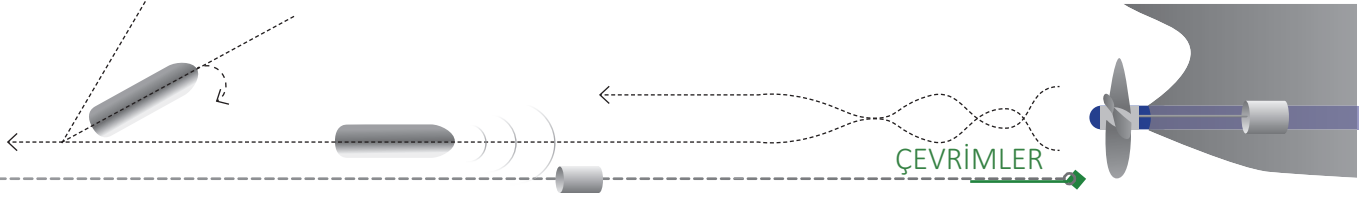
5.2. Efektif (Yararlı) Güç

Motor volanından alınan güce **efektif (yararlı) güç** denir. Bu güce fren gücü de denilir. Silindir içinde oluşan iç güç, volana iletilene kadar çeşitli kayıplara uğrar. Makine parçalarındaki sürtünmeleri yenmek, emme zamanında havayı silindire çekmek, egzoz zamanında yanmış gazları dışarı atmak veya çeşitli motor parçalarına hareket vermek için kullanılan güçler bu kayıplara neden olur.

N_i	: İndike güç (W)
N_e	: Efektif güç (W)
N_k	: Toplam kayıp güçler (W)

$$N_e = N_i - N_k$$





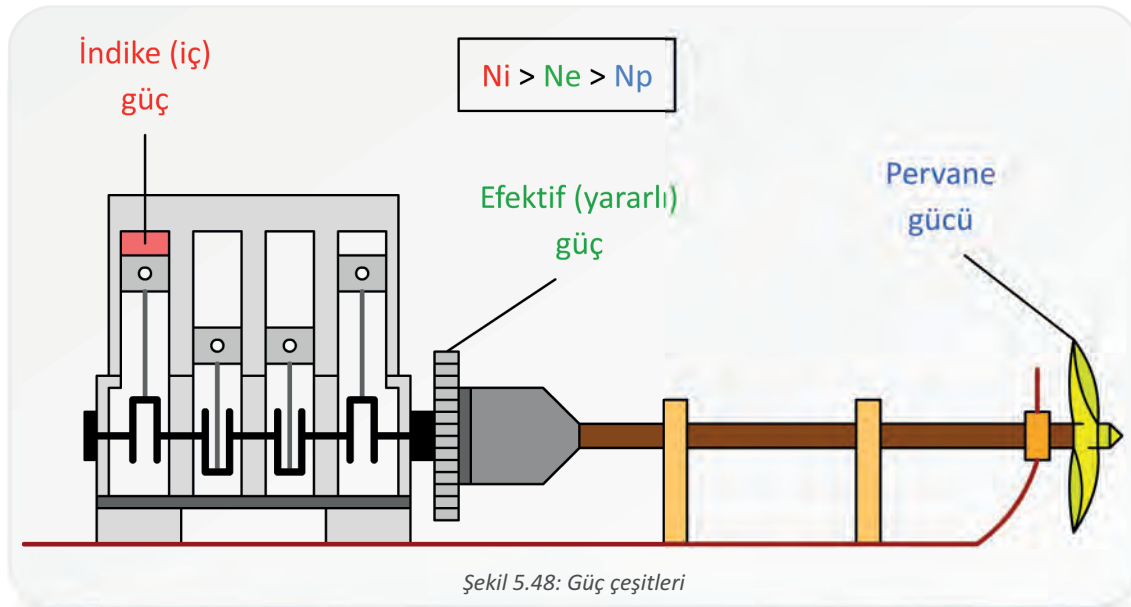
Efektif gücün ölçülmesinde çeşitli yöntemler ve deney düzenekleri kullanılır. Efektif gücün ölçülmesi için kullanılan cihazlara genel olarak **dinamometre** denir. Bu yöntemlerin ortak özelliği, motor belirli bir devirde çalışırken volana bağlanan bir frenleme düzeneği ile motora kademe kademe yük bindirmek ve devri düşmeden motorun çıkabileceği en fazla yük kapasitesini ölçmektir. Frenleme düzeneklerinde mekanik sürtünme, hidrolik (su basıncı) ve manyetik fren gibi sistemler kullanılmaktadır.

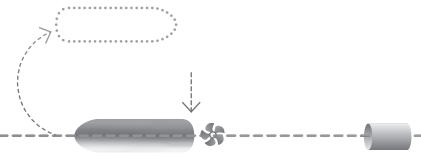
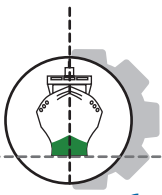
Örnek 39: Ortalama piston basıncı 1200 kPa, kurs hacmi 0,02 m³ olan 2 stroklu ve 7 silindirli dizel bir motorun dakikada 1300 devir ile çalışırken toplam kayıp gücü 550 kW olduğuna göre, bu motorun indike ve efektif gücünü hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$P_i = 1200 \text{ kPa}$	$N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{60} = \frac{1200 \cdot 0,02 \cdot 1300 \cdot 7}{60} = 3640 \text{ kW}$
$V_k = 0,02 \text{ m}^3$	$N_i = 3640 \text{ kW}$
$n = 1300 \text{ devir/dk.}$	$N_e = N_i - N_k = 3640 - 550 = 3090 \text{ kW}$
$Z = 7$	$N_e = 3090 \text{ kW}$
$N_k = 550 \text{ kW}$	
$N_i = ?$	
$N_e = ?$	

