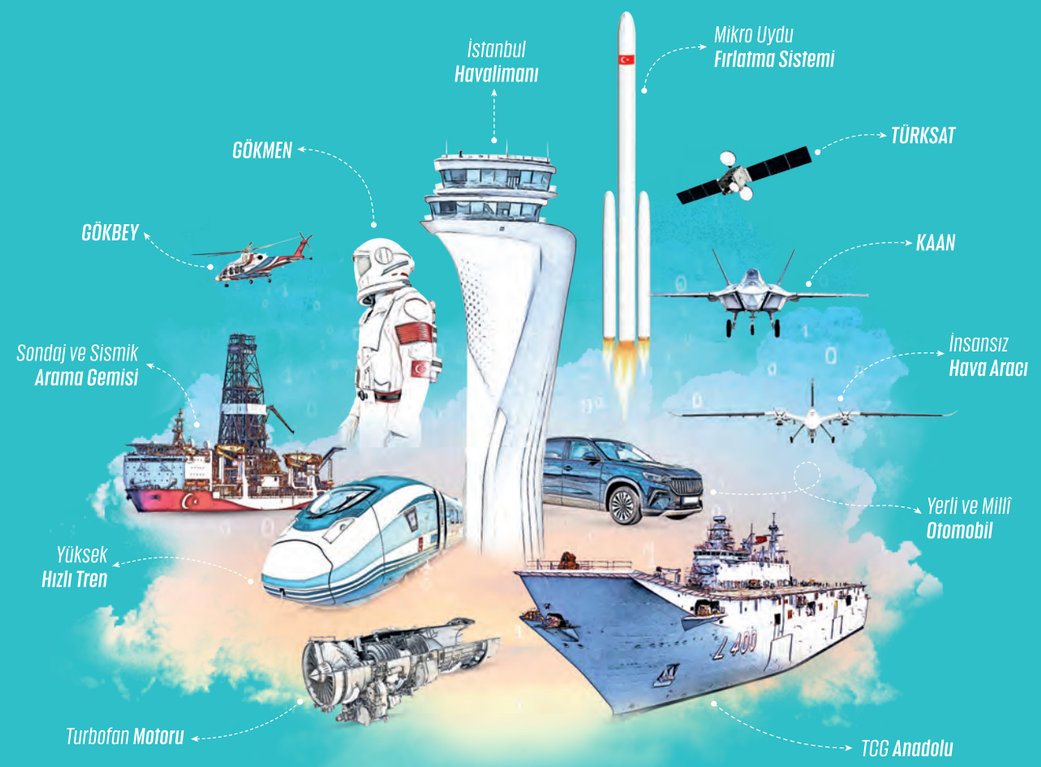
Bu kitaba sığmayan daha neler var!

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: 978-975-11-7844-2

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

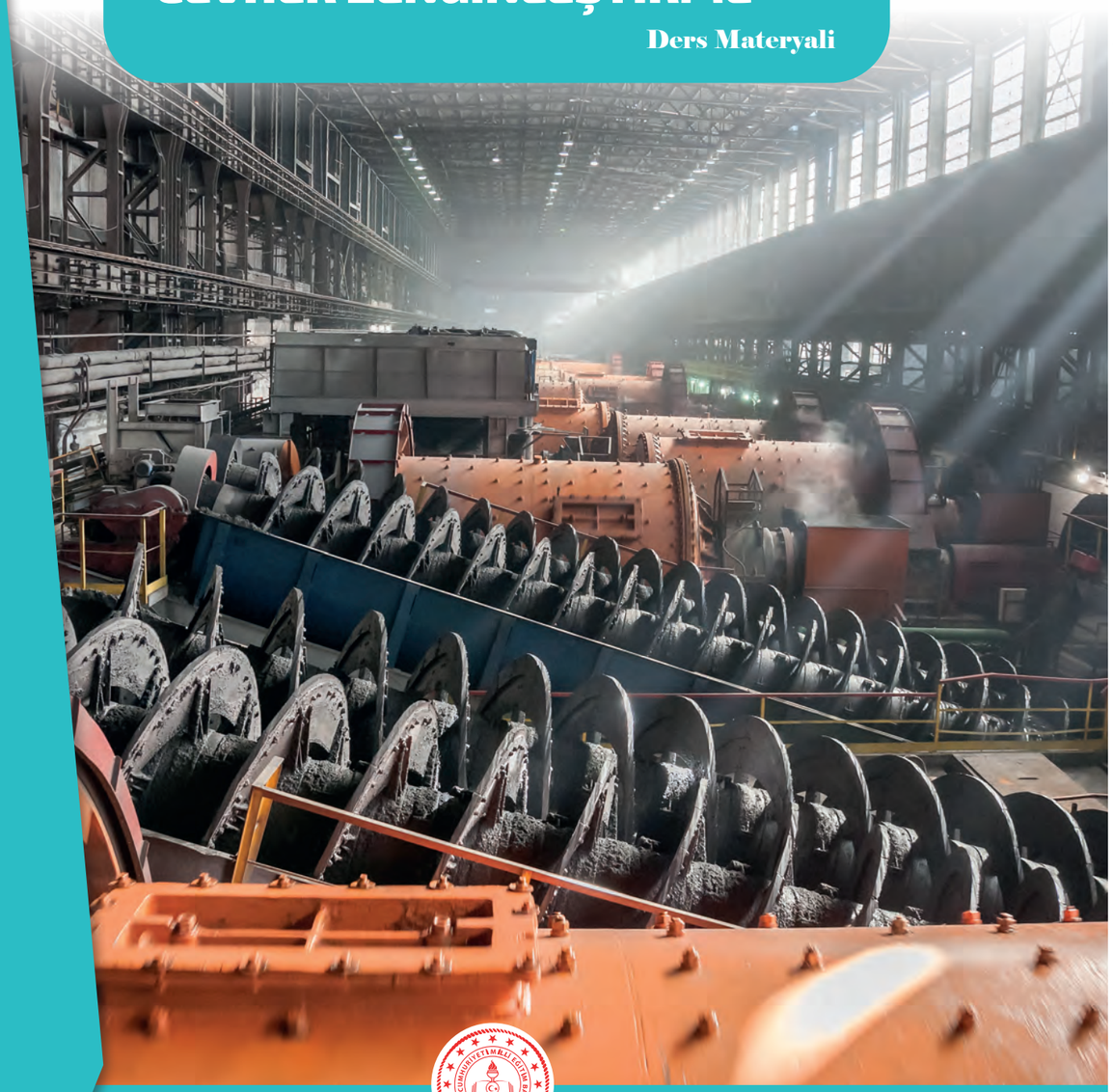
MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ **CEVHER ZENGİNLEŞTİRME 11** Ders Materyali

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

MADEN TEKNOLOJİSİ ALANI

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME 11

Ders Materyali



MEB_ 206830___CEVHER ZENGİNLEŞTİRME 11 (Maden Teknolojisi)__KAPAK.pdf__ 19,3X27,5

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

MADEN TEKNOLOJİSİ ALANI

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME

11

DERS MATERYALİ

Yazarlar

Dr. Suzan ALTIPARMAK

Ayhan MERİÇ

Hatice KOZLU

Mehmet HALAÇOĞLU

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI ..... : 9382
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAP DİZİSİ ..... :3042

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

Dil Uzmanı	Sergül TEMİR
Program Geliştirme Uzmanı	Erkan AKGÜN
Rehberlik Uzmanı	Gülşen YALIN
Ölçme ve Değerlendirme Uzmanı	Filiz İSNAÇ
Görsel Tasarım Uzmanı	Yunus YILMAZ

ISBN: 978-975-11-7844-2

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

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

İSTİKLÂL MARŞI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Mehmet Âkif Ersoy

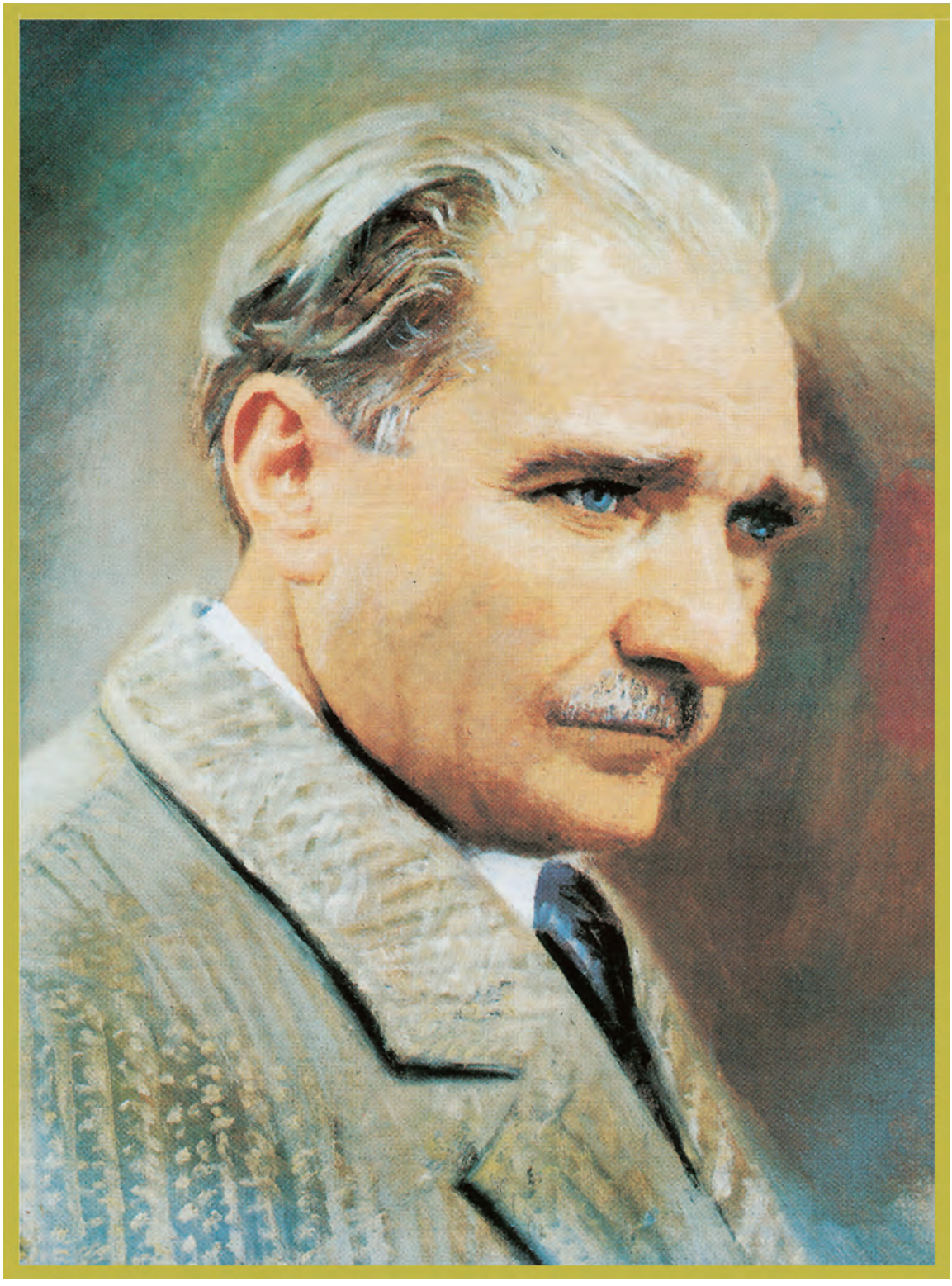
GENÇLİĞE HİTABE

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

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

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

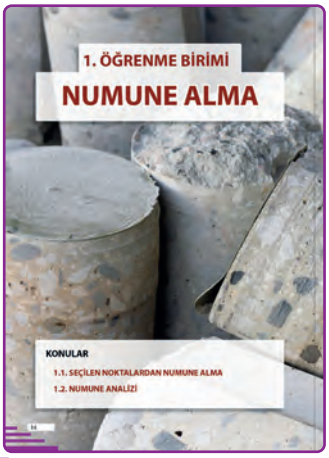
Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

DERS MATERYALİNİN TANITIMI 11
MADEN İŞLETMELERİNDE TEMEL İSG ÖNLEMLERİ 13



1.1. SEÇİLEN NOKTALARDAN NUMUNE ALMA 16
1.1.1. Numune Almanın Önemi 20
1.1.2. Madencilikte Numune Alma Yöntemleri 22
1.1.3. Numune Almada Karşılaşılabilecek Kazalara Karşı Korunma Yöntemleri 26
1.1.4. Numune Hazırlama 27
1.1.5. Örnek Azaltma Yöntemleri 28
1.1.6. Çamur Akımlarından Örnek Alma 33
1.1.7. Numune Analizinde Oluşabilecek Kazalar 34
1.2. NUMUNE ANALİZİ 36
1.2.1. Kuru Örnekleme Aygıtlarının Karşılaştırılması 36
1.2.2. Örnek Numune Neminin Hesaplanması 36
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 39

2.1. KIRMA İŞLEMİ 44
2.1.1. Kırıcı Çeşitleri 46
2.1.2. Kırma Devreleri 54
2.1.3. Cevher Öğütme İşlemi 58
2.1.4. Öğütmeye Etki Eden Parametreler 59
2.1.5. Öğütme Devreleri 60
2.1.6. Öğütmede Kullanılan Değirmenler 61
2.2. ELEME İŞLEMİ 70
2.2.1. Elek Çeşitleri 71
2.2.1.1. Sabit Elekler 71
2.2.1.2. Hareketli Elekler 71
2.2.2. Elemeyi Etkileyen Faktörler 74
2.2.2.1. Elek Altı ve Elek Üstü Ürün 76
2.2.3. Elek Verimi 78
2.2.3.1. Elemede Verimi Etkileyen Faktörler 78
2.2.4. Cevher Ayıklama (Triyaj) 80
2.2.4.1. Elle Ayıklama 80
2.2.4.2. Optik Ayırıcı İle Ayıklama 81
2.2.5. Metal Kurtarma Randımanı 82
2.2.5.1. Madde Denkliği 82
2.2.5.2. Metal Kurtarma Randımanı Hesaplanması 83
2.2.5.3. Tonaj ve Tenör Üzerinden Hesaplama 83
2.2.5.4. Tenör Üzerinden Hesaplama 84
2.2.5.5. Konsantrasyon Oranı 84
2.3. SINIFLANDIRMA 86
2.3.1. Sınıflandırma Çeşitleri 87
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 91

3.1. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME ____ **98**
3.1.1. Zenginleştirme Yöntemleri ____ 100
3.1.2. Minerallerin Fiziksel Özelliklerine Göre Zenginleştirme Yöntemleri ____ 100
3.1.2.1. Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) İle Zenginleştirme ____ 100
3.1.2.2. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme ____ 103
3.1.2.3. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme ____ 104
3.1.3. Minerallerin Kimyasal Özelliklerine Göre Zenginleştirme Yöntemleri ____ 105
3.1.3.1. Kalsinasyon ____ 105
3.1.3.2. Kavurma ____ 106
3.1.3.3. Liç ____ 106
3.1.4. Flotasyon ____ 108
3.1.4.1. Flotasyon Prensibi ____ 108
3.1.4.2. Flotasyon Kimyasalları (Reaktifleri) ____ 111
3.1.4.3. Minerallere Göre Reaktif Kullanımı ____ 115
3.1.4.4. Flotasyon Hücreleri ____ 115
3.1.4.5. Flotasyon Makineleri ____ 116
3.1.4.6. Flotasyon Devreleri ____ 119
3.2. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME SONRASI İŞLEMLER ____ **123**
3.2.1. Nihai Ürün ____ 123
3.2.1.1. Kurutma İşlemi ____ 123
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ____ **124**

4.1. PAKETLEME ____ **128**
4.1.1. Ambalaj ____ 129
4.1.2. Paketlenecek Ürünün Özellikleri ____ 130
4.1.3. Paketleme Yöntemleri ____ 130
4.1.4. Paketleme Makineleri ve Malzemeleri ____ 131
4.2. YÜKLEME / SEVKİYAT ____ **134**
4.2.1. Sevkiyat Araçları ____ 136
4.2.2. Sevkiyat ____ 139
4.2.3. Kara Yolu Taşımacılığı ____ 139
4.2.4. Taşımacılık Türleri ____ 141
4.2.5. Uluslararası Taşımacılık Terimleri (İNCOTERMS) ____ 141
4.2.6. Sevkiyat Raporları ____ 143
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ____ **144**

CEVAP ANAHTARI ---- **146**

KAYNAKÇA ---- **148**

DERS MATERYALİNİN TANITIMI

Kaçıncı öğrenme birimi olduğunu ve öğrenme biriminin adını gösterir.

Öğrenme biriminin ana konu başlıklarını gösterir.

Öğrenme biriminde neler öğrenileceğini gösterir.

Öğrenme biriminin karekodudur.

Kaçıncı öğrenme birimi olduğunu ve öğrenme biriminin adını gösterir.

Öğrenme biriminin ana başlıklarını gösterir.

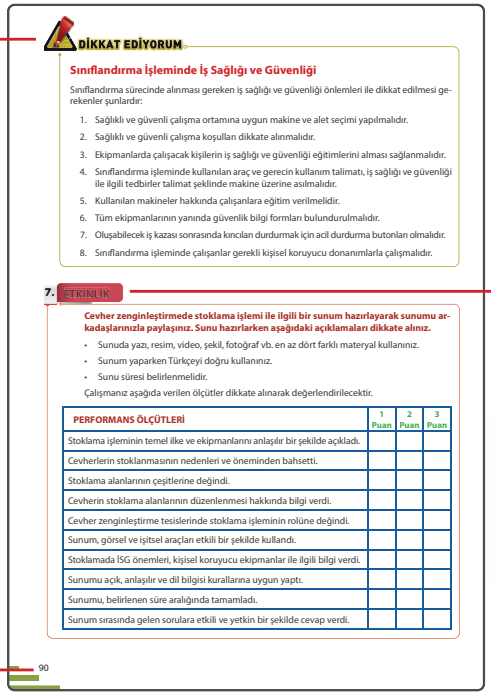
Öğrencilerin hazır bulunuşluk seviyelerinin ölçüldüğü bölümdür.

DERS MATERYALİNİN TANITIMI

Konunun işlenmesi veya uygulanması sırasında uyulması gereken İSG kuralları ve uyarılarının verildiği bölümdür.

Sayfa numarasını gösterir.

Kazanımların pekiştirilebilmesi için etkin katılımlı uygulamaları gösterir.



DİKKAT EDİYORUM

Sınıflandırma İşleminde İş Sağlığı ve Güvenliği

Sınıflandırma sürecinde alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

1. Sağlıklı ve güvenli çalışma ortamına uygun makine ve alet seçimi yapılmalıdır.
2. Sağlıklı ve güvenli çalışma koşulları dikkate alınmalıdır.
3. Ekipmanlarda çalışacak kişilerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini alması sağlanmalıdır.
4. Sınıflandırma işleminde kullanılan araç ve gerecin kullanım talimatı, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirler talimat şeklinde makine üzerine asılmalıdır.
5. Kullanılan makineler hakkında çalışanlara eğitim verilmelidir.
6. Tüm ekipmanlarının yanında güvenlik bilgi formları bulundurulmalıdır.
7. Oluşabilecek iş kazası sonrasında kıncıları durdurmak için acil durdurma butonları olmalıdır.
8. Sınıflandırma işleminde çalışanlar gerekli kişisel koruyucu donanımlarla çalışmalıdır.

7. ETKİNLİK

Cevher zenginleştirmede stoklama işlemi ile ilgili bir sunum hazırlayarak sunumu arkadaşlarınızla paylaşınız. Sunu hazırlarken aşağıdaki açıklamaları dikkate alınız.

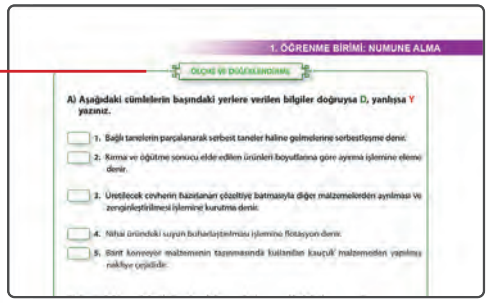
- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunu süresi belirlenmelidir.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Stoklama işleminin temel ilke ve ekipmanlarını anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Cevherlerin stoklanmasının nedenleri ve öneminden bahsetti.			
Stoklama alanlarının çeşitlerine değindi.			
Cevherin stoklama alanlarının düzenlenmesi hakkında bilgi verdi.			
Cevher zenginleştirme tesislerinde stoklama işleminin rolüne değindi.			
Sunum, görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Stoklamada İSG önemleri, kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

90

Öğrenme birimi sonunda verilen ölçme ve değerlendirme sorularının yer aldığı bölümdür.



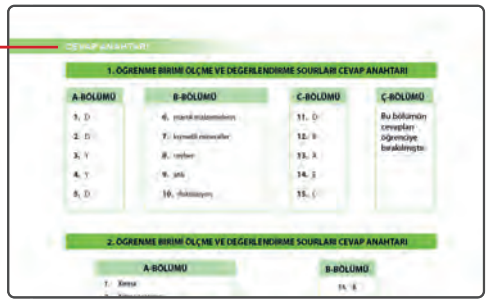
1. ÖĞRENME BİRİMİ: NUMUNE ALMA

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başındaki yerlere verilen bilgiler doğruysa D, yanlışsa Y yazınız.