5.3. Pervane Gücü

Silindir içinde üretilen indike güç, bir miktar kayba uğrayarak efektif güce dönüşür. Ardından efektif güç de reduction gear (ridakşın giyir), şaft yatakları ve stern tube (störn tüb) gibi birçok noktada kayıplara uğrayarak pervaneye aktarılır (Şekil 5.48). Üretimi silindir içinde başlayan, şaft boyunca pervaneye iletilen ve pervaneden alınan bu güce **pervane gücü** denir.





6. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE VERİM

Verim, yakıtın kimyasal enerjisinin mekanik enerjiye dönüşme oranıdır. Bir motorun performansı değerlendirilirken en sık göz önünde bulundurulanan verim çeşitleri; mekanik, ısı, efektif ve hacimsel verimdir.

6.1. Mekanik Verim

Mekanik verim, efektif gücün indike güce oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_m : Mekanik verim

N_i : İndike güç (W)

N_e : Efektif güç (W)

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Örnek 40: Dakikada 600 devir hızla dönen bir gemi makinesinin volanından 450 kW güç alınmaktadır. Aynı makinenin torna çark sırasında döndürülebilmesi için 150 kW güç gerekmektedir. Bu makinenin mekanik verimini yaklaşık olarak hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
$N_e = 450 \text{ kW}$	$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$
$N_k = 150 \text{ kW}$	$N_i = N_e + N_k$
$\eta_m = ?$	$N_i = 450 + 150 = 600 \text{ kW}$
	$\eta_m = \frac{450}{600} = 0,75$
	$\eta_m = \% 75$

6.2. Isıl (Termik) Verim

Gemi dizel makinelerinde silindir içinde yanma sonucu oluşan ısı enerjisinin tamamı yararlı işe dönüştürülemez. Isıl verim, yanma sonucu oluşan ısının yararlı işe dönüştürülme oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_t : Isıl verim

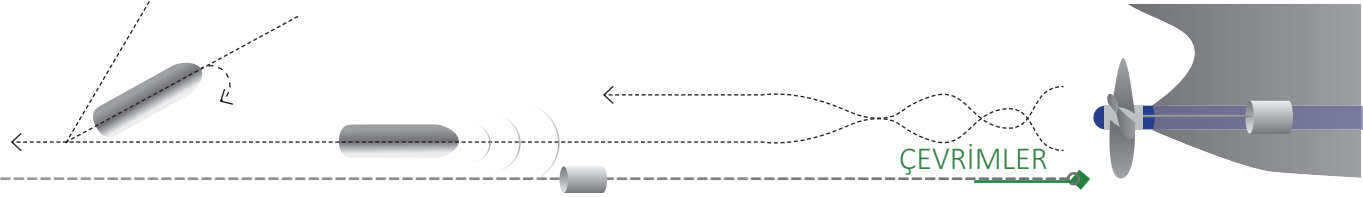
W_{net} : Sistemin yaptığı iş (J)

Q_{giren} : Sisteme giren ısı (J)

$Q_{çıkan}$: Sistemden çıkan ısı (J)

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{giren}} = \frac{Q_{giren} - Q_{çıkan}}{Q_{giren}} = 1 - \frac{Q_{çıkan}}{Q_{giren}}$$





6.3. Efektif (Yakıt) Verim

Motordan elde edilen efektif gücün tüketilen yakıtın gücüne oranıdır.

η_e : Efektif verim	$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_u}$
N_e : Efektif güç (kW)	
B : Motorun tükettiği yakıt miktarı (kg/s)	
H_u : Yakıtın ısı değeri (kJ/kg)	

Örnek 41: Dizel bir motor, 40 kW güç üretecek şekilde çalıştığında saatte 12 kg motorin tüketmektedir. Motorinin yanma ısı 42300 kJ/kg olduğuna göre motorun efektif verimini hesaplayınız.

Verilenler: $N_e = 40$ kW $B = 12$ kg/h = 0,0033 kg/s $H_u = 42300$ kJ/kg $\eta_e = ?$	Çözüm: $\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_u} = \frac{40}{0,0033 \cdot 42300} = 0,28$ $\eta_e = \%28$
---	---

6.4. Hacimsel (Volumetrik) Verim

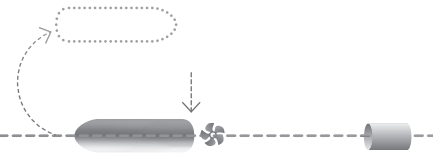
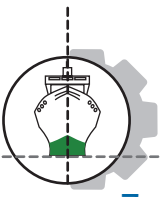
Hacimsel verim, doğal emişli (aşırı doldurması olmayan) bir motorda silindir içerisine alınan havanın hacminin silindir hacmine oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_v : Hacimsel verim	$\eta_v = \frac{V_g}{V_s}$
V_g : Silindir içerisine alınan gerçek havanın hacmi (m ³)	
V_s : Silindir hacmi (m ³)	

Örnek 42: Doğal emişli 2 stroklu bir dizel motorun silindir hacmi 0,3 m³tür. Hava filtresi tıkanmış bu motor emme zamanında silindir içerisine 0,06 m³ hava alabiliyorsa bu motorun hacimsel verimini hesaplayınız.