1. Bağlı tanelerin parçalanarak serbest taneler haline gelmelerine serbestleşme denir.
2. Kırma ve öğütme sonucu elde edilen ürünleri boyutlarına göre ayırma işlemine eleme denir.
3. Üretilecek cevherin hazırlanan çözeltiye batmasıyla diğer malzemelerden ayrılması ve zenginleştirilmesi işlemine kurutma denir.
4. Nihai üründeki suyun buharlaştırılması işlemine flotasyon denir.
5. Bant konveyör malzemenin taşınmasında kullanılan kauçuk malzemeden yapılmış rakliye çeşididir.

Cevap anahtarlarının verildiği bölümdür.



1. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

A-BÖLÜMÜ	B-BÖLÜMÜ	C-BÖLÜMÜ	Ç-BÖLÜMÜ
1. D	6.	11. D	Bu bölümün cevapları öğrenciye bırakılmıştır.
2. D	7.	12. B	
3. Y	8.	13. A	
4. Y	9.	14. E	
5. D	10.	15. C	

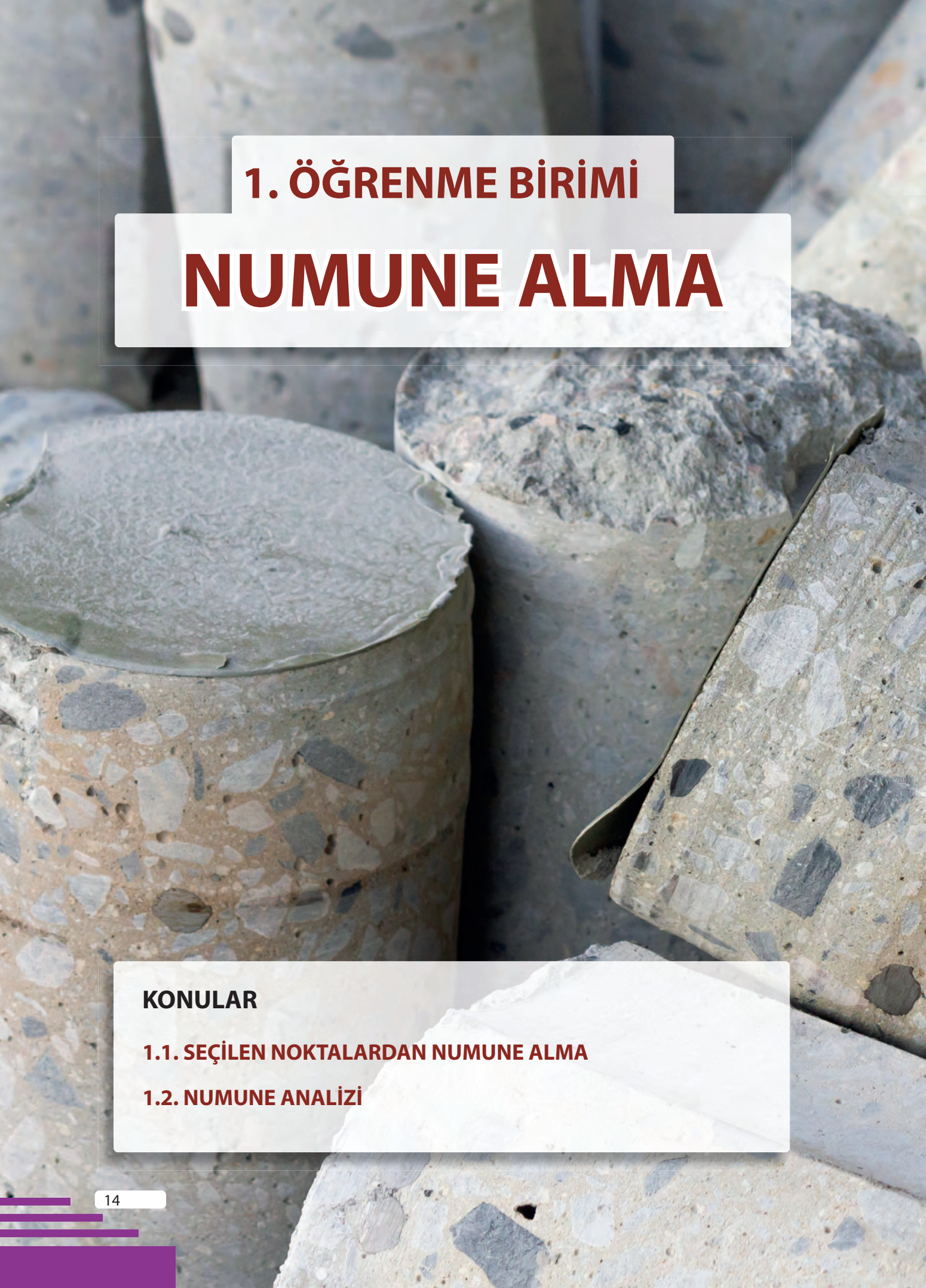
2. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

A-BÖLÜMÜ	B-BÖLÜMÜ
1. Kırma	14. E

Madencilik, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na (iSG) göre çok tehlikeli sınıfında yer alır.

MADEN İŞLETMELERİNDE TEMEL İSG ÖNLEMLERİ

- Çalışanların "Ağır ve tehlikeli işlerde çalışabilir." sağlık raporları olmalıdır.
- Gürültülü ortamlarda çalışan işçilerin işitme testleri yapılmalıdır.
- Çalışanlara yıllık iş güvenliği eğitimi verilmelidir.
- İş yerinde yapılan çalışmalarla ilgili yazılı talimatlar olmalıdır.
- Çalışma ortamı ile ilgili risk analizi yapılmalıdır.
- İşçilere kişisel koruyucu donanım (baret, emniyet kemeri, toz maskesi, kulaklık vb.) verilmelidir.
- Çalışma ortamında düzenli toz ve gürültü ölçümü yapılarak kayıt tutulmalıdır.
- Kullanılan kimyasalların malzeme güvenlik formları bulunmalıdır.
- İletişim, uyarı ve alarm sistemleri ile uyarı levhaları ve güvenlik işaretleri bulunmalıdır.
- Çalışma ortamı yeterli düzeyde aydınlatılmalıdır.
- Çalışma ortamındaki en riskli alanlar için ayrıca güvenlik önlemleri alınmalıdır.
- Acil durumlar için tahliye eylem planı yapılmalıdır.
- Patlama ve çökme riskine karşı çalışanlar için sığınma odaları oluşturulmalıdır.
- Yangın tehlikesine karşı yeterli önlemler alınmalıdır.
- Havalandırma sistemleri yeterli düzeyde olmalıdır.
- İş makinelerinin bakımı düzenli olarak yapılmalıdır.
- İlk yardım eğitimi almış bir ekip ve ilk yardım malzemeleri bulundurulmalıdır.
- Hijyen ve temizlik şartları yeterli düzeyde olmalıdır.
- Elektrik kabloları ve elektrikle çalışan teçhizatların güvenliği sağlanmalıdır.



1. ÖĞRENME BİRİMİ

NUMUNE ALMA

KONULAR

1.1. SEÇİLEN NOKTALARDAN NUMUNE ALMA

1.2. NUMUNE ANALİZİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- İş sağlığı ve güvenliğine dikkat ederek seçilen noktalardan uygun yöntem ve araç gereçle numune alma işlemi
- İş sağlığı ve güvenliğine dikkat ederek seçilen noktalardan uygun yöntem ve araç gereçle numune analizi yapma

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Cevherlerin yer altında başlayan macerası sizce nasıl devam eder? Arkadaşlarınızla değerlendiriniz.

1.1. SEÇİLEN NOKTALARDAN NUMUNE ALMA

Bir cevherdeki çeşitli minerallerin kimyasal yapılarını bozmadan, endüstrinin ihtiyacı olan en uygun ham madde hâline getirmeye ve ekonomik değer taşıyan minerallerin, ekonomik değeri olmayan minerallerden ayrılma işlemlerinin bütününe **cevher hazırlama** ya da **cevher zenginleştirme** denir. Cevher zenginleştirmenin amacı değerli minerallerin ham cevherden ayrılmasını sağlamaktır. Bir cevherin endüstride kullanılabilmesi için kullanım alanlarının farklılığına göre bazı şartlar aranır. Cevher hazırlama yöntemleriyle sağlanabilen bu şartlardan başlıcaları şunlardır:

- Cevherin tane büyüklüklerinin aynı boyutta olması
- Cevherin içerdiği değerli element veya değerli mineral oranının belirli bir yüzdenin üstünde olması
- Cevherin içerdiği değersiz element veya değersiz mineral yüzdesinin belirli bir yüzdenin altında olması

Bu şartlar cevher hazırlama yöntemleriyle sağlanabilmektedir. Tane boyutlarının istenen büyüklükte olması için bazı yöntemler uygulanır (Görsel 1.1).

Bu yöntemler; boyut küçültme (kırma, öğütme), boyuta göre sınıflandırmadır (eleme, sınıflama). Kıymetli element yüzdesinin yükseltilmesi ve değersiz element yüzdesinin azaltılması, cevherdeki artık malzemelerin atılmasıyla sağlanır. Artık malzemenin atılmasıyla geriye kalan kısım, kıymetli mineral yönünden zenginleşeceğinden bu yönteme **cevher zenginleştirme yöntemi** denir.

Görsel 1.1: Boyut küçültülerek alınan numuneler

Mineral

Doğal şekilde oluşan, homojen, belirli kimyasal bileşime sahip, inorganik, kristalleşmiş katı bir maddedir (Görsel 1.2, 1.3). Mineraller belirli bir kimyasal bileşimdir. Yer kabuğunda bulunan petrol, kömür, fosil ve reçine gibi maddeler minerolojinin kapsamına girmezken nadir de olsa kehribar gibi organik mineraller de mevcuttur. Minerallerin **cıva** gibi sıvı olan tipleri de vardır.

Cevher hazırlama yönünden mineraller kıymetli ve kıymetsiz olarak sınıflandırılır.

a) Kıymetli Mineraller: Endüstride ham madde olarak kullanılır ve ekonomik değer taşırlar.

b) Kıymetsiz Mineraller: Ekonomik değer taşımazlar ve kısaca **gang mineralleri** diye tanımlanır.

Görsel 1.2: Mineral

Görsel 1.3: Sülfadik bakır-nikel cevheri ile serpiştirilmiş granit

Cevher

Yer kabuğunda iç ve dış doğal etkenlerle oluşan, ekonomik yönden değer taşıyan bir veya birden çok mineralden oluşan kayaçlardır (Görsel 1.4, 1.5). Her mineral, cevher değeri taşımaz. Bir mineralin cevher değeri taşıması için piyasa şartları gibi birtakım ekonomik etkenlerce belirlenen tenör (saflık değeri) değerlerine sahip olması gerekir.

a) Tüvenan Cevher: Yer kabuğundan çıkarılmış fakat üzerinde hiçbir işlem yapılmamış kıymetli ve kıymetsiz mineraller karışımıdır.

b) Konsantre Cevher: Cevher hazırlama (zenginleştirme) işlemlerinden sonra elde edilen belirlenen yüzdenin üzerinde kıymetli mineral içeren üründür.

c) Artık: Bir zenginleştirme işlemi sonucu elde edilen, çoğunlukla değersiz element ya da değersiz mineralleri içeren üründür (Görsel 1.6).

Görsel 1.4: İşlenmemiş demir cevheri

Görsel 1.5: İşlenmiş demir cevheri

Görsel 1.6: Artık

Tenör

Tüvenan cevher, konsantre veya bir artıkta bulunan kıymetli element, mineral veya bileşik yüzdesine denir (Görsel 1.7).

Konsantre Verimi (Randıman): Bir ayırma işlemi sonucu elde edilen konsantre ürün ağırlığının ayırmaya giren tüvenan cevherin ağırlığına oranıdır.

Kıymetli Element Verimi (Randıman): Bir ayırma işlemi sonucu elde edilen üründeki kıymetli element ağırlığının, tüvenan cevherdeki kıymetli element ağırlığına oranıdır.

Zenginleştirme: Cevheri oluşturan değerli ve değersiz minerallerin birbirinden ayrılması işlemidir (Görsel 1.8).

Çözeltme: Cevher hâlindeki ürünün değerli elementlerinin sıvı bir alanda çözeltilmesidir (Görsel 1.9).

Sıvı Ayırımı: Sıvı çözelti içinde sıvı kısmın katı kısımdan ayrılması işlemidir.

Flokülasyon: Sıvı bir çözelti içerisinde birbirinden ayrı duran ince taneciklerin bir araya getirilmesi işlemidir.

Serbest Tane: Tek bir mineral veya mineral grubundan oluşan tanelere denir.

Bağlı Tane (Bileşik Tane): Birbirinden ayrılması istenen değerli ve değersiz minerallerin bir arada bulundukları taneleridir (Görsel 1.10).

Serbestleşme: Bağlı tanelerin parçalanarak serbest taneler hâline gelmeleridir.

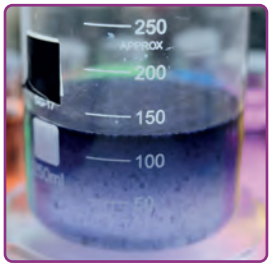
Kırma: Tane boyutunu küçültmek için uygulanan işlemlerdir (Görsel 1.11). 10 cm'den iri ise **iri kırma,** 10-0,5 cm ise **ince kırma** denir.

Öğütme: Tane boyutunun küçültülerek 10 mm'nin altına indirilmesidir (Görsel 1.12). 25-1 mm ise **iri öğütme**, 1 mm-1 mikron ise **ince öğütme** denir.

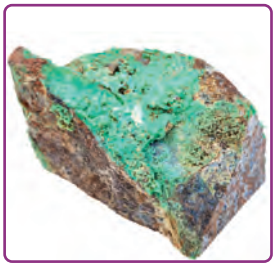
Eleme: Kırma ve öğütme sonucu elde edilen ürünleri boyutlarına göre ayırma işlemidir (Görsel 1.13).

Görsel 1.7: Krom tenörü

Görsel 1.8: Zenginleştirme işlemi



Görsel 1.9: Çözeltme



Görsel 1.10: Bağlı tane, nikel cevheri

Görsel 1.11: Kırılan cevher

Görsel 1.12: Öğütülmüş demir cevheri

Görsel 1.13: Maden eleği

Klasifikasyon: Farklı şekilli, farklı tane boyutlu ve yoğunluktaki tanelerin durgun ya da hareketli akışkan bir ortam içinde çöktürülmesi işlemidir (Görsel 1.14).

Flotasyon: Üretilecek cevherin hazırlanan çözeltiye batmasıyla diğer malzemelerden ayrılması ve zenginleştirilmesi işlemidir (Görsel 1.15).

Triyaj: İri taneli ya da ufalanmış cevherde farklı ağırlıkta, farklı renkteki minerallerin çeşitli yöntemlerle ayrılmasıdır (Görsel 1.16).

Sedimentasyon: Katı taneciklerin çözdürülerek koyu bulamaç hâline getirilmesi işlemidir (Görsel 1.17).

Kurutma: Nihai üründeki suyun buharlaştırılması işlemidir (Görsel 1.18).

Aglomerasyon: Küçük katı parçacıkların bir araya getirilerek sıkılaştırılması işlemidir (Görsel 1.19).

Peletleme: Küçük katı parçacıkların diğer küçük parçacıklar üzerinde yuvarlanarak büyüyüp bir araya getirilmesi ile oluşturulan aglomerasyon işlemidir (Görsel 1.20).

Sinterleme: İnce tanelerin belirli sıcaklıkta bir araya getirilerek yapılan aglomerasyon oluşturma işlemidir (Görsel 1.21).

Elevatör: İri ya da ince taneli malzeme taşınmasında kullanılan kepçeli bir sistemdir (Görsel 1.22).

Bant konveyör: Malzemenin taşınmasında kullanılan kauçuk malzemeden yapılmış nakliye çeşididir (Görsel 1.23).

Silo: Madenin geçici depolanması için kurulan kapalı tesistir (Görsel 1.24).

Görsel 1.24: Silo

Görsel 1.14: Klasifikasyon

Görsel 1.15: Flotasyon

Görsel 1.16: Triyaj

Görsel 1.17: Sedimentasyon

Görsel 1.18: Kurutma

Görsel 1.19: Aglomerasyon

Görsel 1.20: Paletleme

Görsel 1.21: Sinterleme

Görsel 1.22: Elavatör

Görsel 1.23: Bant konveyör

1.1.1. Numune Almanın Önemi

Teknik olarak her alanda bir bütünün herhangi bir özelliğini ölçmek için tamamını analiz etmek zor, tehlikeli ve pahalıdır. Bu sebeple numune işlemi analiz kütleyi temsil eden parçalar üzerinde yapılır (Görsel 1.25). Numune örneklerinin sağlıklı sonuç vermesi için hata oranının düşük olması çok önemlidir. Alınan numunenin hatalı olması, sonucun da hatalı olmasına neden olur.

Cevherden örnek alınması, cevherin özelliklerinin saptanmasında kullanılmak üzere temsilî bir kısmının alınması demektir. Cevher farklı fiziksel ve kimyasal özellikte, farklı şekil ve boyutta parçalardan oluşur. Alınan örneğin cevheri temsil edebilmesi için cevherin farklı alanlarından belirli sayıda alınması gerekir.

Görsel 1.25: Alınan numunenin incelenmesi

Bir maden yatağı veya cevher zenginleştirme tesisinde üretilen ürün ve artıklardan örnek alınması için üç neden vardır.

1. Madencilik faaliyetleri başlamadan önce uygun cevher hazırlama sürecini ve tesisin akım şemasını tasarlamak.
2. Cevherin üretildiği maden ocağında, cevher hazırlama tesisine beslenecek cevher özelliklerinin tutarlı ve sürekli olmasını sağlamak.
3. Tesiste elde edilen ürünlerin özelliklerini saptamak.

DİKKAT EDİYORUM

Numune alma işlemi yapılırken iş verimi ve çalışan sağlığının güvenli olması için dikkat edilmesi gereken maddeler şunlardır:

1. Numune alacak çalışanların alanında bilgi sahibi olması iş sağlığı ve güvenliği alanında eğitim almış olması gerekir.
2. Çalışan, numune almak için kullanacağı araç ve gerecin tehlikelerini bilmelidir.
3. Numune alma ortamında iş kazası oluşmaması için ortamın düzeni sağlanmalıdır.
4. Araç ve gerecin kullanım talimatları üzerinde asılı olmalıdır.
5. Numune alınırken ortamda toz oluşabilecek bir durum varsa toz oluşumunu önleyici havalandırma yapılmalıdır.
6. Numune alacak çalışanlar gerekli kişisel koruyucu donanımlarını takarak işlem yapmalıdır. Kişisel koruyucu donanımlar ham maddenin işlevine uygun ve oluşabilecek zararları önleyecek nitelikte seçilmelidir (koruyucu maske, koruyucu ayakkabı, koruyucu gözlük…).
7. Ham madde, ağırlığı standartların üzerinde ise gerekli iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri alınarak taşınmalıdır.
8. Numune alma sonrasında ortamın düzeni sağlanmalıdır.
9. Numune alma yerinde zemin kaygan ya da tozlu ise kaymaya karşı tedbirler alınmalıdır.
10. İşlem sırasında kişiler arasında iletişim sağlanmalıdır.

Numune

Hedeflenen kütlenin herhangi bir özelliğini tayin etmek için alınan ve analize tabi tutulan kütlenin bir bölümüne **numune** denir (Görsel 1.26, 1.27).

Çok farklı amaçlar ve farklı deneyler için numune alınması gerektiğinden numunelerin toplanması ile ilgili bütün işlemleri genel terimlerle ifade etmek mümkün değildir. Numune almanın amacı analizi yapılacak su, toprak, atık veya hava kütlesinin küçük bir hacimde temsil edilmesidir. Bu nedenle alınan numunede de aynı özelliklerin olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca numune laboratuvara kolayca taşınabilecek miktarda olmalı ve testten önce bileşimi bozulmayacak şekilde laboratuvara getirilmelidir.

Görsel 1.26: Bakır cevheri numunesi

Görsel 1.27: Asbest cevheri numunesi

Temsilî Numune

Bir numunenin analiz edilmesi ile elde edilen sonuç kütleyi yansıtacaksa o numune kütlenin temsilî numunesi olur. Temsilî numune sonucu, bütün kütle analiz edildiğinde bulunacak sonuca eşittir.

Numune Alma Sistemi (Frame): Numuneyi meydana getiren ürünlerin nasıl alınacağını açıklayan yönergelerden meydana gelmektedir. En bilineni karelaj sistemidir. Örneğin bir konsantre yığınından karelaj sistemine göre kütlenin belirli yerlerine açılan sondaj deliklerinden alınan örneklerin birleştirilmesiyle temsilî ana numune alınmış olur.

Random Numune Alma: Ürünü meydana getiren bütün örneklerin numuneye seçilme şansları eşit olacak şekilde numune alınmasıdır.

Sistematik Numune Alma: Sistematik usulde numune belirli bir periyoda göre alınır. Örneğin bir nakliye sırasında her 20. aracın numuneye ayrılması gibi... Numune alma periyodu ve cevher özelliğinin değişme periyodu arasında bir ilişki olmadığı takdirde sistematik alınan numuneler çok doğru sonuçlar verir.

Gruplandırarak Numune Alma: Önce cevher yığını küçük gruplara ayrılır. Grupların özelliklerinin çakışmadığı düşünülür. Hepsinin birleşiminin ana yığının özelliğini meydana getirdiği temsilî kabul edilir. Her gruptan alınan numunelerle yapılan tahlillerden ana yığının özelliği hakkında bir sonuç üretilir. Grup özelliği yığın özelliğinden daha homojen ise gruplandırarak alınan numuneler, basitçe alınan numuneden daha doğru sonuç verir. Sık sık uygulanan gruplandırma yöntemlerinden biri, cevheri elemek suretiyle belirli tane boyutlarına ayırmaktır.

Numune alımı birçok farklı amaçla ve farklı alanlarda yapılacak çalışmalar için ön bilgi oluşturur. Madecilikte de numune alma oldukça önemli bir konudur. Bir maden yatağının işletilmeye açılabilmesi için tespit edilen cevherle ilgili detaylı bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Maden miktarı, tenör oranı, boyutu ve geometrik yayılım şeklinin tespit edilmesi için maden yatağının detaylı şekilde araştırılması önemlidir. Bu amaçla maden yatağının özelliklerinin belirlenmesi için numune alınır. Numune alma yöntemleri madenlerin özelliklerine göre farklılık gösterir.

1.1.2. Madencilikte Numune Alma Yöntemleri

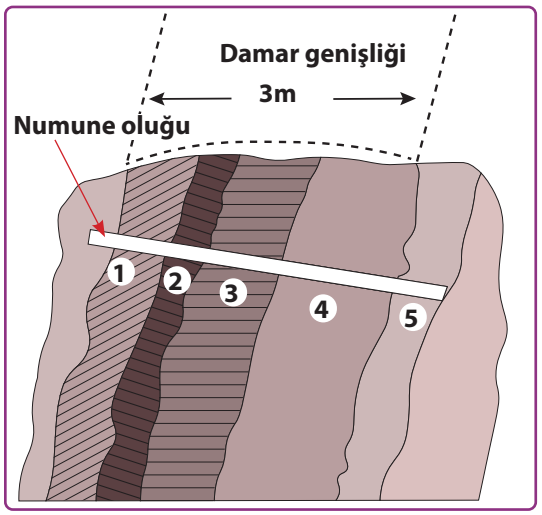
Cevher kütlesinden numune alma işlemi maden yatağının türüne, alınacak numune sayısına, cevher yatağının geometrik yayılımına göre farklılık gösterir. Maden yatağının işletilmeye açılabilmesi için cevher kütlesinin özelliklerine göre en uygun numune alma yönteminin tespit edilmesi gerekir. Numuneler; cevher kütlesinin yüzeydeki mostralarından, galeri ve kuyu gibi madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü kesimlerden veya yarmalar ile sondaj karotlarından alınır.

Başlıca numune alım yöntemleri şunlardır:

- Oluk numunesi
- Parça veya derleme numuneleri
- Yığın ve hacim numunesi
- Yarma numunesi
- Stok numunesi
- Sondaj karotu ve kırıntılarına ait numuneler
- Plaser ve kalıntı yataklarına ait numuneler
- Konsantrasyon tesisinden alınan numuneler

Oluk Yöntemi Numune Alımı

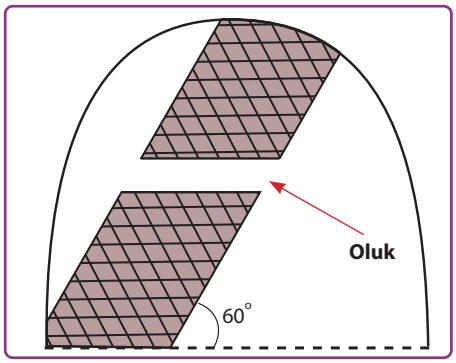
Yer üstünde ya da yer altında tespit edilen cevher kütlesinin doğrultusuna göre kanal şeklinde dik kazılarak numune alınmasına **oluk yöntemi ile numune alma** denir (Şekil 1.1). Bu yöntemde numune alım yerinin düzgün bir şekilde işaretlenmesi çalışma düzeni ve numune alma işlemi açısından önemlidir. Cevher kütlesinden alınan numunelerin yüzeyi toz, çözünür tuz ve çamurlu sıvılardan arındırılmalıdır. Oluk yöntemi ile numune almada olukların açılımı belirli bir sisteme göre yapılır. Oluklar arasında mesafe cevher yatağını temsil edecek şekilde belirlenir.



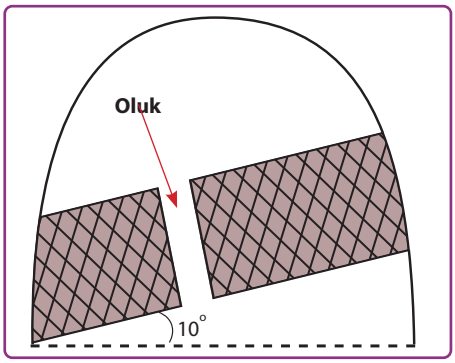
Şekil 1.1: Oluk yöntemi ile numune alma

Bu durum numune alınan cevherin özellikleri hakkında daha net bilgi vermesi açısından önemlidir. Cevher kütlesinin homojen dağılım gösterdiği yerlerde oluklar arası mesafe 5-10 metreyken heterojen dağılım gösteren maden kütlelerinde bu mesafe 0,5-5 metredir.

Cevher kütlesinin konumu ve diğer özelliklerine göre iki farklı oluk açma yöntemi uygulanır. Cevher damarının eğimi fazla ise **yatay oluk yöntemi**, eğim az ise **dikey oluk yöntemi** uygulanır (Şekil 1.2 ve 1.3).



Şekil 1.2: Yatay oluk yöntemi



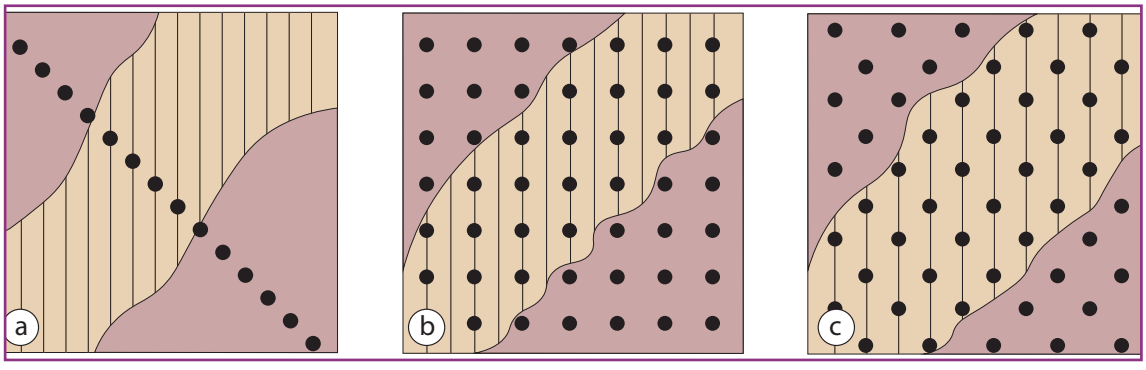
Şekil 1.3: Dikey oluk yöntemi

Oluk yöntemi ile numune alma işleminde sert cevher kütlesinde numune alımı daha az iken cevher kütlesinin yumuşak olduğu yerlerde daha fazla numune alınabilmektedir. Bu durum alınan numunelerin cevher yatağıyla ilgili doğru bilgi vermelerini engeller. Ayrıca oluk numune yönteminin uygulanması zaman alıcıdır. Ancak bu olumsuz özelliklerine rağmen birçok farklı türdeki cevherlerin tenörlerinin hesaplanmasında kullanılabilmeleri nedeniyle günümüzde en sık kullanılan yöntemlerden biridir.

Parça ve Derleme Numuneleri

Oluk açılmanın zor olduğu sert cevher kütlelerinde bu yöntem kullanılır. Parça ve derleme yöntemi özellikle homojen yapılı cevher yataklarında tercih edilir. Oluk alma yöntemine göre uygulanması daha kolaydır. Alınan numuneler eşit boyutlu küçük parçaları kapsar. Numuneler cevherlemenin karakterine göre rastgele numuneler, nokta numuneler, alan numuneleri şeklinde derlenir (Şekil 1.4).

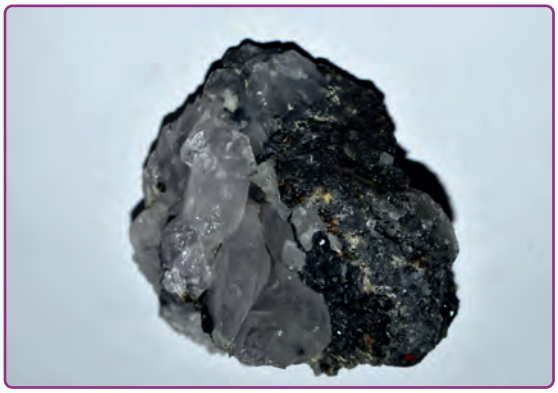
Rastgele numuneler, mostra yüzeyinden rastgele alınır. Bu şekilde numune alımı zaman tasarrufu sağlar ve ekonomiktir ancak cevher yatağını temsil hassasiyeti düşüktür. Nokta numuneleri ise cevherin türüne bağlı olarak belirli bir sistem çerçevesinde alınır. Bunun için mostra yüzeyi önce 0,5 veya 1m^2 lik yüzeyler verecek şekilde bölünür. Numune alım aralığı, yatak şekline ve benzer kökenli minerallerin bulunmasına bağlı olarak seçilir. Derleme yöntemi numune alımı hızlı ve kolaydır. Ancak alınan numunelerin cevher kütlesini temsil etmesi açısından güvenilirliği oldukça düşüktür. Bu nedenle farklı yöntemlerle alınan numune sonuçlarının karşılaştırılması daha doğru bilgiler verir.



Şekil 1.4: Nokta (a) ve alan (b, c) numune alım yöntemleri

Yığın veya Hacim Numunesi

Bu yöntemde, maden ocağı ya da yarmadan çıkarılan cevherlerin yığınlarından düzenli aralıklarla sistematik bir şekilde numune alınır. Maden yatağının işletilmesi sırasında numune alımı yapılır. Sistematik şekilde alınan numuneler azaltılarak temsilî hâle getirilir (Görsel 1.28).



Görsel 1.28: Çinko cevheri numunesi

Yarmalardan Numune Alımı

Cevher kütlesinin eğim yönüne göre yarmalar, mostralar üzerinden numune alma yöntemidir. Cevher kütlesinin yayılım şekli ve cevher minerallerinin çeşitliliği, yarma sıklığını ve numune miktarını belirler. Cevher kütlesinin homojen olduğu yerlerde daha geniş mesafelere yarmalar açılır. Heterojen yapılı cevher kütlelerinde ise açılan yarmalar daha sık aralıklıdır. Numune alınan cevher kütlesinin temizlenmiş olmasına dikkat edilir. Numuneler yatağın oluşum şekli ve oksidasyon durumuna göre oluk, kırıntı veya parça şeklinde olabilir.

Stoklardan Numune Alma

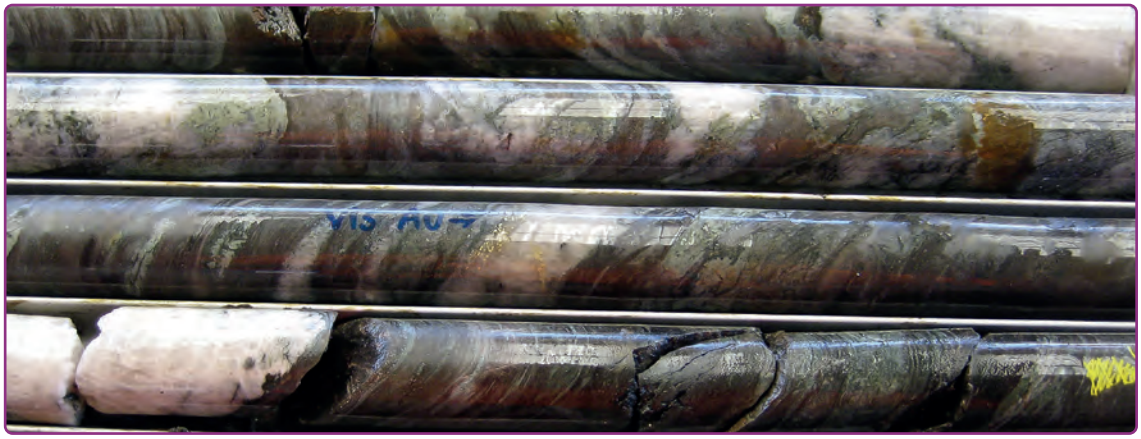
Bu yöntemde cevher stoklarından numune alınır. Farklı boyuttaki cevher parçaları döküm noktasından itibaren mekanik bir ayrılmaya uğrar. Bu durum numune alım işlemini olumsuz etkiler. Cevher parçalarının stoklarda yığışımı düzensiz olduğundan doğru bilgi verilmesini engellemektedir. Diğer yöntemlerle alınan numuneler ile karşılaştırılması yöntemin güvenilirliğini arttırır (Görsel 1.29). Hızlı, kolay uygulanan ve maliyeti düşük bir yöntemdir.

Görsel 1.29: İri ve küçük cevher tanelerinin dökümlerdeki temsilî dağılımı

Sondajlardan Numune Alımı

Sondaj işlemi ile yeraltında bulunan cevher kütlelerinden numune alınır. Sondajlardan alınan numuneler; cevher kalitesinin ve cevher kütlesinin belirlenmesi, maden yatağının boyutu ve dağılımının belirlenmesi hakkında bilgi verir. Karot ile alınan numunelerin güvenilirliği oldukça yüksektir (Görsel 1.30, 1.31). Sondaj işlemlerinde numune alma maden yatağının geometrik şekline, cevher mineralinin dağılımına ve araştırmanın amacına uygun olarak belirlenir.

Görsel 1.30: Karot alma işlemi



Görsel 1.31: Karot yöntemiyle alınan numuneler

Plaser ve Kalıntı Yataklardan Numune Alımı

Plaser maden yatakları gevşek malzemeden oluşur. Bu yataklardan numune alımının amacı maden yatağının kalitesini, yatağın yayılım, şekil ve jeokimyasal özelliklerini belirlemektir. Bu yöntemde numune alımı maden yatağının yeraltı su seviyesinin altında ve üzerinde bulunmasına göre farklı şekillerde uygulanır. Maden yatağının yeraltı su seviyesinin üzerinde bulunduğu durumlarda numune alma imkânı daha yüksektir. Bu durumda numune alım işlemi için oluk yarılır veya kuyu açılır. Yeraltı su seviyesinin altındaki yataklarda ise sondajla numune alınır.

Konsantrasyon Tesisinden Numune Alımı

Bu yöntemde numuneler cevher hazırlama ya da zenginleştirme işlemini kontrol etmek amacıyla alınır. Kolay ve ekonomik bir yöntemdir.

1.1.3. Numune Almada Karşılaşılabilecek Kazalara Karşı Korunma Yöntemleri

Madencilikte numune alma işlemi sırasında çeşitli tehlike ve kazalarla karşılaşılabilmektedir. Bu tür riskleri en aza indirmek ve iş güvenliğini sağlamak için alınması gerekenbazı önlemler vardır.

Kişisel Koruyucu Ekipmanlar (KKE)

Numune alma işlemine katılan çalışanların uygun KKE kullanması önemlidir. Bu ekipmanlar madencilik kaskı, güvenlik gözlüğü, iş eldivenleri, iş botları, kulak koruyucuları gibi unsurları içerir.

Eğitim ve Bilgi

Numune alma işlemine katılan personelin gerekli eğitimi alması ve prosedürleri anlaması hayati önem taşır. Kaza ve hataların en aza indirilmesi için doğru yöntemlerin bilinmesi gereklidir.

Numune Alma Alanının Düzenlenmesi

Numune alınacak alan güvenli bir şekilde düzenlenmeli ve işaretlenmelidir. Tehlikeli bölgelere erişim kontrolü sağlanmalıdır. Potansiyel tehlike kaynakları, yüzey eğimi, kayaların kararlılığı, erişim noktaları ve acil durum kaçış yolları gibi faktörler gibi tehlikelere dikkat edilmelidir. Kayaların düşmesi, patlama veya gaz sızıntısı gibi tehlikeler göz önünde bulundurulmalıdır Numune alma yapılacak alanın etrafı uygun şekilde çevrilmeli ve giriş-çıkış noktaları belirlenmelidir. Sadece yetkili personelin bu alana erişimi olmalıdır. Numune alma alanına yakın bir yerde acil durum ekipmanları (ilk yardım kutusu, yangın söndürücüler vb.) bulunmalıdır. Numune alınacak alanın etrafı iş güvenliği ve sağlığı açısından kritik bir adımdır. Herhangi bir riski en aza indirmek ve personelin güvende kalmasını sağlamak için bu adımlar titizlikle uygulanmalıdır.

Tehlikeli Kimyasalların Kullanımı

Numune alma işlemi sırasında kullanılan kimyasalların etiketleri okunmalı ve güvenli bir şekilde kullanılmalıdır. Kimyasalların saklanma ve taşıma kurallarına uyulmalıdır.

Numune Alma Ekipmanlarının Doğru Kullanımı

Numune alma ekipmanlarının doğru bir şekilde kullanılması önemlidir. Kesici veya delici aletler gibi potansiyel tehlikeli ekipmanlar dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır.

Tehlikeli Madde Maruziyeti

Numune alma işlemi sırasında toz, gaz veya kimyasallara maruz kalma riski bulunabilir. Bu durumada iş alanının iyi havalandırıldığından emin olunmalı, gerektiğinde solunum koruyucuları kullanılmalıdır. Cildi korumak için uygun giysiler giyilmelidir.

Düşme ve Yaralanma Riski

Maden sahasında, eğimli veya kaygan zeminlerde numune alma yapılıyorsa düşme riski olabilir. Olası tehlikenin önlenmesinde iş alanlarının güvenliği için bariyer veya korkuluklar kullanılmalıdır. Dengeyi sağlamak için düzgün ayakta durma teknikleri ve gerektiğinde düşmelere karşı koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır.

Bilinçsiz Patlama ve Yanma Riski

Belirli numune ve gazlar patlama veya yanma riski taşıyabilir. Tehlikeli bölgelerde numune alma işlemi yapmadan önce potansiyel patlama ve yanma riskleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Gerektiğinde patlama önleme ekipmanları kullanılmalıdır.

Kullanılmayan Maden Delikleri

Maden sahasında kullanılmayan maden delikleri yüzeyden düşmelere veya yaralanmalara yol açabilir. Kullanılmayan deliklerin doğru bir şekilde kapatılması ve işaretlenmesi gerekmektedir.

Hava Kalitesi

Maden sahasındaki hava kalitesi sık sık değişebilir. Hava kirliliği veya gaz birikimi riski bulunabilir. Hava kalitesi düzenli olarak kontrol edilmeli ve gerektiğinde solunum cihazları kullanılmalıdır.

Çalışanların İletişimi ve İzlenmesi

Maden sahasında çalışanların iletişimde olduğundan ve izlendiğinden emin olunmalıdır. Acil veya beklenmedik durumlarda iletişim sağlamak önemlidir. Numune alma işleminin her adımında iş güvenliği ön planda olmalıdır. Risk değerlendirmesi yapmak, ekipmanları düzgün bir şekilde kullanmak ve güvenlik protokollerine sıkı bir şekilde uymak kazaların önlenmesine yardımcı olur.

1.1.4. Numune Hazırlama

Numune hazırlama bir numunenin kimyasal analize uygun hâle getirilmesi için laboratuvarda gerçekleştirilen tüm işlem adımlarından oluşur. Numune hazırlama işlemi doğru yapılırsa toplam numuneyi en iyi temsil eden alt numuneler elde edilir (Görsel 1.32).

Görsel 1.32: Analize uygun hâle getirilmiş numuneler

1.1.5. Örnek Azaltma Yöntemleri

Bir cevherin niteliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere bir kısmının alınmasına **örnek azaltma** ya da **örnekleme** denir. Örnekleme, madencilik etkinliklerinin her aşamasında ihtiyaç duyulan ve sıkça başvurulan önemli bir işlemdir. Özellikle fizibilite aşamasında yapılan örnekleme işleminde titizlik gösterilmelidir. Böylece bilimsel yöntemlerle alınan örneğin, cevher kütlesi veya yığınının tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerinin en az hatayla bulunması sağlanmış olur. Örnekleme sonucunda elde edilen örnek üzerinde yapılan işlemlerle saptanan kimyasal, fiziksel ve fizikokimyasal özellikler temel alınarak cevher yatağı veya yığınının teknik ve ekonomik yönden değerlendirilmesi yapılır. Bu sebeple gerekli titizlik gösterilmeden gelişigüzel alınan örnekle elde edilen bulgular cevher yatağı veya kütlesinin teknolojik ve ekonomik olarak yanlış değerlendirilmesine ve zarara sebep olur. Örnek alma işlemi ne kadar hassas uygulanırsa temsil edilen maden yatağı ve cevher kütlesinin teknik ve ekonomik değerlendirilmesi o derece doğru olur.