Verilenler: $V_s = 0,3$ m ³ $V_g = 0,06$ m ³ $\eta_v = ?$	Çözüm: $\eta_v = \frac{V_g}{V_s}$ $\eta_v = \frac{0,06}{0,3} = 0,2$ $\eta_v = \%20$
---	---





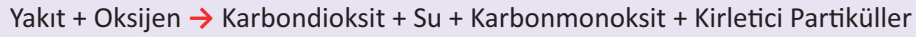
7. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE YAKIT TÜKETİMİ

Gemi dizel makineleri, yanma sonucu yakıttaki kimyasal enerjiyi ısı enerjisine çevirir. Yanma, yakıtın oksijen ile kimyasal reaksiyona girmesidir. Dizel motorlarda sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış havanın üzerine enjektör tarafından atomize şekilde püskürtülen yakıt, kendiliğinden yanar.

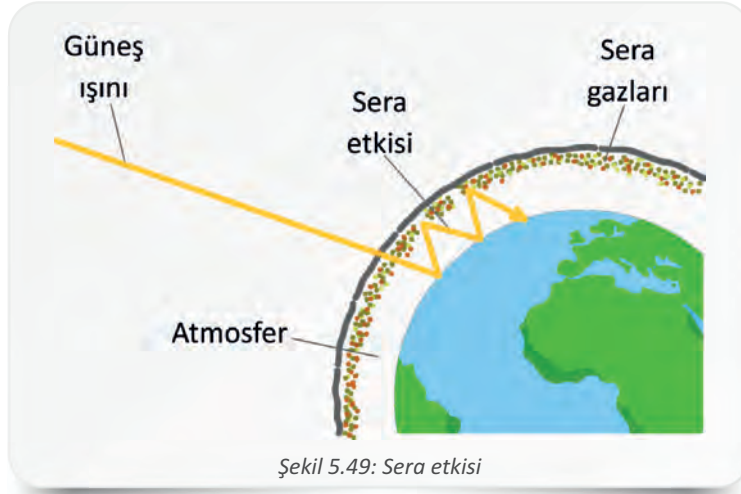
Eğer silindir içerisine püskürtülen yakıtın tamamı oksijenle reaksiyona girerse bu duruma **tam yanma** denir. Tam yanma ve yanma ürünleri temel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.



Eğer silindir içerisine püskürtülen yakıtın bir kısmı oksijen yetersizliği nedeniyle yanmadan silindiri terk ederse bu duruma **eksik yanma** denir. Eksik yanma sonucu istenmeyen bazı yanma ürünleri ortaya çıkar. Bunların en önemlisi karbonmonoksittir. Eksik yanma ve yanma ürünleri temel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilir.



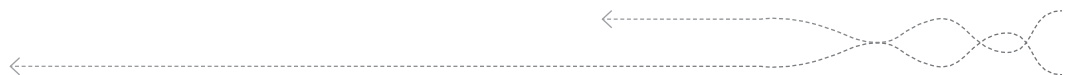
Özellikle eksik yanma sonucu ortaya çıkan istenmeyen gazlar (yanma ürünleri) başta hava kirliliği olmak üzere çeşitli çevre kirliliklerine yol açar. Ayrıca bu gazlar atmosferde birikerek bir tabaka oluşturur. Oluşan bu tabaka dünyamızdan yansıması gereken güneş ışınlarını tutarak sera etkisi oluşturur ve küresel ısınmaya neden olur (Şekil 5.49).

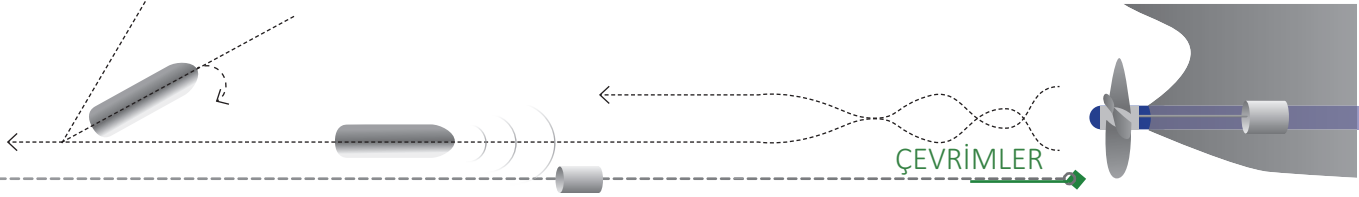


Şekil 5.49: Sera etkisi

Yakıtların tam olarak yanmadan motordan atılması nedeniyle atmosfere karışan bu kirlenici gazlara **egzoz emisyonu** denir. Altı eki bulunan Denizlerin Gemilerden Kaynaklı Kirlenmesinin Önlenmesine Dair Uluslararası Sözleşme'siyle (MARPOL) denizlerin korunmasına ilişkin kurallar belirlenmiştir. MARPOL 73/78 Ek-VI'da gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesi ile ilgili gerekli kurallar yer almaktadır.

Yanmanın çeşitli evreleri vardır ve bu evreler yakıt tüketimini doğrudan etkiler. Yanma evreleri çeşitli değişkenlerin etkisiyle şekillenir ve dört aşamada gelişir (Şekil 5.50).