Cevher yığını veya kütlesinin tüm özelliklerini hatasız yansıtacak uygun bir örnek almak olanaksızdır. Ancak aynı analiz, birden fazla örnek üzerinde yapılır ise sonuçlar karşılaştırılarak cevher kütlesi özelliğine yakın bir değer elde edilebilir. Laboratuvar analizleri öncesi yapılması gereken önemli bir işlem ise örneklerin bölünerek azaltılması ve hazırlanmasıdır. Örneklerin azaltılması işlemi bir tür örnekten örnek alma işlemidir. Cevher kütlesinden ya da yığınından örnek alımında gösterilen titizlik, bu işlemde de gösterilmelidir. Hazırlanacak azaltılmış örnek sayısı ve miktarı yapılacak analiz türüne bağlıdır.

Genel analizler için örnek hazırlama işlemi üç basamaktan oluşmaktadır. Bu basamaklar şunlardır:

1. Boyut küçültme
2. Homojen karışım hazırlama
3. Manuel ya da mekanik bölücülerle örnek miktarının azaltılması

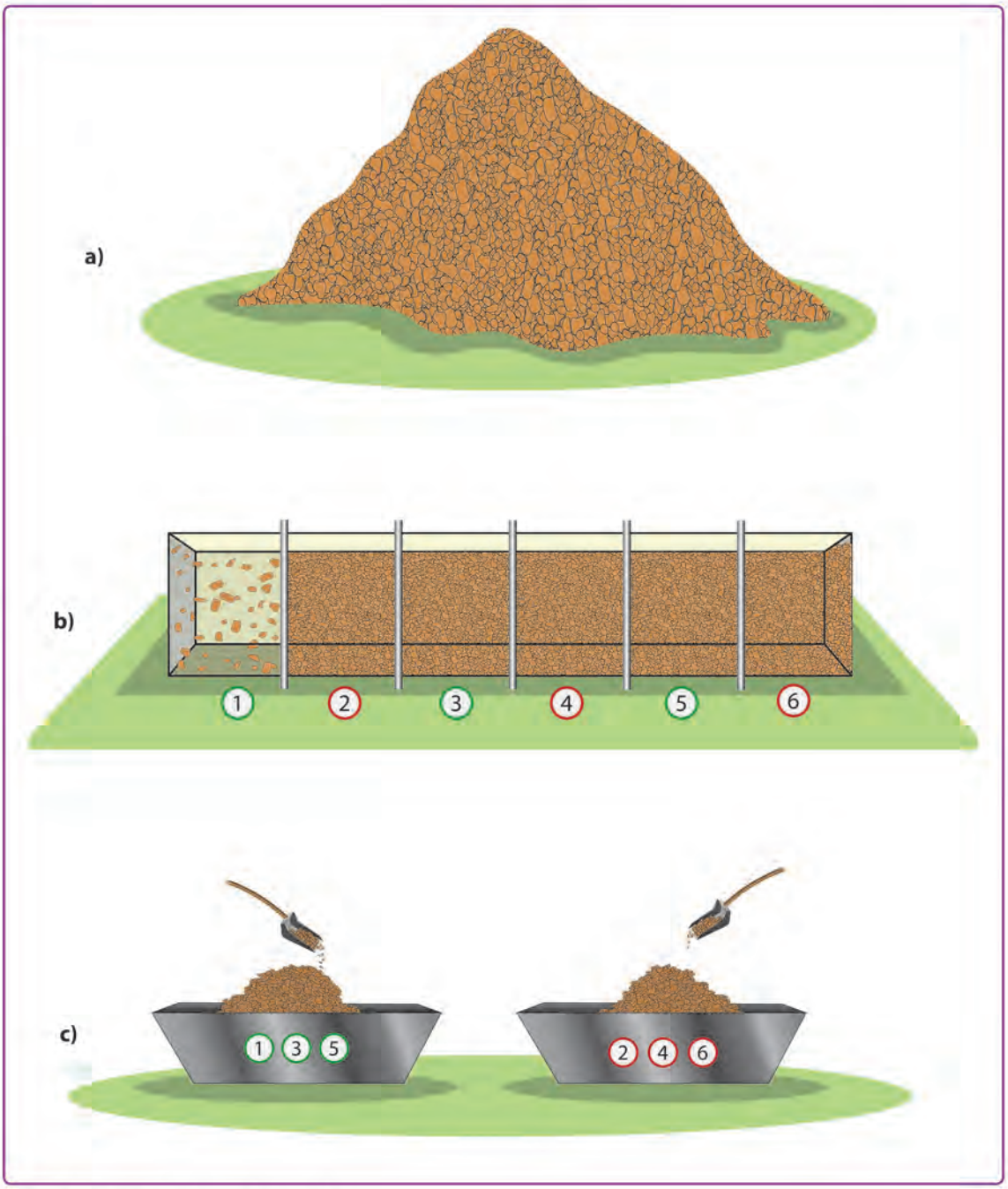
Örnek azaltma işlemi, elle veya mekanik örnek bölme araçları ile yapılır.

Elle Örnek Azaltma Yöntemleri

Kürekleme Yöntemi: En basit yöntem olmakla birlikte kütle veya yığın özelliklerini temsil etmesi açısından en az güvenilirliğe sahip bir yöntemdir. Bu örnekleme yöntemi homojen yığın malzemeleri için uygundur (Görsel 1.33). Gerekli miktarda örnek yığının çeşitli yerlerinden bir kürek yardımı ile alınarak biriktirilir.

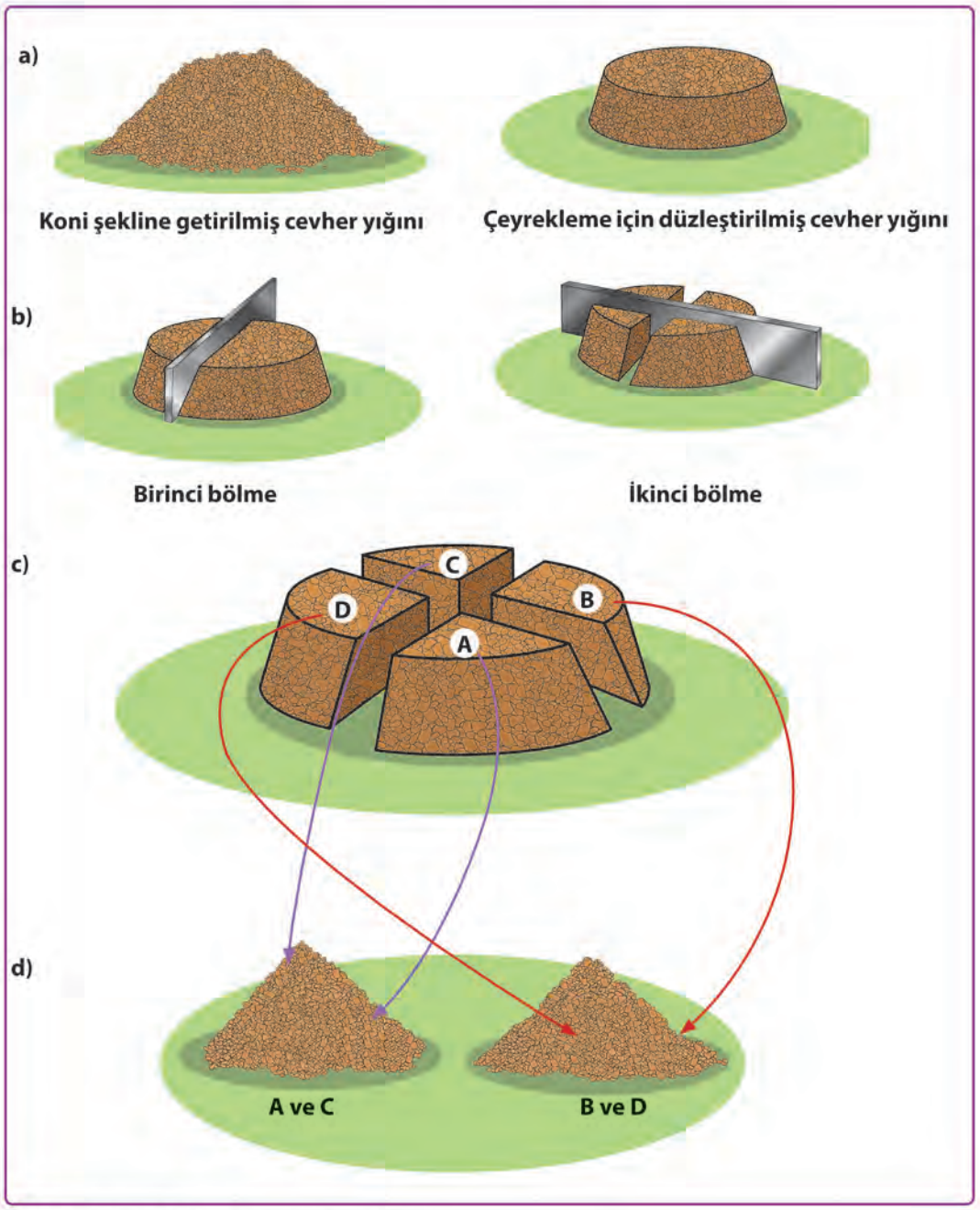
Görsel 1.33: Kürekleme yöntemi ile örnek alımı

Dikdörtgen Yöntemi: Genellikle büyük miktarda alınmış tüvenan cevher örneklerine uygulanır (Görsel 1.34 a). Örnek temiz bir zemin üzerine dikdörtgen bir şerit oluşturacak şekilde serilir (Görsel 1.34 b). Sonra bir uçtan itibaren belirli aralıklarla işaretlenerek parsellere bölünür. Önce 1, 3 ve 5. parsellerdeki cevher alınır. 2, 4 ve 6. parsellerindeki cevher bir kenara çekilir. Alınan ilk örnekteki parseller karıştırılarak tekrar bir şerit hâline getirilir. Daha sonra 2, 4 ve 6. parsellerdeki cevher alınarak karıştırılan bu artıkla birleştirilir (Görsel 1.34 c). Bu amaca ve azaltılacak örnek miktarına göre tekrar edilerek işlem tamamlanır.



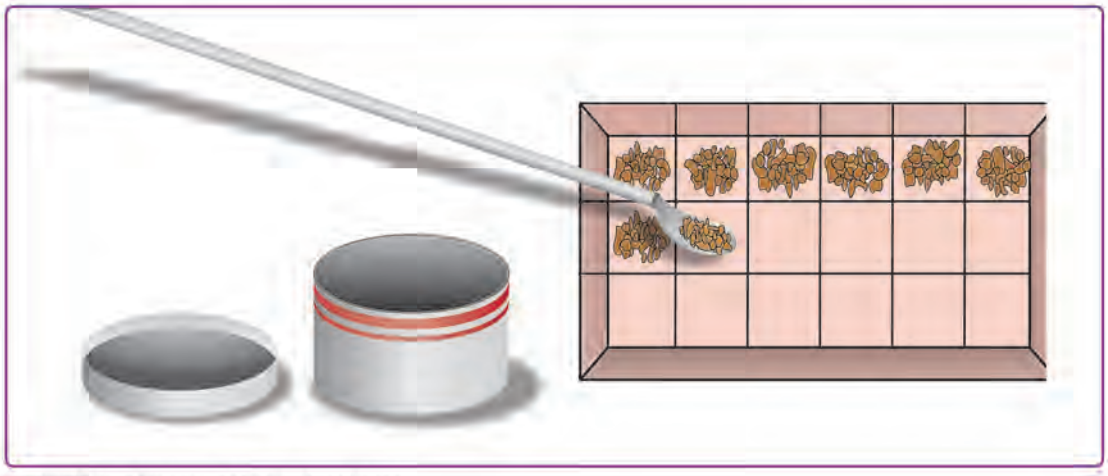
Görsel 1.34: Dikdörtgen yöntemi ile örnek alımı

Konileme-Dörtleme (Konileme-Çeyrekleme) Yöntemi: İşlem bakımından dikdörtgen yöntemine benzemektedir ancak yığına verilecek şekil farklıdır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için homojen cevher örnekleri gereklidir. Malzeme düzgün, temiz bir alan üzerinde karıştırılır ve koni şeklini alacak şekilde yığınlanır. Koninin tepesi küreğe benzer bir araç yardımıyla düzleştirilir (Şekil 1.5 a). Taban tam bir daire biçimine getirildikten sonra eksenler çizilip dört çeyreğe bölünerek işaretleme yapılır (Şekil 1.5 b). Önce karşılıklı iki çeyrek (A, C veya B, D) bir kürek kullanılarak alınır (Şekil 1.5 c). Geri kalan iki çeyrek başka bir kenara alınır (Şekil 1.5 d). Alınan iki karşılıklı çeyrek karıştırılıp yığınlanır ve düzleştirilerek tekrar dört çeyreğe bölünür. Konileme-dörtleme, gerekli olan örnek miktarına göre tekrarlanır. Önemli bir nokta ise her işlemde kalan örneğin iyice karıştırılması gerektiğidir.



Şekil 1.5: Konileme-dörtleme yönteminin aşamaları

Kareleme Yöntemi: Büyük bir yığından konileme-dörtleme ya da bıçaklı bölücü yöntemi kullanılarak azaltılan numuneden kimyasal analiz için en az 1 g kadar örnek alınması gerektiğinde kareleme yöntemi kullanılır. Azaltılmış örnek numune bir havan yardımıyla ince boyutta öğütülür. Bu boyut genelde -75 mikrondur. Boyut küçültme işlemi yapılmış malzeme, yüksekliği en fazla 0,5 cm olacak şekilde temiz bir yüzey üzerine koyulur. Daha sonra bir spatula yardımı ile satranç tahtasına benzer şekilde karelere bölme işlemi yapılır. Aynı spatula yardımı ile her bir karenin merkez noktasından bir miktar malzeme alınarak analiz kabına koyulur (Görsel 1.35). İstenen miktarda malzeme elde edilinceye kadar işlem tekrarlanır.



Görsel 1.35: Kareleme yöntemi ile örnek alma

Mekanik Bölücülerle Örnek Azaltma Yöntemleri

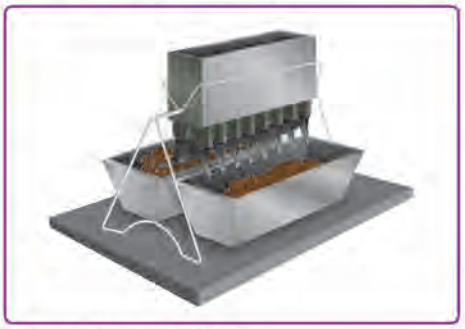
Oluklu Bölücü (Riffle splitter): Bu yöntem, daha çok akışkan özelliği yüksek kuru cevherler için uygundur. Oluklu bölücü iki kenarı eşit aralıkta V şekilli görünümlü ve çelik oluklar içerecek biçimde düzenlenmiştir. Malzeme, şekilli oluk boyunca beslenip bölücüde ayrım sağlanarak oluğun kenarında yer alan iki kapta toplanır (Görsel 1.36). İstenilen miktarda örnek elde edilinceye kadar her yarı malzeme için önceki işlem yinelenerek bölücüde her bölümdeki örnek azaltılır. Diğer oluktaki örnek atılır ya da başka bir alana ayrılır. Oluklu bölücüler farklı kapasitelerde üretilir, böylece isteğe göre örneklemede daha düşük cevher ağırlıkları elde edilebilir.

Görsel 1.36: Oluklu bölücü makinesi

Döner Diskli Örnekleyici [Rotary Disc Sampler (Rodari Disk Samplır)]: Bu ekipman ile mekanik olarak döndürülen bir disk yardımıyla örnekleme işlemi tamamlanır. Dönen disk üzerindeki örnek yuvalarına, üst taraftaki bir silo yardımıyla titreşimli bir oluktan örnek akması sağlanır (Görsel 1.37). Yığındaki örnek, disk üzerindeki yuva sayısı kadar parçaya ayrılarak örnekleme alınmış olur.

Görsel 1.37: Döner diskli örnekleyici

Çok Oluklu Bölücü [Multi-Chute Riffler (Multai-Şuut Rifılır)]: Masa örnekleyicisi de denilen bu sistemde cevher bir hazneye boşaltılır. Eğimli masa üzerinden yön saptırıcılar sayesinde kanallara doğru dökülmeye başlar. Yön saptırıcı kanallar dökülen cevherin daha aşağıdaki iki zıt yönlü oluklar boyunca akmasını sağlar (Görsel 1.38). Bir miktar cevher masa sonuna kadar ilerleyip masayı terk ederken, kalan miktar ise saptırıcı kanallar arasındaki deliklerden masa altına dökülür. Böylece cevher iki parçaya ayrılmış olur. Çok oluklu bölücü örnekleyiciler ticari olarak bulunabilmekle birlikte yerini diğer mekanik bölücü cihazlara bırakmıştır. Bu cihazın avantajı dönen bir parçasının olmamasıdır.



Görsel 1.38: Çok oluklu bölücü

Döner Konili Örnek Bölücü [Rotary Cone Sample Divider (Rodari Kon Sempıl Divaydır)]: Cevher, titreşimli bir besleyici yardımıyla cihazın üst kısmındaki koni içerisine istenilen hızda boşaltılır. Koni içerisindeki giriş boyunca sürekli dökülerek koni altında dönmekte olan kaplarda birikir (Görsel 1.39). Döner konili bölücüde örnek bölme hassasiyeti kütlece %1'den düşüktür.

Görsel 1.39: Döner konili örnek bölücü

Döner Tüplü Bölücü [Rotary Tube Divider (Rodari Tüub Divaydır)]: Cevher, titreşimli bir besleyici yardımıyla bölücünün üst tarafındaki giriş konisine boşaltılır. Giriş konisi boyunca aşağı doğru döner tüpün içinde ilerler. Tüpün her dönmesinde cevherin bir kısmı örnek toplama kolonuna dökülür. Kalanı ise bölücünün konik iç haznesinin yüzeyi boyunca alttaki merkezi çıkış borusundan çıkış yapar (Görsel 1.40). Toz oluşumunun daha iyi kontrol edilebilmesi önemli avantajıdır.

Görsel 1.40: Döner tüplü bölücü

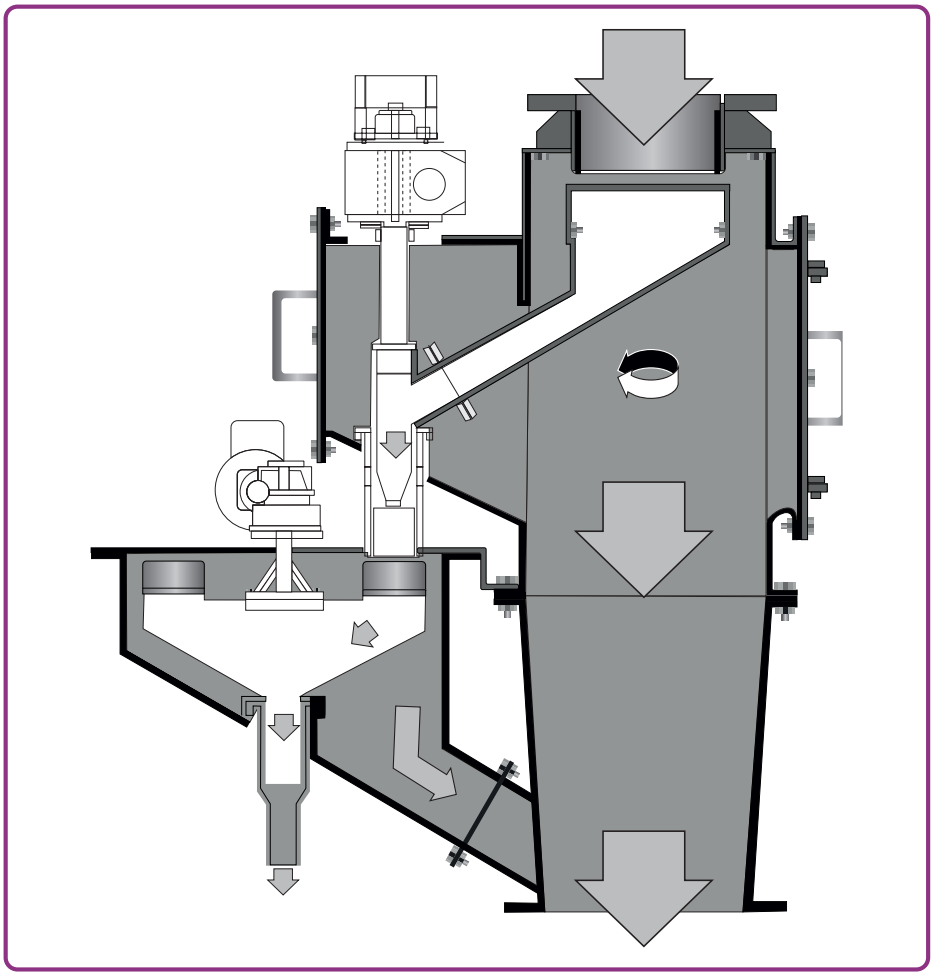
1.1.6. Çamur Akımlarından Örnek Alma

Örnekleme ekipmanları kuru olarak elde edilen cevherlerin örneklenmesi amacıyla kullanılır. Zenginleştirme işlemleri için üretilen çamurlardan da sürekli olarak örnek alınması gerekir.

İşletmelerde bazı işlemler sırasında ortaya çıkan çamurlardan örnek alınması gerekir. Bu çamurlar şunlardır:

- Tamburlu değirmen çamurları
- Hidrosiklon üst akımı (Flotasyon beslemesi)
- Nihai atıklar (Tikner alt akımı)
- Metal konsantreleri (Filtre kekleri)
- Tankta liç çamurları

Bu çamurlardan sürekli örnek alınabilmesi için akım borularına çamur örnekleyici ekipmanlar yerleştirilir. Örnek alınması gerektiğinde ekipman çalıştırılarak örnek bölücü çıkışından istenilen miktarda çamur örneği toplanır. Bu amaçla en sık kullanılan örnekleyici döner çamur bölücüsüdür (Görsel 1.41). Bu çamur bölücüsü silindirik bir gövde içerisinde, ana akım sağlayıcı borudan ve bir motorla döndürülen örnek borudan oluşmaktadır. Ana silindir ise gövde basınçlı çamur akıntılarına karşı aşınmayı engelleyici kauçukla kaplanmıştır.



Görsel 1.41: Döner çamur örnekleyicisi ve çalışma prensibi

1.1.7. Numune Analizinde Oluşabilecek Kazalar

Numune analizi sırasında çeşitli kazalar meydana gelebilir. Bu kazaların önlenmesi veya etkilerinin minimize edilmesi için bazı önlemler alınması gerekmektedir. Numune analizinde oluşabilecek kazalar şunlardır:

- Kimyasal maruziyet
- Kesici ve delici alet kazaları
- Patlama ve yanma riski
- Kontaminasyon ve çapraz kirlenme
- Elektrik şokları
- Radyasyon maruziyeti

Kimyasal maruziyet

Numune analizi sırasında kullanılan kimyasallar cilt ile temas durumunda veya solunum yoluyla vücuda zarar verebilir. Kimyasal maddelerin güvenli bir şekilde kullanılması için uygun kişisel koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır. İşlem alanı iyi havalandırılmalı ve kimyasal maddelerin etiketleri dikkatlice okunmalıdır.

Kesici ve Delici Alet Kazaları

Numune hazırlığı sırasında kesici veya delici aletlerin kullanılması, kesilme veya yaralanmalara yol açabilir. Kesici ve delici aletler dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Kesim riskini azaltmak için uygun kesme teknikleri ve kesme tahtaları kullanılmalıdır.

Patlama ve Yanma Riski

Belirli numuneler, kimyasal reaksiyonlar, yanma veya patlama riski taşıyabilir. Yanıcı veya patlayıcı numunelerle çalışılıyorsa bu işlemler için özel olarak tasarlanmış alanlar, cihazlar kullanılmalıdır. İşlem sırasında ateşe veya yüksek sıcaklıklara dikkat edilmelidir.

Kontaminasyon ve Çapraz Kirlenme

Numune analizi sırasında numunelerin yanlışlıkla kontamine olması veya farklı numuneler arasında çapraz kirlenme riskleri bulunmaktadır. Numunelerin saklanması ve taşınması sırasında sıkı hijyen ve kontaminasyon önlemleri uygulanmalıdır. Numune alma alanı ve ekipmanları düzenli olarak temizlenmeli, dezenfekte edilmelidir.

Elektrik Şokları

Numune analizi sırasında kullanılan cihaz veya ekipmanlar nedeniyle elektrik şokları yaşanabilir. Elektrikle çalışan cihazların güvenli bir şekilde kullanılması ve bakımının yapılması gerekmektedir. Islak ellerle veya ıslak zeminde cihazlara dokunulmamalıdır.

Radyasyon Maruziyeti

Radyoaktif numunelerin analizi sırasında çalışanlar radyasyon maruziyeti riskiyle karşılaşabilir. Radyoaktif numunelerle çalışan kişilerin radyasyon güvenliği eğitimi alması gerekmektedir. Radyasyon emniyet kurallarına uygun şekilde çalışılmalı ve radyasyon emniyet ekipmanları kullanılmalıdır.

1. ETKİNLİK

Numune alma işlemiyle ilgili bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu arkadaşlarınızla paylaşınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanılmalıdır.
- Sunuda Türkçe doğru kullanılmalıdır.
- Sunu süresi belirlenmelidir.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Numune alma işleminin adımları ve ayrıntılarını mantıklı bir sıra içinde sundu.			
Numune alma adımlarını ayrıntılı bir şekilde açıkladı.			
Numune alma güvenliği ve kişisel koruyucu ekipmanlarla ilgili bilgiler verdi.			
Numune alma işleminin bilimsel araştırmadaki rolünü anlattı.			
Görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Numune alırken İSG önemleri ve kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

2. ETKİNLİK

Türkiye'de numune alma yöntemleri ve numune almada kullanılan ekipmanlarla ilgili bir sunum hazırlayınız. Sunu hazırlarken aşağıdaki açıklamaları dikkate alınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanılmalıdır.
- Sunuda Türkçe doğru kullanılmalıdır.
- Sunu süresi belirlenmelidir.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Numune alma yöntem ve ekipmanlarını detaylı, anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Numune alma uygulamaları ve numunelerin analiziyle ilgili bilgi verdi.			
Sunumda görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Kişisel koruyucu ekipmanlar (İSG) ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

1.2. NUMUNE ANALİZİ

Numune analizi; bir madde veya malzemenin kimyasal, fiziksel veya biyolojik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında yapılan test ve analizlerdir. Numune analizi, birçok farklı endüstri ve bilimsel alan için önemlidir, malzeme karakterizasyonundan çevre izleme çalışmalarına kadar geniş bir yelpazede kullanılır.

1.2.1. Kuru Örnekleme Aygıtlarının Karşılaştırılması

Örnekleme yöntemleriyle alınan örneklerin göreceli standart sapma değerlerinin karşılaştırması Tablo 1.1'de verilmiştir. Numune analizinde döner disk veya döner tüplü bölücülerle yapılan örnek bölme işlemi en iyi yöntemlerdir. Kürekleme ve konikleme - dörtleme yöntemlerinin her ikisinin performansı da oldukça zayıftır. Bunlar, ancak diğer aygıtların olmadığı durumlarda kullanılmalıdır. Çok kanallı bölücüler orta düzeyde performansa sahip olup sıradan ve kritik olmayan örnekleme işleri için uygundur. %60 ince, %40 iri taneler içeren bir kum karışımından alınan örneklerin standart sapma değerleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: *Örneklerin Standart Sapma Değerleri*

Örnekleme Yöntemi	Örneklerin Standart Sapması (%)
Konileme-dörtleme	6,81
Kürekleme	5,14
Çok kanallı örnek bölücü	1,01
Döner diskli bölücü	0,125
Teorik olarak mükemmel bir örnekleyicinin rastgele değişimi değeri	0,076

1.2.2. Örnek Numune Neminin Hesaplanması

Nem içeriği; bir ürünün kullanılabilirliğini, kalitesini ve işlenebilirliğini etkilemektedir. Nemin doğru biçimde belirlenmesi, kalitenin sağlanmasında temel bir rol oynamaktadır. Ayrıca belirli ürünlerde izin verilen maksimum nem içeriği mevzuata uygun olmalıdır. Cevherin neminin bilinmesi; cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde yöntem belirlemede, verim hesaplamalarında, stok kayıtlarında önemlidir.

Nem içeriği; genellikle termogravimetrik yaklaşım aracılığıyla başka bir ifade ile kurutma kaybı yoluyla belirlenir. Bu metotla cevherden alınan örnek, yaş ve kuru olarak tartılır. Sonuçlar arasındaki farktan yararlanılarak cevher nemi hesaplanır. Bunun için alınan numune su kaybına uğramayacak şekilde (örnek kutuları veya plastik torbalarda) laboratuvara taşınır ve yaş olarak tartılır. Numune 105 °C'de yirmi dört saat kurutulduktan sonra kuru ağırlığı tartılır. Yaş ve kuru ağırlık farklarının kuru ağırlığa bölünmesiyle cevher nemi hesaplanır. Bu metot, teorik olarak en sağlıklı nem ölçme metodudur ve bu nedenle bilimsel araştırmalarda nem tayini bu yolla yapılır. Nem ölçme hassasiyeti, örnek alınırken ve örnekler taşınırken su kaybına karşı gösterilen titizliğe bağlıdır. Bu metodun en önemli dezavantajı ise zaman alması, yorucu olması ve ekonomik olarak masraflı olmasıdır.

En fazla kullanılan nem analiz teknolojileri, nem tayin cihazı ve etüv fırınının bir terazi ile birlikte kullanılmasıdır. Her iki nem ölçme metodunun karşılaştırması Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2: *Nem Analiz Teknolojileri*

Nem Tayin Cihazı	Etüv Fırını ve Terazi
Hızlı Sonuçlar Nem tayin cihazı, hızlı bir biçimde nem içeriğini tayin etmek için en doğru yoldur. Hızlı bir sonuç avantajı gerekli kararların kısa sürede alınmasına imkan verir. Örneğin proses içi kontrol denetiminden sonra üretim prosesinde hızlı müdahaleye imkân tanır.	**Resmi Metot** Bazı maddeler için etüv fırını metodu, nem içeriğini belirlemek için resmi referans metodudur. Resmi referans metodu olarak etüv fırını, nem tayin cihazı gibi alternatif metotlara çapraz referansta bulunmak için kullanılır.
Basit Çalışma Birkaç manuel adımlı kesintisiz bir prosese ihtiyaç duyulduğunda kullanılır.	**Zaman Baskısı Yok** Etüv fırını, hızlı bir sonuca ihtiyaç olmadığında kullanılabilir.
Hataları En Aza İndirme Basit proses ve otomatik sonuç hesaplaması, hataları en aza indirir.	**Birden Çok Numune** Etüv fırını, birden fazla numune eş zamanlı çalışılmak istendiğinde iyi bir çözümdür.
Resmî Metoda Alternatif Nem tayin cihazı sonuçlarının etüv fırınından elde edilen sonuçlar ile benzer olduğu gösterilerek resmî etüv fırını metodu yerine nem tayin cihazı kullanılabilir.	**Homojenlik Derecesi Çok Düşük Numuneler** Homojenlik derecesi çok düşük maddeler için çok miktarda numune (örneğin 500 g) kullanılması gerektiğinde etüv fırını kullanılır.

Numune analizi laboratuvar ortamında gerçekleştirildiğinde çalışanlar ve çevre için potansiyel riskler ortaya çıkabilir. Bu nedenle numune analizi laboratuvarlarında güvenlik önlemleri almak çok önemlidir.

Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE) Kullanımı: Laboratuvar çalışanları; göz koruması (gözlük, yüz siperi), eldiven, önlük, laboratuvar önlüğü, uygun ayakkabı gibi kişisel koruyucu ekipmanları doğru şekilde kullanmalıdır. Bu ekipmanlar; kimyasal sıçramaları, fiziksel yaralanmaları ve diğer riskleri azaltmada yardımcı olur.

İyi Laboratuvar Uygulamaları: Bu laboratuvar uygulamalarını takip etmek, numuneleri doğru şekilde işlemek, kimyasalları düzgün depolamak ve tehlikeli maddeleri etiketlemek gibi temel prensiplerle güvenliği sağlamak gerekmektedir.

Kimyasal Maddelerin Doğru Kullanımı: Kimyasal maddeleri dikkatlice ve doğru prosedürleri takip ederek kullanmak gereklidir. Kimyasal madde etiketlerini okumak, uygun depolama koşullarını bilmek, uygun karışım ve kullanım yönergelerini izlemek gerekmektedir.

Ventilasyon ve Havalandırma: Laboratuvarlarda iyi havalandırma sistemi bulunması ve kullanılması, toksik buhar ve gazların uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Kapalı ortamlarda çalışırken havalandırma açısını kontrol etmek önemlidir.

Acil Durum Planları: Laboratuvarlarda acil durumlar için planlar oluşturulmalıdır. Yangın, kimyasal sızıntı veya kaza gibi durumlar için uygun acil durum prosedürleri belirlenmeli ve çalışanlar eğitilmelidir.

Yangın Güvenliği: Laboratuvarlarda yangın söndürme ekipmanları (ateş söndürücüler, yangın hortumları) bulunmalı ve personel bu ekipmanları kullanmayı bilmelidir. Yangın güvenliği eğitimi almak ve yanıcı maddeleri güvenli bir şekilde depolamak önemlidir.

Elektrik Güvenliği: Elektrikli cihazların güvenli bir şekilde kullanılması ve düzenli olarak kontrol edilmesi gereklidir. Priz aşırı yüklemelerinden kaçınılmalı ve kabloların düzgün bir şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir.

Kırılabilir Malzemelerin Kullanımı: Cam malzemeler gibi kırılabilir ekipmanlar kullanılırken dikkatli olunmalı ve gerektiğinde koruyucu ekipmanlar (eldiven gibi) kullanılmalıdır.

Çalışma Alanının Düzeni: Laboratuvar çalışma alanı düzenli tutulmalıdır. Düzenli bir çalışma alanı, kaza ve yaralanmaların önlenmesine yardımcı olur.

Eğitim ve Bilgi: Tüm laboratuvar personeli, güvenli çalışma prosedürleri hakkında eğitim almalıdır. Kimyasal maddelerin doğru kullanımı, acil durum tepkileri ve diğer güvenlik konuları hakkında bilinçli olunmalıdır.

3. ETKİNLİK

Aşağıda verilen numune boyutu küçültme işlemini iş güvenliği kurallarına uygun olarak uygulayınız.

Araç Gereç

Deney numunesi, çeneli kırıcı ve konili kırıcı, labarotuvar elekleri, plastik leğen, tartım aleti, fırça ve koruyucu ekipman

İşlem Basamakları

- Yaklaşık 300 gramlık numune alınız.
- Kırıcı ve cevherin özelliklerini değerlendirerek hangi kırıcının hangi cevherlere uygulandığını tartışınız.
- Kırma öncesi kırıcı fonksiyonlarını belirleyiniz.
- Numune kırma işlemi öncesinde belirlenmiş eleklerden numuneyi geçirerek kaydediniz.
- Kırma sonrası ufalanmış numunenin sınıflandırma işlemini yaparak kaydediniz.
- Kırıcı açıklıklarını değiştirerek aynı işlemleri tekrarlayınız ve sonuçları kaydediniz.
- İşlemlerin sonuçlarını tartışınız.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Kişisel koruyucu ekipmanları (gözlük, maske, iş eldivenleri ve kulaklık) kullandı.			
Cevherin özelliğine uygun kırıcı ve eleği seçti.			
Cevherin kırılma, ufalanma ve sınıflandırma aşamalarını sırasıyla takip etti.			
İşlem öncesi ve sonrasında numunelerin özelliklerini not aldı.			
Ekipmanları çalıştırmadan önce güvenlik kontrollerini yaptı.			
İşlem sonrasında kullanılan ekipmanların temizledi.			
İşlem sonrası elde edilen sonuçları arkadaşlarıyla değerlendirdi.			

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun ifadelerle tamamlayınız.

1. Bağlı tanelerin parçalanarak serbest taneler hâline gelmelerine ..... denir.
2. Kırma ve öğütme sonucu elde edilen ürünleri boyutlarına göre ayırma işlemine ..... denir.
3. Hedeflenen kütlenin herhangi bir özelliğini belirlemek için alınan ve analize tabi tutulan kütlenin bir bölümüne ..... denir.
4. Nihai üründeki suyun buharlaştırılması işlemine ..... denir.
5. Malzemenin taşınmasında kullanılan kauçuk malzemeden yapılmış nakliye çeşitine ..... denir.
6. Kıymetli element yüzdesinin yükseltilmesi ve değersiz element yüzdesinin azalması, cevherdeki ..... atılmasıyla sağlanmaktadır.
7. Endüstride ham madde olarak kullanılan ve ekonomik değer taşıyan mineraller ..... .
8. Yer kabuğunda iç ve dış doğal etkenlerle oluşan, ekonomik yönden değer taşıyan bir veya birden çok mineralden meydana gelen kayaçlara ..... denir.
9. Bir zenginleştirme işlemi sonucu elde edilen ve çoğunlukla değersiz element ya da değersiz mineralleri içeren ürüne ..... denir.
10. Sıvı bir çözelti içerisinde birbirinden ayrı duran ince taneciklerin bir araya getirilmesi işlemine ..... denir.

B) Aşağıdaki soruları dikkatle okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. **Aşağıdakilerden hangisi cevher zenginleştirme işlemlerinden değildir?**

A) Numune alma B) Tenör C) Kurutma

D) Füzyon E) Flotasyon

2. Yer kabuğundan çıkarılmış fakat üzerinde hiçbir işlem yapılmamış kıymetli ve kıymetsiz mineraller karışımına verilen isim aşağıdakilerden hangisidir?

A) Atık B) Tuvönan cevher C) Triyaj

D) Baca E) Çözeltme

3. Bir cevherin niteliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere temsilî bir kısmının alınmasına verilen isim aşağıdakilerden hangisidir?

A) Örnek azaltma B) Yığın C) Sıkılama

D) Atık E) Triyaj

4. Aşağıdakilerden hangisi genel analizler için örnek hazırlama işlemlerinden biri değildir?

A) Boyut küçültme işlemi

B) Homojen karışım hazırlama

C) Manuel bölücülerle örnek azaltma

D) Mekanik bölücülerle örnek azaltma

E) Bantlı konveyörler ile örnek alma

5. Mostralar üzerinden cevher kütlesinin eğim yönüne göre numune alma yöntemi aşağıdakilerden hangisidir?

A) Oluk numunesi

B) Yığın ve hacim numunesi

C) Yarma numunesi

D) Stok numunesi

E) Sondaj numunesi

C) Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. **Cevher zenginleştirme sürecinin temel adımları nelerdir? Bu adımlar hangi faktörlere bağlı olarak değişebilir?**

   .....

   .....

   .....

   .....

2. **Bir cevherin endüstride kullanılabilmesi için kullanım alanlarının farklılığına göre değişen şartlar nelerdir?**

   .....

   .....

   .....

   .....

3. **Numune alma sürecinde dikkat etmeniz gereken ana adımlar ve bu adımları etkileyen faktörler nelerdir?**

   .....

   .....

   .....

   .....

4. **Elle örnek azaltma yöntemleri nelerdir? Maddeler hâlinde yazınız.**

   .....

   .....

   .....

   .....

5. **Mekanik bölücülerle örnek azaltma yöntemleri nelerdir? Maddeler hâlinde yazınız.**

   .....

   .....

   .....

   .....