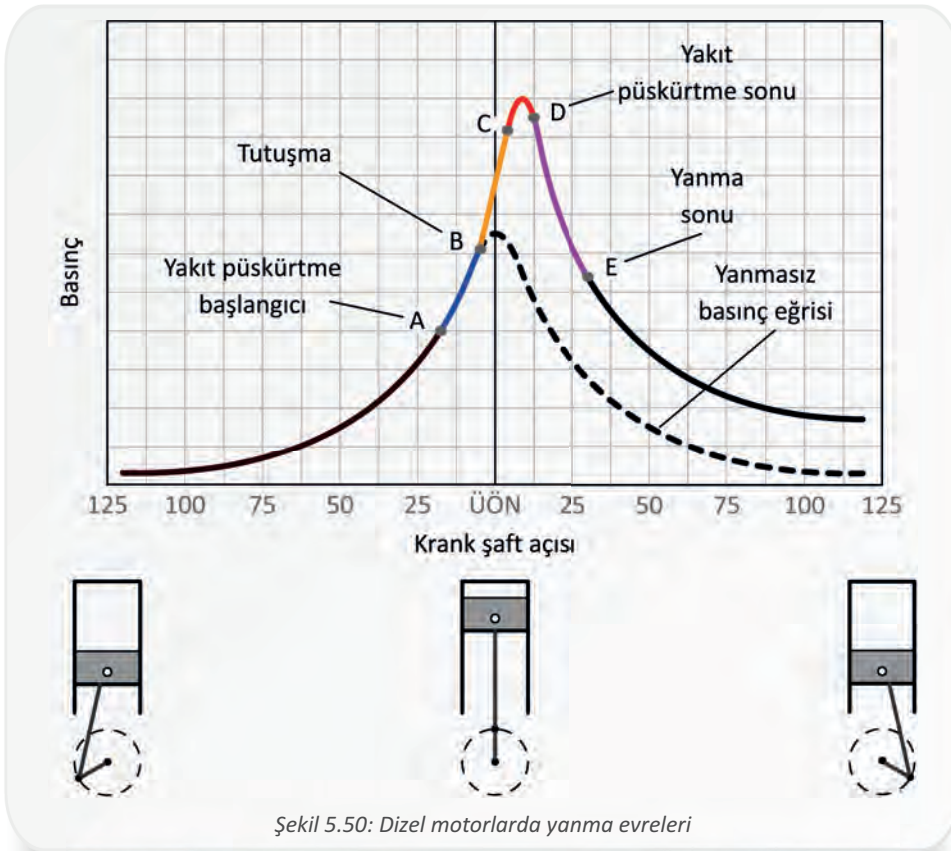


Yakıtın enjektör tarafından püskürtülmeye başlandığı andan ilk alevin ortaya çıkmasına kadar geçen süreye **tutuşma gecikmesi** (Şekil 5.50: A-B arası) denir. Bu gecikme, yakıtın hava ile karışması için ihtiyaç duyulan zaman yüzünden oluşur. Termodinamik olarak gecikme süresini etkileyen faktörler ise silindire giren hava sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, enjektörün püskürtme zamanı (avansı), makinenin yükü, sıkıştırma oranı, sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı olarak sıralanabilir.

Tutuşma gecikmesi süresi boyunca silindir içinde yakıt birikir. Bu yakıtın yanması için uygun ortam oluştuğunda, ilk alev çekirdeği ortaya çıkar ve ani bir şekilde hızlıca yanma gerçekleşir. Bu duruma **kontROLSÜZ yanma** denir (Şekil 5.50: B-C arası).

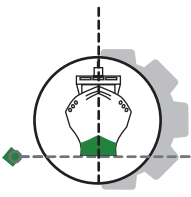
KontROLSÜZ yanma sonunda enjektörden püskürtülen yakıt, püskürtme bitene kadar enjektörden çıkar çıkmaz sürekli yanar. Bu duruma **kontrollü yanma** denir (Şekil 5.50: C-D arası).

Yakıtın püskürtülmesi bittiği hâlde silindir içindeki yanmamış yakıtların oksijen buldukça yanmaya devam etmesine **gecikmiş yanma** denir (Şekil 5.50: D-E arası).

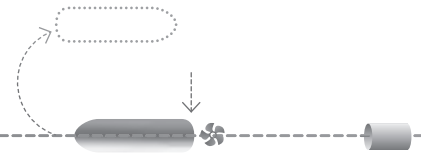


Bakımlı ve düzgün çalışan bir gemi makinesinde yakıt, olması gerektiği gibi yakılır. Yakıtın düzgün yanması yakıt tüketimi açısından önemlidir. Dize gemi makinelerinde yakıt tüketiminin hesaplanabilmesi için makineye giren yakıt miktarı ile makinenin volanından çıkan gücün bilinmesi gerekir. Birim zamanda makineye giren yakıt miktarı debimetreden, makinenin ürettiği güç ise dinamometreden okunur. Birim güç (efektif güç) elde edilebilmesi için birim zamanda kullanılan yakıt miktarına **özgül yakıt tüketimi** denir. Aşağıdaki bağıntılar kullanılarak makinenin yakıt tüketimi belirli bir zaman dilimi için hesaplanabilir.