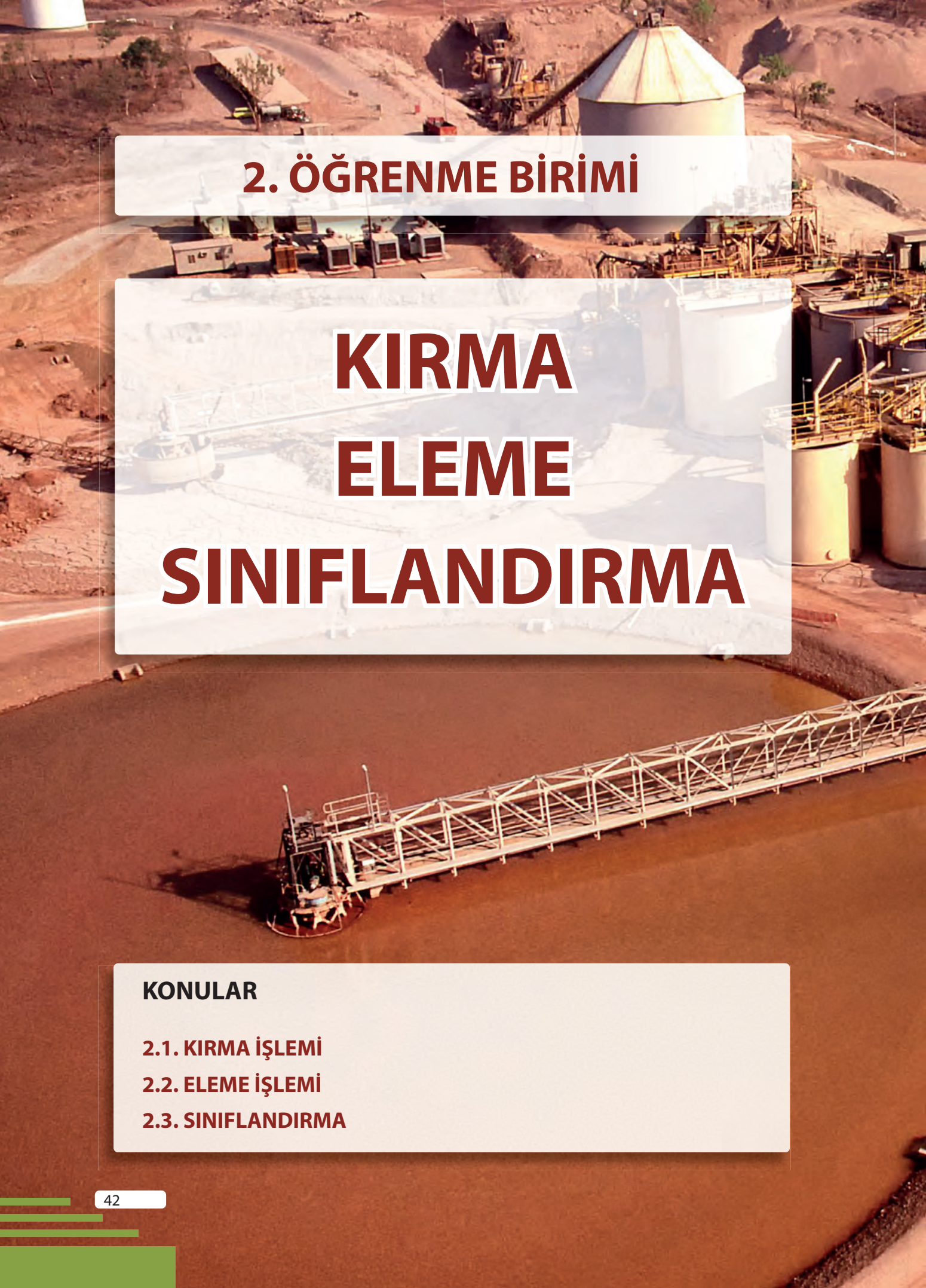
6. **Numune alma sırasında karşılaşılabilecek iş kazaları nelerdir? Yazınız.**

   .....

   .....

   .....

   .....



2. ÖĞRENME BİRİMİ

KIRMA ELEME SINIFLANDIRMA

KONULAR

2.1. KIRMA İŞLEMİ

2.2. ELEME İŞLEMİ

2.3. SINIFLANDIRMA

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Uygun yöntem ve araç gereçle çeşitli malzemelerin kırma
- Uygun yöntem ve araç gereçle çeşitli malzemelerin eleme
- Uygun yöntem ve araç gereçle çeşitli malzemeleri stoklama

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Cevher kırma denilince aklınıza neler geliyor? Arkadaşlarınızla paylaşınız.

2.1. KIRMA İŞLEMİ

Cevher zenginleştirme, maden cevherlerinden istenilen metal veya mineral bileşenlerini çıkararak daha yüksek saflıkta ve daha değerli konsantreler elde etmeyi amaçlayan bir işlemdir (Görsel 2.1). Bu işlemde amaç ekonomik değeri olan minerallerin ham cevherden ayırılmasını sağlamaktır.

Yeraltı ve yerüstü maden işletme yöntemleriyle üretilen, ekonomik değeri olan mineraller yan kayaçları ile birlikte tüvenan malzeme olarak elde edilmektedir. Müşteri taleplerine veya uygulanacak cevher zenginleştirme yöntemine bağlı olarak tüvenan cevherin yan kayaçlarından ayrılabilmesi için tane boyutunun küçültülmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan boyut küçültme işlemleri, **ufalama** olarak adlandırılmaktadır. Boyut küçültme işlemlerinin gerçekleşebilmesi için malzemenin dıştan uygulanabilecek darbe, baskı, kesme, makaslama kuvvetlerinin etkisi altında kalması gerekmektedir. Ufalama işlemleri, kırma ve öğütme işlemlerinin tümünü kapsar. Cevher hazırlamada toplam maliyetin büyük bir kısmını ufalama işlemleri oluşturur. Bu nedenle tane boyutunun istenen oranda küçültülmesi gerekmektedir. Malzemenin aşırı ufalanması maliyeti arttırmasının yanı sıra zenginleştirme işlemini de olumsuz etkilemektedir.

Ufalama işleminin amaçları şunlardır:

- Cevher içindeki mineralleri serbest hâle getirme
- Toplam yüzey alanını arttırma
- İstenen boyutta uygun malzeme hazırlama (kum-çakıl vb.)
- Taşıma ve depolamada kolaylık sağlama

Görsel 2.1: İşlenmiş cevherler

Bir cevherin sanayide kullanılabilmesi için bazı şartlar aranır. Bu şartlar şunlardır:

- Cevher tanelerinin belirli bir büyüklükte olması
- Cevherdeki değerli element veya minerallerin belirli bir yüzde üstünde olması
- Cevherdeki değersiz element veya mineral yüzdesinin belirli bir yüzdenin altında olması

Bu şartlar cevher hazırlama yöntemleriyle sağlanabilmektedir.

Cevher tane boyutlarının belirlenen büyüklükte olmasını sağlamak için boyut küçültme (kırma, öğütme), sınıflandırma (eleme, sınıflama) işlemleri uygulanmaktadır.

Cevherin az veya çok sayıda küçük parçalara ayrılması işlemine **kırma** denilmektedir (Görsel 2.2). Kırma işlemi, ufalama yani boyut küçültmenin ilk basamağını teşkil etmektedir. Tüvenan malzemenin tek kademede ince boyutlarda ufalanması teknik olarak mümkün değildir. Yeraltından veya yerüstünden yan taşıyla birlikte üretilen cevher çok iri boyutlarda taneler içermektedir. Bu nedenle cevherin istenen tane boyutunda küçültülmesi birkaç kademede kırma ve öğütmeyle mümkün olmaktadır. Genellikle kırma işleminden önce ufalama boyutundan küçük taneler bir elekle ayrılır ve yalnız iri taneler kırıcıya beslenir. Daha sonra her iki ürün birleştirilerek aynı işlemler diğer bir kırma devresinde tekrarlanır.

Kırma işlemi sadece ham madde hazırlanmasında değil aynı zamanda kimya, gıda, seramik, döküm, boya gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaktadır. Bu süreç, düşük mekanik verim ve yüksek enerji harcamasına karşın aynı zamanda ilk işlem adımı olarak önemlidir. İstenilen tane boyutunda malzeme elde edebilmek için kırılan malzemenin boyutuna bağlı olarak üç türlü kırmadan söz edilebilir.

Bu kırma yöntemleri şunlardır:

- İri (kaba) kırma (+100 mm)
- Orta kırma (-100, +10 mm)
- İnce kırma (-10 mm)

Görsel 2.2: Kırılmış maden

2.1.1. Kırıcı Çeşitleri

Mekanik araçlarla yapılan kırma işlemi için kullanılan ekipmanlara **kırıcı** veya **konkasör** denir. Mekanik olarak üretilen güç; kırıcının yapısına bağlı olarak basınç, makaslama, darbe veya kesme kuvvetine dönüşmekte ve bu kuvvetlere maruz bırakılan parçalar boyut küçülmesine uğramaktadır. Her bir kırıcı ekipman; ağız açıklığı, kırma odası ve çıkış açıklığı olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Çok çeşitli kırıcılar içerisinden ve çeşitli boyutlardaki kırıcılardan hangisinin uygun olacağının tespiti şu özelliklere bağlıdır:

- Kırıcıya girecek en iri parça boyutu
- İstenilen kırma oranı (Besleme boyutu / ürün boyutu veya ağız açıklığı / çıkış açıklığı)
- Kırma kapasitesi ve kırılacak malzemenin özellikleri (sertlik, nem vb.)

Her bir kırıcı ekipmanın ulaşacağı kırma oranı sınırlı olduğu için kırma işlemi kademeli yapılmaktadır. Buna göre kırıcılar; primer, sekonder ve tersiyer olmak üzere üç sınıfta toplanabilir.

- **Primer (Birincil) Kırıcılar**

Bu kırıcılar; tüvenan cevheri taşımak, uygun bir boyuta getirmek veya ikinci kademe kırma için tasarlanmış ağır iş makineleridir. Primer kırma işlemlerinde en çok çeneli kırıcılar ve jiroskopik döner kırıcılar kullanılmaktadır. Daima açık devre çalışırlar, bazen kırma öncesi bir ızgara kullanılır. Ocaktan çıkan tüvenan cevherin kırıldığı başlıca birinci kademe kırıcılar şunlardır:

- Çeneli kırıcı
- Jiroskopik Döner kırıcı [Gyratory (Cayrotori)]
- Şoklu (Darbeli) kırıcılar

Çeneli Kırıcı

Çeneli kırıcılar, birincil ve sekonder olarak kullanılır. En eski ve en çok kullanılan kırıcı tipidir. Çeneli kırıcı, her türlü aşındırıcılığı ve sertliği olan malzemeleri kırmak üzere tasarlanmıştır.

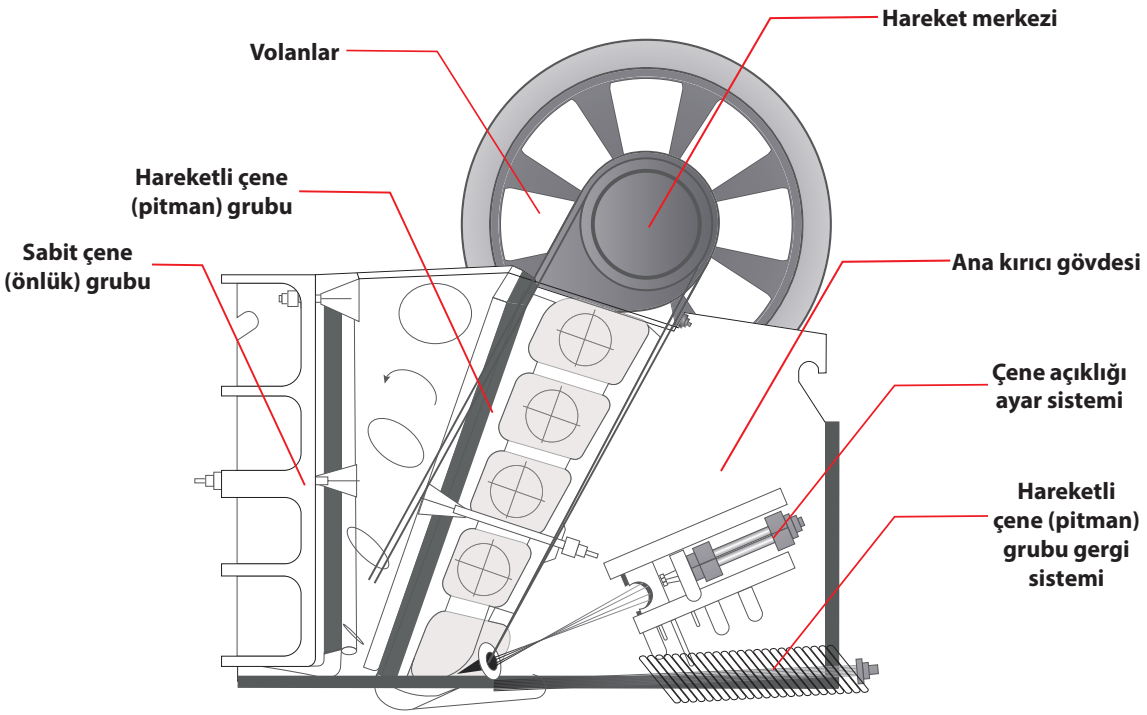
Çeneli kırıcının çalışma prensibi büyük boyuttaki malzemenin biri sabit biri eksantrik tahrik mili olmak üzere iki adet çene arasında darbe, baskı, kesme kuvvetlerine aynı anda maruz kalarak kırılması sistemine dayanmaktadır. Hareketli çene, maden giriş ağzında daireye yakın bir elips, çıkış ağzı bölgesinde ise düz çizgiye yakın dar bir elips çizerek yukarı aşağı hareket etmektedir. Bu çalışma şekli; malzemenin yukarıda kavranarak kırılmasını, kırıldıkça boyutu küçülen malzemenin aşağıya doğru hareket etmesini ve en son olarak çıkış ağzından makineyi terk etmesini sağlamaktadır (Görsel 2.3). Genellikle istenen ürün boyutunu tek bir kırıcıyla elde etmek mümkün değildir. Çeneli kırıcılar malzemeyi kaba kıran primer kırıcı olarak kullanılabildikleri gibi malzemeyi inceltmek için sekonder kırıcı olarak da kullanılabilir.

Görsel 2.3: Çeneli kırıcı

Sekonder çeneli kırıcıların besleme ağız açıklığı primer kırıcılara göre daha dardır. Çeneler arasındaki besleme ağız açıklığı beslenecek malzemenin maksimum boyutundan daha büyük seçilmelidir. Böylece iri taşların ağızda tıkanıklık yaratması önlenerek sürekli besleme ile kapasite artacaktır. İstenilen ortalama kapasiteyi sağlayabilmek için işletme esnasında besleme ve diğer aksaklıklardan doğabilecek kayıplar göz önünde bulundurularak kırıcı teorik değerlerin üzerinde seçilmelidir. Çeneli kırıcılar, hidrolik piston yardımıyla kolaylıkla ayarlanır. Çene ayarlaması yapıldığı için farklı kapasite ve ebatlarda ürün alınabilmektedir.

Çeneli kırıcılar altı ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bu bileşenler şunlardır:

1. **Hareketli Çene (Pitman) Grubu:** Tek parça çelik dökümden üretilen ve üzerinde değiştirilebilir kırıcı çene bulunan parçadır.
2. **Sabit Çene (Önlük) Grubu:** Ana kırıcı gövdesine kaynaklı veya cıvatalı olarak monte edilen hareketli çene grubunun karşısına dik veya açılı olarak konan ana parçalardır. Üzerinde değişebilir sabit çene plakası bulunur. Malzemeyi hareketli çene yardımıyla küçültür.
3. **Volanlar:** Çeneli kırıcılarda eksantrik milin uçlarında iki adet volan yer alır. Motordan alınan hareket kayışlar ve kanallı volan sayesinde eksantrik mile, oradan da hareketli çene (pitman) grubuna iletilir. Volanlar çeneli kırıcılarda hareketin iletilmesini sağlar.
4. **Çene Açıklığı Ayar Sistemi:** Ayar bloku olarak da adlandırılır. Kırıcı gövdesine kaynaklı veya cıvatalı olarak tespit edilen bu sistem sayesinde çeneli kırıcının çıkış aralıkları ayarlanabilir.
5. **Hareketli Çene (Pitman) Grubu Gergi Sistemi:** Çeneli kırıcıların çalışması sırasında hareketli çene grubunun mekanizmadan ayrılmaması için geriye doğru belirli bir kuvvet uygulamak gereklidir. Bu işlemi gergi sistemi sağlamaktadır.
6. **Ana Kırıcı Gövdesi:** Çene kırıcıların diğer bileşenlerini bir araya getiren çelik konstrüksiyon yapıdır. Kalınlığı kırıcı büyüklüğüne göre değişen iki ana plakadan ve destek parçalarından oluşmaktadır. Üzerine kırıcının tüm parçaları kaynaklı veya cıvatalı olarak monte edilmektedir.



Şekil 2.1: Çeneli kırıcının ana bileşenleri

Jiroskopik Döner Kırıcı (Gyratory)

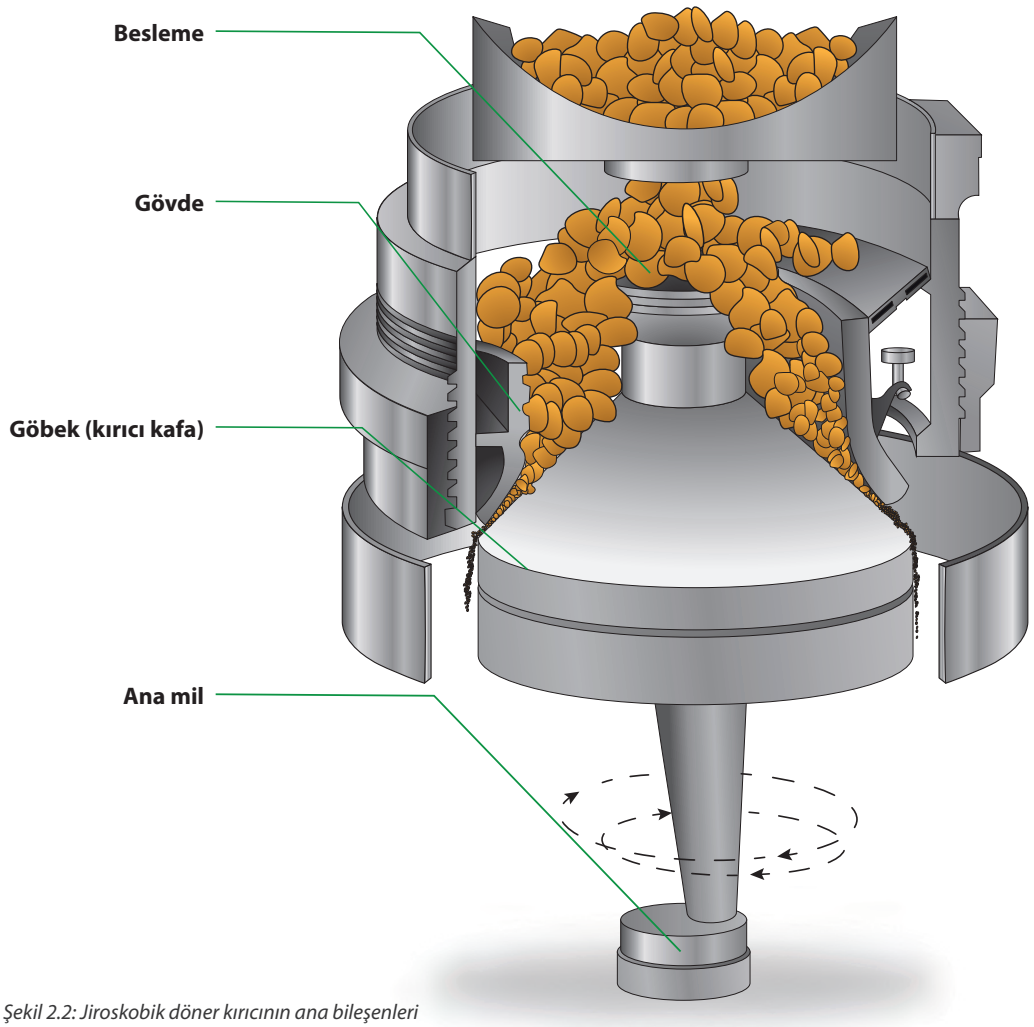
Çeneli kırıcıların kapasitelerinin yetmediği yerlerde döner kırıcılar büyük boyutları ve yüksek kapasiteleriyle kırma ihtiyacını karşılamaktadır. Tam süre ile kırma yapmalarından dolayı kapasiteleri çeneli kırıcılardan daha yüksektir. 900 t/sa. üstündeki kapasitelerde çeneli kırıcılar tercih edilmektedir.

Beslemesi yapılan cevherin; sıcak dövme krom, molibden, nikel alaşımlı hareketli konik biçimli eksantrik mile bağlı kırıcı kafa ve sabit yan duvar arasına sıkışması ile boyut küçültmesi gerçekleştirilir. Eksantrik milin görevi cevherin aşağı doğru akarken sıkışmasını önleyerek rahat kırma işlemi sağlamaktır.

Jiroskopik döner kırıcı 3 ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.2). Bu bileşenler şunlardır:

1. **Gövde:** Üst gövde iç yüzeyleri konkavlarla kaplı, ters koni şeklindedir. Alt kısım ise muhafaza ve taşıyıcı görevindedir.
2. **Göbek (Kırıcı Kafa):** Sert mangan çeliğinden yapılmıştır. Çan şeklinde ana mil ile birlikte dönmektedir.
3. **Ana Mil:** Köprü ortasında asılı hâlde durur ve alt kısmı hızla dönebilen niteliktedir. Sabit kırma zonu içinde eksantrik jiroskopik hareketi nedeniyle konik bir alanı tarar.

Oynar milli ve sabit milli olarak iki çeşittir. Hareketli milliler, hidrolik sisteme sahip olanlar tıkanıklık durumunda üst kısmı hareket ettirerek tıkanıklığı giderir.



Şekil 2.2: Jiroskobik döner kırıcının ana bileşenleri

Şoklu (Darbeli) Kırıcılar

Darbeli kırıcılar, en sert taşları istenilen boyuta getirmek için en çok tercih edilen kırıcılardandır. Primer kırıcı ve sekonder kırıcı olarak da kullanılır. Çeneli kırıcılara göre daha ince malzeme elde edilir.

Darbeli kırıcı, ocaktan gelip ızgaradan geçen büyük boyutlu malzemenin, rotor üzerinde bulunan paletlere darbe ve çarpma etkisi ile ana gövdesindeki pandül üzerinde dizili olan astarlar sayesinde malzemenin parçalanmasını sağlar (Görsel 2.4). Bu parçalanma, rotor üzerindeki paletlere uygulan darbe ve çarpmanın etkisiyle ve ana gövdedeki pandül üzerinde dizili olan astarlar sayesinde olur. Darbeli kırıcıların bir diğer özelliği ise aşınan parçalarının değiştirilebilir olması ve bu parçalar değiştirildiğinde kırıcının ömrünü uzatmasıdır. Hidrolik açılır gövdesi sayesinde bakımları kolaylıkla yapılabilir. Kırma prensibi sayesinde indirgeme oranı çeneli kırıcılardan daha yüksektir.

Darbeli kırıcı dört ana bileşenden oluşur. Bu bileşenler şunlardır:

1. **Rotor:** Makinenin dönen parçalarıdır. Rotor üzerinde bulunan güçlendirilmiş disk ve palet dayama parçaları, kamalı sistemle kolayca değiştirilebilmektedir. Taşların yapısına göre krom ya da mangan alaşımlı çelik döküm seçenekleriyle güçlü paletler kullanılmaktadır.
2. **Gövde:** 20-40 mm kalınlıkta birinci sınıf çelik sacdan imal edilir. Hidrolik pistonlar vasıtası ile açılır kapanır gövde ve bakım vinci ile kolaylıkla rotora, aşındırma parçalarına ulaşım sağlanarak tamir ve bakımı yapılabilir.
3. **Pandül:** Birbirinden bağımsız alt ve üst olmak üzere iki adet pandül sistemi bulunmaktadır. Talep doğrultusunda gövdeye üçüncü pandül ilave edilebilir şekilde tasarlanarak imal edilmiştir. Emniyetli pandül sistemi sayesinde makine içerisine düşebilecek malzemeleri esneyerek riski minimuma indirebilmektedir.
4. **Aşındırma Parçaları:** Aşınmaya karşı dirençli, manganlı çelik dökümle güçlendirilmiş astarlar kullanılmaktadır.

Görsel 2.4: Darbeli kırıcı

Primer Kırıcıların Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

- Çeneli kırıcılara daha büyük boyutta malzeme beslenebilmektedir. Malzeme büyük bloklardan oluşuyorsa çeneli kırıcı tercih edilmelidir.
- Kırıcı seçiminde kapasite en önemli faktörlerden biridir. 180-200 ton/saat kapasiteli tesislerde küçük kırıcı, 250-400 ton/saat kapasiteli tesiste büyük kırıcı ihtiyacı karşılamaktadır.
- Çok yüksek kapasiteli tesislerde ise büyük kırıcı (+ 750 ton/saat) tercih edilmektedir.
- Kırıcıların ilk yatırım ve işletme maliyetleri boyutlarına göre farklılık gösterir. Bunun için seçim yaparken kapasite ve maliyet birlikte düşünülmelidir. Ton başına kırma maliyeti en düşük seviyede olacak şekilde seçim yapılmalıdır.

Primer Kırıcıların Karşılaştırılması

- Bir tesiste çeneli veya döner kırıcının hangisinin kullanılacağına karar vermede en önemli faktörler, kırıcının kavraması istenen besleme malının maksimum tane büyüklüğü ve kapasitesidir (Görsel 2.5).
- Döner kırıcıların kırma kapasiteleri yüksektir.
- Jiroskopik kırıcılar devamlı çalışırken çeneli kırıcılar fasılalı olarak çalışır.
- Çeneli kırıcı bütün kırma yüzeyi ile yarı sürede kırma yaparken döner kırıcılar yarım yüzeyleri ile tam sürede kırma yapar.
- Jiroskopik döner kırıcılar tıkanıklı beslemeye uygundur. Dolayısıyla kırma zonu sürekli dolu tutulabilmektedir.
- Döner kırıcılar büyük işletmeler için daha avantajlıdır. Maksimum kapasitede ton cevher başına enerji sarfiyatı daha azdır.
- Çeneli kırıcılar kapasiteden ziyade kırıcı ağız açıklığının önemli olduğu hâllerde daha avantajlıdır.
- Çeneli kırıcının ilk yatırım ve bakım masrafları döner kırıcıdan biraz daha düşüktür.
- Çeneli kırıcının bakım, montaj ve taşınma gibi avantajları vardır.
- Killi, rutubetli ve plastik özellik gösteren malzemelerin kırılmasında daha büyük salgı genliği nedeniyle çeneli kırıcı daha avantajlıdır. Döner kırıcılar daha ziyade sert, aşındırıcı malzemeler için tercih edilmektedir.
- Hem çeneli kırıcının hem de döner kırıcıların ufalama oranları 3 ile 11 arasında değişmektedir.

Görsel 2.5: Elmas işleme tesisi kırıcısı

- **Sekonder (İkincil) Kırıcılar**

Genel olarak birincil kırma makinelerinde kırılan ürünü öğütme öncesi uygun bir boyuta indirmek üzere tasarlanmış olup çoğunlukla primer kırıcılarla seri hâlde çalışır. Bu tip kırıcılar primer kırıcıdan daha küçük ve hafif ekipmanlardır. Bu kırıcılara beslenen malzeme genellikle 150 mm'den daha küçüktür. Sekonder kırma işlemlerinde en çok jiroskopik döner kırıcıların modifiye olmuş şekli olan konik kırıcılar kullanılmaktadır. Birinci kademe sonrası elde edilen ürünün yeniden kırıldığı ikinci kademe kırıcılar; çekiçli, konik merdaneli, darbeli, tersiyer ve hibrit kırıcılar olmak üzere altıya ayrılır.

Çekiçli Kırıcılar

Kullanılacakları malzeme doğru seçildiğinde yüksek kapasite ve yüksek performans gösteren rotorlu kırıcılardır (Görsel 2.6). Çekiçli kırıcılar materyale bağlı olarak granül ebadı kadar küçük ürün alımında kullanılır. Malzeme, rotor üzerinde dönen çekiçlerin astar ve ızgaraya çarpmasıyla kırılmaktadır.

İkincil kırıcı grubunda yer alan çekiçli kırıcı basınçtan ziyade darbe zorlaması ile cevheri boyut küçültmeye zorlamaktadır. Serbest hâlde düşen cevher, alaşımlı çelikten imal edilen çekiçlerin darbesi ile aşınmaya dayanıklı özel astar plakalara da çarparak iç gerilmeler oluşturur ve kırılır. Çıkış parça boyutu rotor altında bulunan ızgara sayesinde cevherin istenen boyuta inmesine olanak sağlamaktadır. Pomza, perlit, kireç, kömür, alçıtaşı, kalker (kalsit), barit, dolomit ve buna benzer birçok orta sertlikte cevherlerin kırılmasında kullanılmaktadır. Darbe ve basınçla kırılma arasında iki temel farklılık vardır. Basınç ile kırılmada malzemede oluşan gerilme kuvvetleri kılcal çatlaklara neden olur ve malzeme kırıcıdan çıktıktan sonraki aşamalarda parçalanmaya devam edebilmektedir. Darbe ile kırılmada ise ani kırılma olduğundan sonraki aşamalarda malzemede kırılma meydana gelmez.

Görsel 2.6: Çekiçli kırıcı

Çekiçli kırıcılar dört ana bileşenden oluşur. Bu bileşenler şunlardır:

1. **Rotor:** Yatay eksen etrafında dönen bir göbek ve bu göbeğin etrafına dizilmiş çekiçler bulunur.
2. **Gövde:** Aşınan parçaların kolaylıkla değiştirilebilmesine olanak sağlayacak şekilde iki parçadan oluşan yüksek aşınma ve darbe direncine sahip çelikten imal edilir.
3. **Çekiçler:** Gövde ağzından giren cevher; öncelikle çekiçlere, çekiç darbesi sonrası aşındırma parçalarına, astarlara ve birbirlerine çarparak kırılır. Çekiçler kırılacak malzemenin cinsine göre yüksek manganlı, kromlu vb. alaşım kullanılarak üretilir.
4. **Astarlar:** Gövdenin iç kısmındaki malzeme çekiçlerin darbesiyle astarlara çarparak kırılır. Aşınma ve darbeye karşı dirençli, manganlı çelik döküm astarlar kullanılmaktadır. Aşınan astar parçaları değiştirilmektedir.

Çekiçli kırıcılar, birçok mineralde kırma oranı çok yüksek olduğundan tercih edilmektedir. Rotor hızı ve ızgara açıklığının ayarlanabilmesi sayesinde çıkan ürün boyutları istenilen ebata kolaylıkla getirilebilmektedir. Sert ve aşındırıcı malzemede de kullanılabilen çekiçli kırıcılar; kolay bakım imkanı, hızlı parça değişimi, yüksek boyut küçültme oranı, düşük yedek parça maliyeti ve ayarlanabilen ızgara ile ürün kontrolü gibi başlıca unsurlarıyla bir çok işletmede tercih edilen bir kırıcı tipidir.

Konik Kırıcılar

Oynar milli jiroskopik döner kırıcıya benzemektedir. Ana mil, kırıcı kafa ve göbek, kesik koni şeklinde üç parçadan oluşur. Daha kısa olan ana mil, üstten asılma yerine kırıcı kafa altında bulunan alt gövdeyle irtibatlı küresel yatak tarafından taşınmaktadır. Geniş bir ağız açıklığı gerekmediğinden üst gövde diğer döner kırıcılarda olduğu gibi yukarıdan aşağıya daralan bir biçimde değil, genişleyen bir kesik koni şeklindedir (Görsel 2.7). Kırılan malzeme için daha geniş bir boşalma alanı sağlamaktadır. Bu, konik kırıcıya yüksek kapasite temin etmektedir. Konik kırıcılar, kırıcı kafa alt çapı ile tanınmaktadır. Göbek konisi salgı genliği, primer kırıcılardan beş kat daha fazla olabilir. Konik kırıcılarda yüksek dönme hızları (400-700 dev/dk.) kullanılmaktadır. Salgı genliği ve hızı büyük olduğundan malzeme basınçtan ziyade darbe etkisiyle kırılmaktadır. Ufalama oranları 3-7 olmasına rağmen bazı durumlarda 28'e kadar çıkabilmektedir.

Görsel 2.7: Konik kırıcı

En çok tercih edilen kırıcılar şunlardır:

- **Standart Tip:** İkincil kırma işlemleri için tasarlanmıştır.
- **Kısa Kafalı Tip:** Daha ince veya üçüncül (tersiyer) kırma için tasarlanmıştır.

İkisi arasındaki en önemli fark kırma zonundadır. Standart tipte kırma zonu basamak şeklinde astarlarla kaplıdır, böylece daha iri besleme (0,5-6 cm) yapılabilmektedir. Kısa kafalı tipte kırıcı kafanın konikliği daha diktir. Böylece ince malzemenin tıkanması önlenmektedir.

Merdaneli Kırıcılar

Merdaneli kırıcı; orta sert, sert ve kırılgan malzemeleri hızlı, güvenli ve verimli bir şekilde primer ve sekonder kırmak için kullanılmaktadır. Yatay ve paralel eksenler etrafında zıt yönlerde dönen iki silindirden ibarettir (Görsel 2.8). Kırılacak parça bu iki tambur arasına girerek baskı zorlaması ile kırılır. Endüstriyel tesis ve laboratuvarlarda pilot çalışma ve yığın kırma çalışmalarında çok faydalı olmaktadır. Birbirine paralel silindirik valsler çift motorla tahrik edilmelidir. Silindirik valsler (taşlama) üzerinde yüksek mangan alaşımlı piramit şeklindeki kırıcı elemanları arasında kırma gerçekleşmektedir. Silindirik valsler arası ayarlanabilmektedir. Kapasiteleri merdane boyutuna, merdane yüzey şekline, merdane dönüş hızına bağlı olarak değişmekle birlikte 200 ton/saat'e kadar besleme yapılabilmektedir.

Görsel 2.8: Merdaneli kırıcı

Merdaneli kırıcılar dört ana bileşenden oluşur. Bu bileşenler şunlardır:

1. **Merdane:** Merdaneli kırıcılarda iki adet birbirinden bağımsız iki mil üzerinde krom, molibden, mangan ile güçlendirilmiş çelik merdane bulunmaktadır. Mil bir rulman ile tahrik ünitesine bağlıdır. Yivli, düz veya dişli yüzeylere sahiptir. İnce malzeme kırmak için ikisi düz, orta irilikte malzeme için biri düz, biri yivli ve kalın malzeme kırmak için ikisi yivli merdane kullanılmaktadır.
2. **Gövde:** Genellikle çelik konstrüksiyondan imal edilmiş olup darbelere dayanıklı ve tozu hapsedecek özelliktedir. Tamir ve bakımı kolaydır.
3. **Gergi Çubuğu ve Gergi Yayı:** Gergi çubuğu merdanelerin birbirine yaklaştırılıp uzaklaştırılmasını sağlar. Gergi çubuğu sayesinde merdaneler yaklaştırılarak daha küçük boyutlu malzeme elde edilir. Gergi yayı ise iki merdane arasında kalan iri malzemenin kırılım esnasında ortaya çıkan gerilimini azaltmak için kullanılır.
4. **Volan:** Hareketli merdanenin bağlı bulunduğu mile sabitlenen volan, dişli veya kayış kasnak yardımıyla elektrik motoruna bağlı olup dönme hareketinin aktarımında kullanılır.

Darbeli (İmpact) Kırıcılar

Hem birincil (primer) hem de ikincil (sekonder) kırma kademesinde kullanılmaktadır. Basınçla kırılan parçalardaki iç gerilmeler daha sonra çatlamalara neden olmaktadır. Darbe ise ani kırılmalara neden olmakta ve parça içinde gerilme bırakmamaktadır. Bu durum tuğla yapımı, bina inşaatı, yol yapımı, çimento için önemlidir. Diğer önemli avantajı kübik yapıda ürün vermesidir. Taş ocaklarında mıcır üretiminde kullanılmaktadır (Görsel 2.9). İçeriğinde %15'ten fazla silis olan cevherler için uygun değildir. Kömür, kalker, jips, çakıl ve beton agrega için uygundur. Yüksek ufalama oranı (BKO=40) istendiğinde, kırılan üründe fazla ince malzemenin zararlı olmadığı hâllerde ve cevherin aşındırıcılığı fazla değilse primer kırma işlemlerinde kullanılabilmektedir.

Çelikten yapılmış çeper içinde, yatay bir eksen etrafında dönen bir göbek ve bu göbeğin çevresine yerleştirilmiş çekiçler bulunmaktadır. Çekiçler mangan çeliği veya krom karbit içeren nodüler dökme demirden aşınmaya dayanıklı olarak yapılmaktadır. Dik milli ve yatay milli olarak üretilebilmektedir. Dik milli olanların astar aşınması azdır. Dönen çekiçler üzerindeki parçalar, önce çekiç darbesi ile sonra öğütme plakalarıyla ve birbirlerine çarparak kırılmaktadır. Kırma bölgesinin altı açık veya bir elek-ızgara ile kaplıdır.

Görsel 2.9: Darbeli kırıcı

Tersiyer Kırıcılar

Malzeme özellikleri nedeniyle kırma işlemi verimli bir şekilde yapılamadığı durumlarda öğütmeden önce bir üçüncü derece kırma kademesi ilave edilebilmektedir. Tersiyer kırıcılar da bütün yönleri ve amaçları itibariyle sekonder kırıcılara benzer, sadece çıkış açıklıkları daha küçüktür. Yeni işletme projelerinde geleneksel bir tersiyer kırıcı yerine öğütme performansına sahip bir tür konik kırıcı olan vibrocone kırıcılar tercih edilmektedir. Bu kırıcılar kırma ve öğütme prensiplerini tek ekipmanda birleştirmektedir.

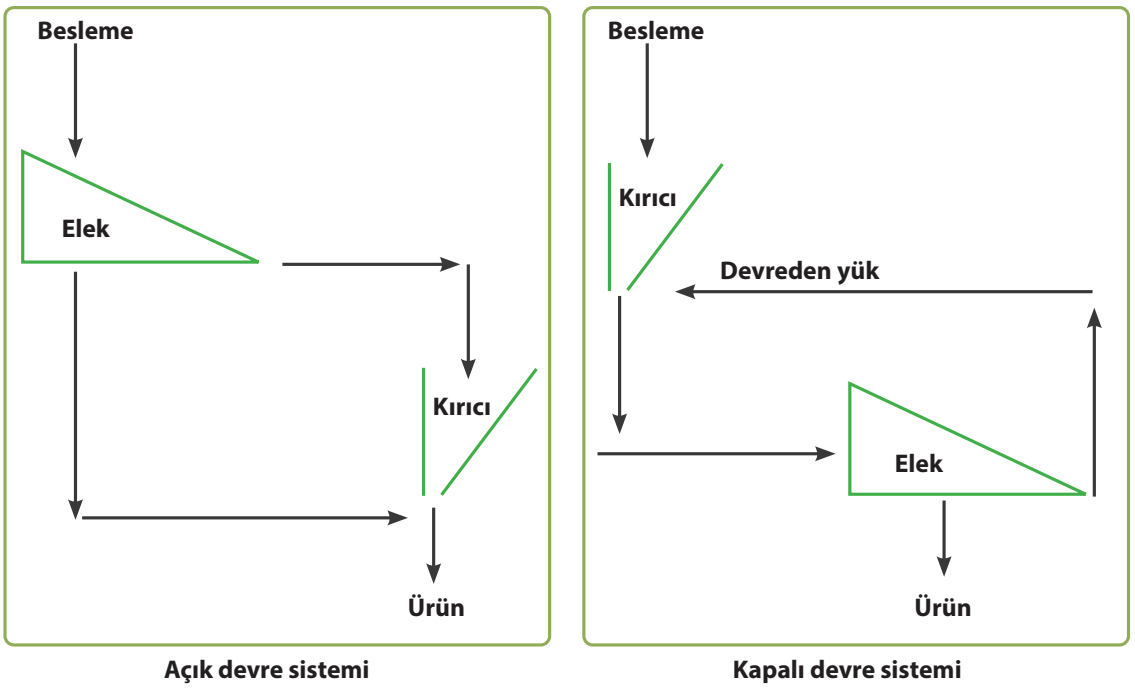
Hibrit Kırıcılar

Klasik kırma ekipmanları (çeneli, konik vb.) yüksek miktarda killi ve nemli cevher uygulamaları için tasarlanmamıştır. Yine bu tür kırıcılar maksimum kırma oranı gözetilerek tasarlandıklarından bazı prosesler için uygun olmamakta yani cevheri gereğinden fazla ufalamaktadır. Hibrit kırıcılar (sizer kırıcı+merdaneli kırıcı) ekipman yapısı ve özel sıyırıcı sistemlerinin sonucu olarak kil ve nem kısıtlaması olmadan çalışabilmektedir. Ayrıca minimum düzeyde ince malzeme üretebilmek için (Örneğin kömür ve bor için ürün ince, oranı çok az istenir.) özel tasarlanmış astar yapısına sahiptir. Ayarlanabilen ürün açıklığı sayesinde üretim ekibinin bu değişiklikleri kolayca uygulaması prosese esneklik kazandırmaktadır. Geniş bir uygulama bandına sahip olan hibrit kırıcılar ile 1500 mm'ye kadar besleme boyutu, 31,5 mm'ye kadar ürün boyutu yaklaşık ¼ oranında boyut küçültme ile kırılabilirken kapasiteleri 6000 ton/saate kadar çıkabilmektedir.

2.1.2. Kırma Devreleri

Kırılacak malzemenin elek veya kırıcı sisteminden bir defa dönüşümsüz olarak geçmesi durumuna **açık kırma sistemi**, kırılmış malzemenin elendikten sonra elek üstü diye tabir edilen büyük boyutlu tanelerinin sistem içine geri döndürülerek kırılması işlemlerine **kapalı devre sistemi** denir.

Genel olarak birincil kırıcılar açık, ikincil kırıcılar kapalı devre sistemi ile çalışır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Açık ve kapalı devre akım şemaları

DİKKAT EDİYORUM

Kırma İşleminde İş Sağlığı ve Güvenliği

Kırma işlemi sürecinde alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

1. Sağlıklı ve güvenli çalışma ortamına uygun makine ve alet seçimi yapılmalıdır.
2. Sağlıklı ve güvenli çalışma koşulları dikkate alınmalıdır.
3. Kırıcılarda ve kırma ünitelerinde çalışacak kişilerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini alması sağlanmalıdır.
4. Kırma işleminde kullanılan araç ve gerecin kullanım talimatı, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirler talimat şeklinde makine üzerine asılmalıdır.
5. Kırıcılar ve kullanılan makineler hakkında çalışanlara eğitim verilmelidir.
6. Tüm kırıcı ekipmanlarının yanında güvenlik bilgi formları bulundurulmalıdır.
7. Oluşabilecek iş kazası sonrasında kırıcıları durdurmak üzere acil durdurma butonları olmalıdır.
8. Kırma işlemi sırasında ortamda oluşabilecek tehlikelere karşı iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri alınmalıdır.
9. Kırma işleminde çalışanlar gerekli kişisel koruyucu donanımlarını takarak işlem yapmalıdır.
10. Kişisel koruyucu donanımlar ham maddenin işlevine uygun ve oluşabilecek zararları önleyecek nitelikte seçilmelidir (koruyucu maske, ayakkabı, gözlük, kulaklık vb.).
11. Her işletmede bir iş güvenliği uzmanı bulundurulmalı, iş güvenliği kuralları firma içi, dışı olmak üzere belirlenmeli ve bu kurallara uyulmasına teşvik edilmelidir.
12. Gerekli iş güvenliği eğitimi firma tarafından çalışanlarına verilmelidir.
13. Kaza sıklığını en aza indirmenin yolları araştırılmalıdır.
14. Çalışanlar işe alınırken sağlık muayenesinden geçirilmeli ve kendilerine uygun olan işlere yerleştirilmelidir.
15. İş yerlerinde sağlık personeli bulundurulmalıdır.
16. Kuralcı değil, önleyici yaklaşım benimsenmelidir.
17. Çalışma süresi, ek mesailer çalışanın ruhsal ve fiziksel sağlığı göz önünde bulundurularak ayarlanmalıdır.