5. Öğrenme Birimi



b_e : Özgül yakıt tüketimi (kg/kW.s)
 B : Motorun saatte tükettiği yakıt miktarı (kg/s)
 N_e : Efektif güç (kW)
 H_u : Yakıtın ısı değeri (kJ/kg)

$$b_e = \frac{B}{N_e}$$

veya

$$b_e = \frac{1}{\eta_e \cdot H_u}$$

Yakıtlar birçok özelliğe göre sınıflandırılır. Yanma için önemli özelliklerden biri de ısı değeri ve yakıtın yanma sonrası vereceği enerjiyi belirtir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: Bazı Yakıtların Yaklaşık Isıl Değerleri

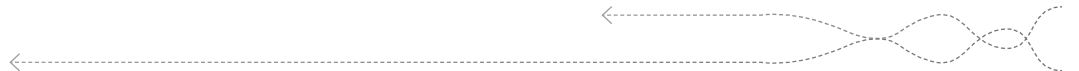
Yakıt	Isıl Değer ($H_u = \text{kJ/kg}$)
Ham petrol	38900
Motorin	42300
Marine dizel	42000
Fuel-oil	40500
Benzin	43150
Doğal gaz	34500

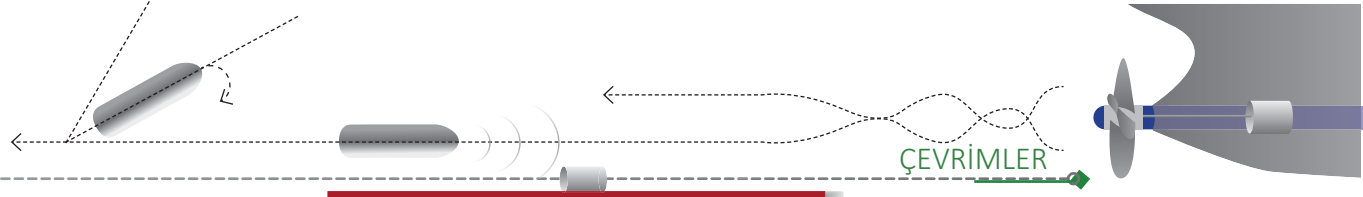
Örnek 43: Hesaplamalara göre %20 efektif verim ve marine dizel yakıtla çalışan bir makinenin özgül yakıt tüketiminin kaç g/kW.h olduğunu hesaplayınız. (Marine dizel için $H_u = 42000 \text{ kJ/kg}$)

Verilenler:	Çözüm:
$\eta_e = 0,20$	$b_e = \frac{1}{\eta_e \cdot H_u}$
3600 kJ = 1 kW.h ise	$b_e = \frac{1}{0,20 \cdot 11,66}$
$H_u = 42000 \text{ kJ/kg} = 11,66 \text{ kW.h/kg}$	$b_e = 0,43 \text{ kg/kW.h} = \mathbf{430 \text{ g/ kW.h}}$
$b_e = ? \text{ g/kW.h}$	

Örnek 44: Bir motorun belirli bir devirde, 1 saatte tükettiği benzin miktarı debimetreden 9 kg, ürettiği efektif güç miktarı ise dinamometreden 40 kW olarak okunmuştur. Bu motorun özgül yakıt tüketiminin kaç kg/kW.h olduğunu ve efektif verimini hesaplayınız. (Benzin için $H_u = 43150 \text{ kJ/kg}$)

Verilenler:	Çözüm:
$B = 9 \text{ kg/h}$	$b_e = \frac{B}{N_e}$
$N_e = 40 \text{ kW}$	$b_e = \mathbf{0,225 \text{ kg/kW.h}}$
$b_e = ? \text{ kg/kW.h}$	$H_u = 43150 \text{ kJ/kg} = 11,99 \text{ kW} \cdot \text{h/kg}$
$\eta_e = ?$	$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_u} = \frac{40}{9 \cdot 11,99} = 0,37$
	$\eta_e = \mathbf{\%37}$





duruma **valf overlap** (supa

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise (D), yanlış ise (Y) yazınız.

1. () Her yerinde aynı özelliğe sahip homojen maddelere karışım denir.
2. () Sabit sıcaklıkta, kapalı kaptaki bir gazın basıncı ile hacminin çarpımı daima sabittir.
3. () P-V diyagramı eğrisi altında kalan alan, sistem tarafından yapılan işe eşittir.
4. () Motor volanından alınan güce pervane gücü denir.
5. () Mekanik verim, efektif gücün indike güce oranıdır.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Dizel gemi makinelerinde silindir içinde yanma sonucu ortaya çıkan güce denir.
2. Silindir içerisine püskürtülen yakıtın tamamı oksijenle reaksiyona girerse bu duruma yanma denir.
3. Yakıtın enjektör tarafından püskürtülmeye başlandığı andan ilk alevin ortaya çıkmasına kadar geçen süreye denir.
4. Birim güç (efektif güç) elde etmek için birim zamanda kullanılan yakıt miktarına denir.
5. Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağı ile düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı arasında en yüksek verimle çalışan teorik ısı makinesi çevrimine denir.

C) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. SI birim sisteminde Avogadro sayısı kadar aynı tür tanecik içeren sisteme ne denir?

- A) 1 derece B) 1 kilogram C) 1 metre D) 1 mol E) 1 saniye

2. 0,5 mol Fe atomu kaç gramdır? (Fe = 56)

- B) 24 B) 26 C) 28 D) 30 E) 32

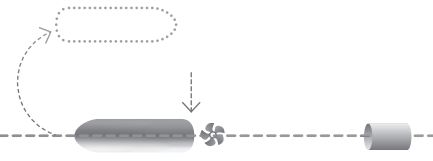
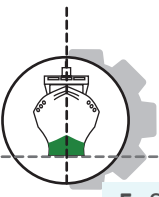
3. Sabit sıcaklıkta, hacmi değişebilen kapalı bir silindirin içinde 20 kPa basınçtaki gaz 5 m³ hacim yer kaplamaktadır. Silindirin hacmi 5 m³ arttırıldığında gazın basıncı kaç kPa olur?

- A) 5 B) 10 C) 15 D) 20 E) 25

4. Sabit basınçta, kapalı bir silindirin içinde 50 °C sıcaklıktaki gaz 5 L hacim yer kaplamaktadır. Kabin sıcaklığı 200 °C'ye çıkarıldığında gazın hacmi kaç litre olur?

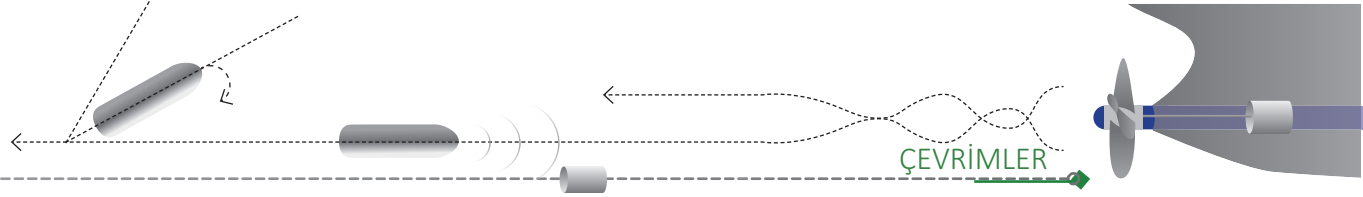
- A) 10 B) 20 C) 30 D) 40 E) 50





5. Sabit hacimli bir silindirde bulunan gazın sıcaklığı 300 K basıncı 15 kPa'dır. **Bu gazın basıncı 5 kPa artırıldığında son sıcaklık kaç Kelvin olur?**
- A) 400 B) 410 C) 420 D) 430 E) 440
6. İdeal bir gaz için çeşitli koşullarda basınç, hacim ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi inceler. **İdeal gaz kanunu aşağıdaki hangi bağıntı ile ifade edilir?**
- A) $P \cdot n = R \cdot T$ B) $P \cdot v \cdot R = m$ C) $P \cdot T = V \cdot R$
D) $P \cdot T = m \cdot R$ E) $P \cdot v = R \cdot T$
7. Kapalı silindirik bir kaptaki sıcaklığı 100 K, basıncı 287 Pa olan 2 mol hava bulunmaktadır. **Havanın hacmi kaç m³'tür? ($R_{\text{hava}} = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$)**
- A) 0,01 B) 0,05 C) 0,1 D) 0,15 E) 0,2
8. Termodinamik bir sisteme ait T-s diyagramı eğrisi altında kalan alan aşağıdakilerden hangisine eşittir?
- A) Buharlaşma B) Güç alışverişi C) Isı alışverişi
D) İş alışverişi E) Yoğuşma bölgesi
9. Bir silindirin içinde 500 kPa basıncındaki hava, 0,01 m³ hacimden 0,02 m³ hacme kadar sabit sıcaklıkta genişletilmektedir. **Havanın son basıncı kaç kPa'dır?**
- A) 210 B) 220 C) 230 D) 240 E) 250
10. Serbest hâldeki termodinamik bir sistemde düzensizliğin ölçüsüne ne ad verilir?
- A) Adyabatik B) Entalpi C) Entropi D) Hacim E) Basınç
11. Bir ısı makinesi çevrimi sırasında çevreye atılan ısı 50 kJ ve makineden elde edilen iş 150 kJ'dür. **Bu makinenin ısı verimi aşağıdakilerden hangisidir?**
- A) %55 B) %60 C) %65 D) %70 E) %75
12. Dört stroklu, 3 silindirli dizel bir motorun kurs hacmi 0,001 m³'tür. **Dakikada 1200 devir ile çalışan ve ortalama piston basıncı 1000 kPa olan bu motorun indike gücü kaç kW'dır?**
- A) 20 B) 30 C) 40 D) 50 E) 60
13. Yanma sonucu oluşan ısının yararlı işe dönüştürülme oranına ne denir?
- A) Kayıp verim B) Mekanik verim C) Pervane verimi
D) Termik verim E) Volümetrik verim





14. Doğal emişli (aşırı doldurması olmayan) bir motorda silindir içerisine alınan havanın hacminin silindir hacmine oranına ne denir?

- A) Hacimsel verim
- B) Isıl verim
- C) Mekanik verim
- D) Pervane verimi
- E) Termik verim

15. Aşağıdakilerden hangisi dizel motorlarda yanmanın oluşumu açısından doğrudur?

- A) Egzoz zamanı başlangıcında yakıt kendiliğinden yanar.
- B) Emme zamanı başlangıcında yakıt buji tarafından ateşlenerek yanar.
- C) Emme zamanı sonunda yakıt buji tarafından ateşlenerek yanar.
- D) Genleşme zamanı sonunda yakıt buji tarafından ateşlenerek yanar.
- E) Sıkıştırma zamanı sonunda yakıt kendiliğinden yanar.

16. Aşağıdakilerden hangisinde yanma aşamaları doğru sıralamayla verilmiştir?

- A) Gecikmiş yanma- Tutuşma gecikmesi- Kontrollü yanma- Kontrolsüz yanma
- B) Kontrollü yanma- Tutuşma gecikmesi- Kontrolsüz yanma- Gecikmiş yanma
- C) Kontrolsüz yanma- Kontrollü yanma- Tutuşma gecikmesi - Gecikmiş yanma
- D) Tutuşma gecikmesi- Kontrollü yanma- Gecikmiş yanma- Kontrolsüz yanma
- E) Tutuşma gecikmesi- Kontrolsüz yanma- Kontrollü yanma- Gecikmiş yanma

17. Aşağıdaki teorik çevrimlerden hangisi günümüz modern dizel motorların çalışmasına yakın bir çevrimdir?

- A) Carnot çevrimi
- B) Isı pompası çevrimi
- C) Karma çevrim
- D) Otto çevrimi
- E) Rankine çevrimi

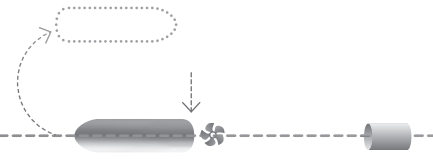
18. Termodinamikte yoğuşmanın sınırında olan buhar nasıl adlandırılır?

- A) Doymuş buhar
- B) Kızgın buhar
- C) Kuru buhar
- D) Sıkıştırılmış buhar
- E) Sıvı buhar

19. Yüksek sıcaklıktaki ortamı ısıtma amacıyla kullanılan cihazlara ne denir?

- A) Buzluk
- B) Evaporatör
- C) Genleşme valfi
- D) Isı pompası
- E) Kondenser





20. Aşağıdakilerden hangisi gemilerde yiyeceklerin saklanması, kargo alanlarının ve yaşam mahallerinin soğutulması gibi uygulamalar için kullanılan teorik çevrimlerdir?

- A) Buhar güç çevrimleri
- B) Buhar soğutma çevrimleri
- C) Dizel çevrimi
- D) Gaz güç çevrimleri
- E) Isı pompası çevrimi

21. Aşağıdakilerden hangisi soğutucu akışkanın ortama ısı vererek yoğuşmasını sağlar?

- A) Evaporatör
- B) Genleşme valfi
- C) Kondenser
- D) Pompa
- E) Türbin

22. Aşağıdakilerden hangisi soğutucu akışkanın ortamdan ısı çekerek buharlaşmasını sağlar?

- A) Evaporatör
- B) Genleşme valfi
- C) Kondenser
- D) Pompa
- E) Türbin

23. Aşağıdakilerden hangisi teorik Otto çevriminin özelliklerindendir?

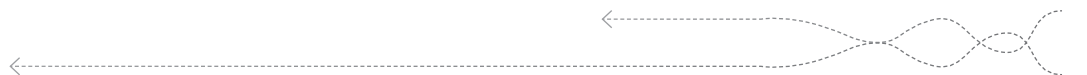
- A) Teorik Otto çevriminde ısı girişi sabit hacimde gerçekleşir.
- B) Teorik Otto çevrimi üç evreden meydana gelir.
- C) Teorik Otto çevrimi sıkıştırma ile ateşlemeli pistonlu motorlarda kullanılan çevrimdir.
- D) Teorik Otto çevrimi soğutma amaçlı kullanılan bir çevrimdir.
- E) Teorik Otto çevriminde ısı çıkışı sabit basınçta gerçekleşir.

24. Aşağıdakilerden hangisi Dizel çevriminin özelliklerindendir?

- A) Teorik Dizel çevrimi beş evreden meydana gelir.
- B) Teorik Dizel çevriminde sıkıştırma sabit hacimde gerçekleşir.
- C) Teorik Dizel çevrimi buji ateşlemeli pistonlu motorlarda kullanılan çevrimdir.
- D) Teorik Dizel çevriminde adyabatik genişleme sırasında ısı alışverişi olmaz.
- E) Teorik Dizel çevrimi buharlı güç santrallerinde kullanılan çevrimdir.

25. İki stroklu gerçek dizel motorlarda bir çevrim krankşaftın kaç turunda gerçekleşir?

- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) 5



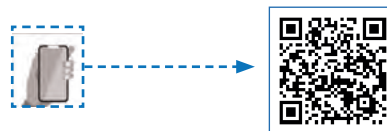
KAYNAKÇA

- Aksel ÖZTÜRK, Abdurrahman KILIÇ, Hasbi YAVUZ, *Termodinamik Isı Geçiş Tabloları*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2014.
- Ali SÜRMEK, M.İhsan KARAMANGİL, Rıdvan ARSLAN, *Motor Termodinamiği*, Aktüel 16, Bursa, 2019.
- Fahrettin KÜÇÜKŞAHİN, *Ansiklopedik Bilimsel ve Teknik Denizcilik Sözlüğü*, Akademi Denizcilik, İstanbul, 2006.
- Fahrettin KÜÇÜKŞAHİN, *Uygulamalı Termodinamik*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012.
- Ferhat SARI, *Termodinamik Tarihine Kısa Bir Bakış*, Ginko Bilim, İstanbul, 2019.
- Fevzi KÖKSAL, Rahmi KÖSEOĞLU, *Isı Termodinamik ve İstatistik Fizik*, Nobel Yayınları, Ankara, 2013.
- Francis W. SEARS, Gerhard L. SALINGER, *Termodinamik Kinetik Kuram ve İstatistik Termodinamik*, (Çev. Nuri Ünal), Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2002.
- J.L. MERIAM, L.G. KRAIGE, *Mühendislik Mekaniği Dinamik* (Çev. Paşa Yayla), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2016.
- James E. McCLELLAN III, Harold DORN, *Dünya Tarihinde Bilim ve Teknoloji*, (Çev. Haydar Yalçın), Akılçelen Kitaplar, 3. Baskı, Ankara, 2018.
- Karl F. KUHN, *Temel Fizik Herkes İçin Fizik*, (Çev. A. Güneş Tanır, Kemal Koç), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2016.
- Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, *Denizcilik Alanı Çerçeve Öğretim Programı*, Ankara, 2020.
- Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, *Mekanik ve Termodinamik-11 Ders Bilgi Formu*, Ankara, 2020.
- Onkar SINGH, *Applied Thermodynamics*, New Age International Publishers, Third Editon, New Delhi, 2009.
- R. C. HIBBELER, S.C. FAN, *Mühendislik Mekaniği Statik*, (Çev. Ayşe Soyuçok, Özgün Soyuçok), Literatür Yayınları, İstanbul, 2005.
- R.C. HIBBELER, *Mukavemet*, (Çev. Ed. Alaeddin Arpacı, Çev. Adil Yücel, Çağrı Mollamahmutoğlu, Murat Tosun, Osman Bulut, Şenol Ataoğlu), Palme Yayınevi, Ankara, 2019.
- R.C. HIBBELER, *Mühendislik Mekaniği Dinamik*, (Çev. Ayşe Soyuçok, Özgün Soyuçok), Literatür Yayınları, İstanbul, 2004.

GENEL AĞ KAYNAKÇASI

- <http://www.tubaterim.gov.tr/> (Erişim tarihi: 25.03.2021)
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/32672/mod_resource/content/0/6.%20HAFTA-HAREKET.pdf (Erişim tarihi: 22.04.2021 22.15).
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/32673/mod_resource/content/0/7.%20HAFTA-HAREKET.pdf (Erişim tarihi: 14.04.2021 17.39).
- <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 20.08.2021).
- <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Mukavemet.pdf> (Erişim tarihi: 19.05.2021 19.25).
- <https://www.tdk.gov.tr/tdk/kurumsal/yazim-kilavuzu/> (Erişim tarihi: 20.08.2021).
- <https://www.ume.tubitak.gov.tr/tr/si-birimleri> (Erişim Tarihi: 09.03.2021 19.03).

GÖRSEL KAYNAKÇASI



<http://kitap.eba.gov.tr/karekod/Kaynak.php?KOD=2707>





CEVAP ANAHTARI

1. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. D 2. Y 3. D 4. D

B.

1. statik 2. kuvvet çifti 3. mesnet 4. ağırlık merkezi 5. moment

C.

1. $M = 450 \text{ N} \cdot \text{m}$

2. $H_B = -250 \text{ N}$ $V_B = 1021,25 \text{ N}$ $V_A = 1128,75 \text{ N}$

3. $V_B = 1414 \text{ N}$

4. a) 100 cm

b) 87,5 cm

5. $X_0 = 6,396 \text{ cm}$ $Y_0 = 5,031 \text{ cm}$

6. $X_0 = 4,782 \text{ cm}$ $Y_0 = 4,543 \text{ cm}$

2. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. Y 2. D 3. Y 4. D

B.

1. periyodik (dinamik) yükler 2. emniyet katsayısının 3. akma sınırı

C.

1. E 2. D 3. E 4. D

Ç.

1. 500 daN/cm^2

2. 40 daN/cm^2

3. 250 daN/cm^2

4. $217,78 \text{ cm}$

5. $2034,72 \text{ daN}$

6. $A = 1,277 \text{ cm}^2$ ve $\tau = 2868,441 \text{ N/cm}^2$

7. $\sigma_b = 50 \text{ daN/cm}^2$ ve $F = 150 \text{ N}$

8. 90 daN/cm^2

9. $d = 5,514 \text{ cm}$

10. $F = 23680 \text{ N}$



3. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı**A.**

1. D 2. Y 3. Y 4. D 5. Y 6. D

B.

1. merkezkaç kuvvet
2. hız
3. iş
4. güç
5. kütle ve hız
6. yerden yüksekliğe
7. sürtünme kuvvetleri

C.

1. B 2. B 3. E 4. D 5. B 6. A 7. E 8. C 9. E
 10. B 11. D 12. E 13. B 14. D 15. E 16. D 17. E 18. C

4. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı**A.**

1. D 2. Y 3. D 4. D 5. Y

B.

1. kapalı 2. iş 3. basınç 4. yoğunluk 5. ısı transferi

C.

1. E 2. A 3. D 4. D 5. E 6. C 7. A 8. B 9. A 10. A

5. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı**A.**

1. Y 2. D 3. D 4. Y 5. D

B.

1. indike (iç) güç 2. tam 3. tutuşma gecikmesi 4. özgül yakıt tüketimi 5. Carnot çevrimi

C.

1. D 2. C 3. B 4. B 5. A 6. E 7. E 8. C 9. E 10. C 11. E 12. B 13. D
 14. A 15. E 16. E 17. C 18. A 19. D 20. B 21. C 22. A 23. A 24. D 25. A



TEK NUMARADA BİRLEŞTİ!



Ülkemizde farklı acil yardım çağrıları için kullanılan 7 kuruma ait acil çağrı numaralarının (İtfaiye: 110, Jandarma: 156, Polis: 155, Sağlık: 112, Orman: 177, Sahil Güvenlik: 158, AFAD: 122) tek numara (112) altında toplanması amacıyla geliştirilmiştir.