1. ETKİNLİK

İş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini alarak çeneli ve konili kırıcı yardımıyla cevherin ufalanabilme özelliklerini gözlemlemek için aşağıda verilen işlem adımlarını uygulayınız.

Araç Gereç

- Deney numunesi (kumtaşı)
- Kırıcılar (çeneli ve konik kırıcı)
- Laboratuvar elekleri, plastik leğen, paslanmaz çelik kaplar, tartım aleti, fırça

İşlem Basamakları

- Örnek numuneyi çeneli kırıcıya ekleyiniz, kırılan ürünü daha sonra konili kırıcıya ekleyiniz.
- Kırılan numuneyi elek analizi için ayırınız.
- Kırma işlemi hakkında genel bilgi veriniz.
- Uygulamada kullanılan kırıcılar hakkında bilgi veriniz.
- Kırılan numunelerin boyut dağılımlarını karşılaştırarak not alınız.
- Uygulama sonucunda bir rapor hazırlayarak sunum yapınız.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Uygulama başlamadan önce kişisel koruyucu ekipmanları gözlük, eldiven vb. kullandı.			
Numunenin işlem öncesi durumunu not aldı.			
Numuneleri kırıcıya göndermeden önce uygun boyutta parçalara ayırdı .			
Çeneli kırıcıya numune eklenirken koruyucu ekipmanlarını kullanarak gerekli güvenlik tedbirlerini aldı.			
Numuneyi çeneli kırıcıdan konili kırıcıya eklerken makineyi doğru çalıştırdı.			
Eleme işlemi yapılırken laboratuvar eleklerini doğru bir şekilde seçti.			
Kırılan numuneleri boyut dağılımlarına göre ayırdı.			
Çeneli kırıcı ve konili kırıcıyla elde edilen ürünlerin parçacık boyutlarını karşılaştırarak not aldı.			
İşlem sonrasında kullanılan ekipmanları temizledi.			
Uygulama sonuçlarına ilişkin bir rapor hazırlayarak sundu.			

2. ETKİNLİK

Cevher kırma türleri ve kırma işlemi ile ilgili farklı kaynaklardan araştırma yaparak bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu sınıfınızda paylaşınız. Sunu hazırlarken aşağıdaki açıklamaları dikkate alınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunu süresini belirtiniz.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Cevher kırma işleminin temel ilkelerini, farklı kırma yöntemlerini detaylı ve anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Çekme kırma işlemi ve özellikle çeneli kırıcılar hakkında bilgi verdi.			
Ezme kırma işlemi ve darbeli kırıcılar hakkında bilgi verdi.			
Öğütme işlemi ve değirmenlerin rolüne değindi.			
Boyut küçültme, serbestleştirme ve konsantrasyon hakkında bilgi verdi.			
Sunumda görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Cevher kırma işlemleri sırasında İSG önlemleri ve kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında arkadaşlarından gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

2.1.3. Cevher Öğütme İşlemi

Bir malzemenin tane boyutunu küçültmek için yapılan işlemlere **öğütme** denir. Kuru ve yaş olarak yapılabilen öğütme, kırma gibi bir boyut küçültme işlemi olup boyut küçültme işlemlerinin son basamağıdır ve başarılı bir cevher zenginleştirme işleminin anahtarı durumundadır (Görsel 2.10). Öğütme işlemi 25 mm'den küçük tane boyutlarına sahip malzemelere uygulanmaktadır. Değirmenlerde öğütülecek malzeme; darbe, ezme, kesme ve sürtme kuvvetlerini kullanan değirmen veya öğütücü adı verilen makineler ile mikron boyutuna kadar küçültülebilmektedir.

Görsel 2.10: Taş değirmende öğütme

Bir tesiste cevher veya kömürü öğütmenin başlıca dört amacı vardır. Bu amaca yönelik unsurlar şunlardır:

- **Optimum Tane Boyutu:** Tane boyutu malzemenin zenginleştirilme yöntemlerinde kullanılacak en önemli parametrelerinden biridir. Cevherden alınan numune, seçilecek zenginleştirme yöntemine göre farklı tane boyutlarında teste tabi tutulmaktadır. Test sonucuna göre en iyi sonucu veren tane boyutu seçilerek süreç uygulanmaktadır.
- **Yüzey Alanı Büyütme:** Cevher zenginleştirme yöntemlerinde malzemenin yüzey alanının büyütülmesi özellikle kimyasal yöntemlerin kullanıldığı süreçlerde büyük önem arz etmektedir. Malzemenin yüzey alanının genişlemesi kimyasal reaksiyonun hızlanmasına dolayısı ile zenginleştirmenin daha verimli ve ekonomik olmasını sağlamaktadır.
- **Tane Serbestleştirme:** Kırılmış ve öğütülmüş cevher parçalarına **tane** adı verilir. Tek bir mineral içeren tanelere **serbest tane**, iki veya daha fazla mineral içeren tanelere ise **birleşik (bağlı) tane** denilmektedir. Cevher içindeki değerli ve değersiz minerallerin birbirinden yüksek verim ve yüksek mineral yüzdesi ile ayrılabilmesi ancak yeterli ölçüde bir serbestleşme ile mümkündür. İyi bir serbestleşme veya iyi bir öğütme, ayırma işleminde en önemli rolü oynamaktadır.
- **Teknolojik Nedenler:** Çimentonun hazırlanması için ham maddelerin öğütülme zorunluluğu veya albit ve kolemanit gibi bazı endüstriyel minerallerin ticari kullanımının toz boyutlarda olması önemli bir nedendir.

Öğütme "kuru" veya "yaş" olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Kuru öğütmenin enerji sarfiyatı yaş öğütmeye göre yaklaşık %30 daha fazladır. Bunun başlıca nedeni kuru öğütmede ince tanelerin daha hızlı topaklanması ve öğütücü ortamla teması keserek yastıklama etkisi sonucunda öğütmeyi yavaşlatmasıdır. Ayrıca birim değirmen ve öğütücü ortam ağırlığı dikkate alındığında kuru öğütme yaş öğütmeye göre kapasite yönünden daha düşüktür. Kuru öğütmenin bir diğer sakıncası ise değirmen gövdesinin aşırı ısınması ve bunun sonucunda yüksek hızlarda çalıştırılamamasıdır. Bu yüzden cevher hazırlama tesislerinde öğütme genellikle yaş olarak yapılmaktadır.

Endüstriyel tesislerde öğütme, enerjinin en yaygın ve en verimsiz olarak kullanıldığı işlem kademesidir. Özellikle tane boyutu küçüldükçe tanelerin kırılmaya karşı olan dirençlerinin artmasıyla tüketilen enerji miktarı da artmaktadır. Öğütme konusunda yapılan çalışmaların çoğunda enerji ve boyut küçültme arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece en az enerji ile en fazla boyut küçültmenin yolları araştırılmıştır. Bilindiği gibi konvansiyonel değirmenlerde (çubuklu ve bilyeli) harcanan enerjinin bir kısmı doğrudan boyut küçültmede kullanılmakta, önemli bir bölümü ise faydalı bir iş yapmadan ısı ve ses olarak kaybedilmektedir. Ayrıca 100 mikronun altındaki öğütmelerde konvansiyonel değirmenlerin verimi çok azalmakta (enerji tüketimi aşırı artmakta) ve öğütme ekonomik olmaktan çıkmaktadır.

2.1.4. Öğütmeye Etki Eden Parametreler

Değirmenden çıkan ürünün tane iriliği, kullanılan öğütücü ortamın cinsine ve miktarına, besleme malının cinsine ve miktarına, öğütme süresine ve değirmenin dönme hızına (kritik hız) bağlı olarak değişir.

Öğütücü Ortam Cinsi ve Miktarı

Öğütme işlemlerinde öğütücü ortam olarak çelik, özel alaşımlı veya seramik bilyeler, çelik veya özel alaşımlı çubuklar, çakıllar veya cevherin kendisi kullanılabilmektedir. Öğütücü malzemenin (bilyeli / çubuklu / otojen) miktarı ise değirmen tipine bağlı olarak değişmektedir (Görsel 2.11).

Görsel 2.11: Değirmen bilyesi

Besleme Malının Cinsi ve Miktarı

Değirmene beslenecek malzeme miktarı ve cinsi cevher özelliklerine, değirmen yapısına, çalışma prensibine ve çalışma şartlarına bağlıdır.

Öğütme Süresi

Öğütme işlemlerinde öğütülecek malzemenin değirmen içinde kalma süresi öğütmeyi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemenin değirmen içinde öğütme süresini aşacak şekilde kalması enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bunun aksine öğütmenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan süreden önce değirmenden alınan malzeme tam olarak öğütülmemiş olur. Öğütme süresinin tespiti laboratuvarlarda çeşitli sürelerde öğütme deneyleri yapılması ile elde edilmektedir. Malzemenin öğütme durumu elek analizleri ile kontrol edilmektedir.

Değirmenin Dönüş Hızı

Öğütme işlemlerinde, öğütmeyi etkileyen bir diğer faktör de değirmenin dönüş hızıdır. Değirmen içindeki öğütücü ortam değirmenin dönmesi ile birlikte kazandığı kinetik enerjiyi sürtünme, kesme ve çarpma kuvveti olarak öğünen malzemeye iletmektedir (Görsel 2.12).

Görsel 2.12: Değirmen

Ortamın hareketleri şu üç grupta toplanabilir:

- Kendi ekseni etrafında dönme
- Kayarak yuvarlanma
- Serbest düşme

Bu üç hareketten birinin diğerine oranla azlığı veya çokluğu öğütme olayını etkilemektedir. Düşük hızlarda veya öğütücü astarı aşınarak düzleştiğinde öğütme elemanları (bilye çubuk vb.) yuvarlanarak aşağı kayar, bu duruma **kaskad** denir. Kaskad hareketi ile çok ince tane ve astarlarda daha fazla aşınma oluşmaktadır. Çok yüksek hızlarda ve değirmen yüzeyinin düz olmaması durumunda ise ortamı oluşturan malzeme değirmen içinde daha fazla yükseğe çıkarak buradan düşmekte, düştüğü yerdeki cevherler şok ve aşınma yoluyla parçalanarak öğütülmektedir. Bu harekete de **katarakt hareket** denir. Bu hareket neticesinde daha büyük tane boyutlu eleman ve astarlarda daha az aşınma meydana gelmektedir. Bu iki durumu etkileyen en önemli faktör değirmen hızı ve iç çeper plakalarıdır. Değirmenin verimli çalışması adına cevherin astarla birlikte dönmesini önleyen, optimum tane boyutuna sahip olmasını sağlayan hıza **kritik** denir. Bu hız, yer çekimi kuvvetinin merkezkaç kuvvetine eşitlendiği hızdır ve değirmen çapıyla ters orantılıdır. Genel olarak pratikte uygulanan kritik hız değerleri şöyledir:

- Çubuklu değirmenlerde değirmen hızının %50-65'i
- Bilyeli değirmenlerde değirmen hızının %70-80'i
- Otojen değirmenlerde değirmen hızının %80-85'i

2.1.5. Öğütme Devreleri

Öğütme, prosesin akışına ve cevherin durumuna göre yaş ya da kuru olarak yapılabilmektedir. Cevherin ıslatılması sakıncalı ise kuru öğütme seçilir (Görsel 2.13).

Kuru Öğütme: Çimento, kömür, fosfat kalsit ve bentonit öğütme için endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır.

Yaş Öğütme: Altın, bakır, krom cevherleri, seramik ham maddeleri gibi uygulamalarda kullanılır. Elde edilen öğütülmüş ürün, genellikle yaş bir yöntemle zenginleştirilmektedir.

- Kuru öğütme, yaş öğütmeye göre daha çok güç tüketir (yaklaşık %30).
- Kuru öğütmede kapasite yaş öğütmeye göre daha düşüktür.
- Kuru öğütmede öğütülmüş malzemenin sınıflandırılması daha zordur.
- Kuru öğütmede değirmen gövdesi aşırı ısınır, dolayısıyla yüksek hızlarda çalıştırılamaz.
- Yaş öğütmede klasifikatör ve eleme ile daha kesin ayırma yapılabilmektedir.
- Kuru öğütmede bilye şarjı (%35-45) yaş öğütmeye göre (%40-50) daha azdır.
- Kuru öğütmede aşınmalar daha azdır. Yaş öğütmede bilyeler suyun etkisi ile okside olur (paslanır) ve daha kolay aşınmaktadır.

Görsel 2.13: Farklı boyutlarda öğütülmüş cevherler

2.1.6. Öğütmede Kullanılan Değirmenler

Öğütme amacıyla piyasada çok farklı öğütücü tipleri bulunmakta olup bunlar tamburlu, silindirli, yüksek basınçlı merdaneli, karıştırmalı bilyeli, jet, titreşimli, kavanoz, diskli, yörüngesel, sarkaç, halkalı ve çivili değirmenler olmak üzere günümüzde on iki çeşidi kullanılmaktadır. Bu sayı, teknolojinin ilerlemesi, enerji veriminin daha etkin kullanılması amaçlanarak günden güne artmaktadır.

Öğütücüler endüstriyel ölçekte kullanıldığı gibi aynı zamanda laboratuvar ortamlarında da kullanılmaktadır.

Aktarılan Ortamla Çalışan Konvansiyonel Tambur Değirmenler

Aktarılan ortamla çalışan değirmenlerde öğütme işlemi dönen silindirik, çelik gövdeli bir tambur içerisinde gerçekleştirilmektedir (Görsel 2.14). Öğütücü ortam çelik bilye olduğunda bilyeli değirmen, çelik çubuk olduğunda çubuklu değirmen, çakıl olduğunda çakıllı değirmen ve öğütülen cevherin iri parçaları olduğunda otojen değirmen kullanılır. Öğütme işleminde parçacıklar genellikle 2,5 cm'den 10 mikrona kadar ufalanmaktadır. Değirmen içerisinde öğütme; aktarılan ortamın boyutu, miktarı, hareket çeşidi ve aralarındaki boşluk gibi faktörlere bağlıdır. Değirmen gövdesi döndürüldükçe aktarılan ortam, su ve cevher karışımı; darbe, kesme ve aşındırma mekanizmalarının ortak etkisiyle hareket ederek cevher öğütülmektedir.

Görsel 2.14: Tamburlu değirmen

Tamburlu değirmenlerin bileşenleri gövde, giriş çıkış üniteleri, astarlar ve tahrik ünitesinden oluşmaktadır.

1. **Gövde:** Kırılan ve kırıcı malzemeyi, astarları, tahrik ünitesinin güç aktarımını sağladığı dişli mekanizmayı, giriş çıkış boğazlarını barındıran ve taşıyan ana ünitedir. Kıvrılarak güçlendirilmiş çelik saçtan imal edilmektedir. Gövde genişliği ve kullanılan sac kalınlığı öğütücüye, öğütülmesi istenen malzemeye, kapasiteye göre değişmektedir. Gövde giriş çıkış ünitelerinin de altında bulunan iki yatak üzerine oturtulmuştur. Bu yataklar gövdenin tahrik ünitesi sayesinde dönmesini sağlar.

2. **Giriş Çıkış Üniteleri:** Malzemenin değirmene girişinin sağlandığı bölümdür. Giren malzemenin dışarı taşmasını önlemek ve malzemenin yeterli bir hızla değirmene girmesini sağlamak amacıyla içe doğru yivli bir yapıya sahiptir. Yeterli viskoziteye sahip olmayan cevher beslemesinde giriş ağzına su takviyesi makul ölçüde yapılabilir. Malzemenin değirmen içinde istenen boyuta ulaştıktan sonra çıkış yaptığı yere **çıkış ünitesi** denir. Çıkış üniteleri öğütme metoduna, değirmenin tipine, beslenen ve öğütücü malzemeye göre düz, delikli, ters spiralli, ızgaralı taşma ve tamburdan boşaltma şeklindedir.

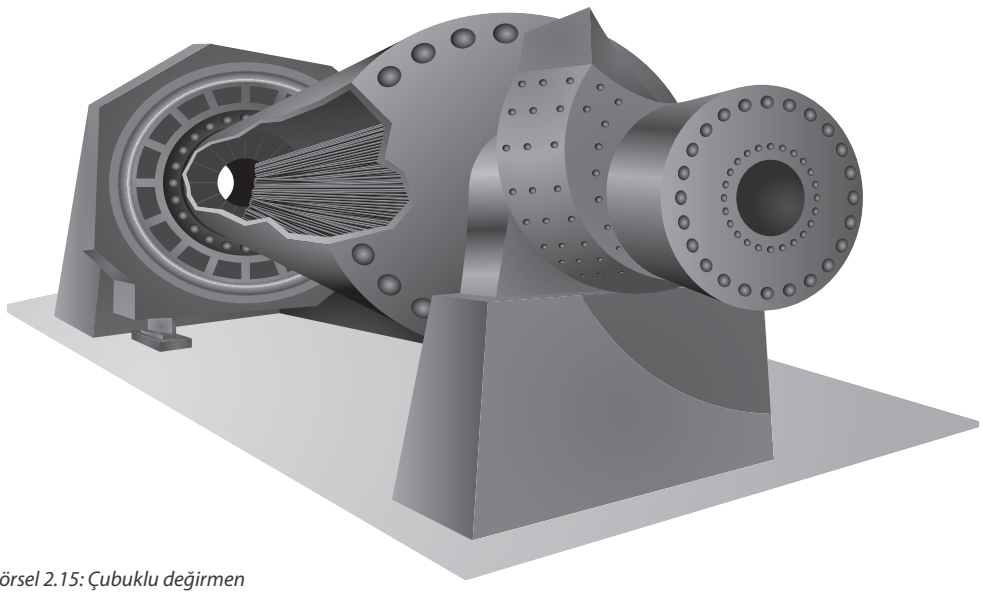
3. **Astar:** Gövdenin iç çeperinin aşınmasının önlenmesi ve kırıcı malzemelerin kritik hıza ulaşmadan çeperden ayrılmasını sağlaması amacıyla dizayn edilmiştir. Plakalar çelik, kauçuk ve seramik maddelerden üretilmiştir. Çelik plakalar kuru ve yaş, kauçuk plakalar yaş, seramik plakalar demir muhteviyatı içermeyen kuru öğütmede kullanılmaktadır.

4. **Tahrik Ünitesi:** Tahrik ünitesi değirmenin gövdesine sabitlenen ana dişli, redüktör ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Ana dişli; gövdenin giriş ağzı tarafında, gövdeyi çepeçevre saran, döküm veya çelik dökümden imal edilmektedir. Redüktörden aldığı güç ile değirmeni döndürmektedir. **Redüktör**, motordan aldığı gücü (tork ve devir) dişliler yardımıyla istenen düzeye çıkarmaya veya düşürmeye yarayan dişli sistemidir. Elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek değirmenin dönmesini sağlamakla görevlidir. Motorun sağladığı mekanik enerji değirmene redüktör yardımıyla aktarılmaktadır.

Çubuklu Değirmenler

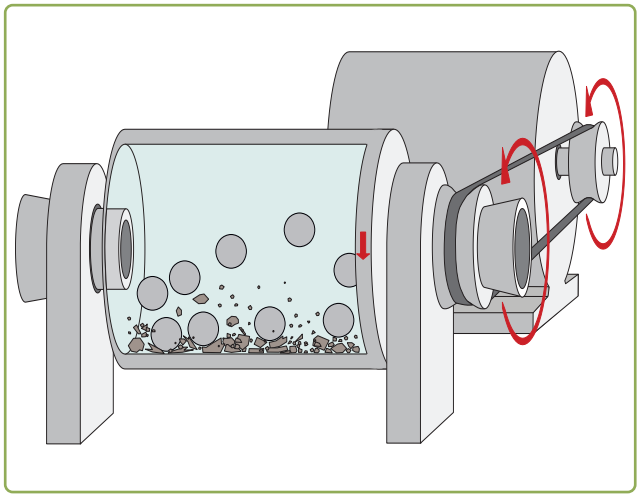
Çubuklu değirmenler genellikle birinci kademe öğütme devrelerinde kullanılır. İri boyutta kaba öğütücüler olarak da bilinmektedir (Görsel 2.15). Genellikle yaş öğütmede kullanılır. Kırma işleminden sonraki ürünü alıp bilyeli değirmene hazırlamaktadır. Çubuklu değirmenlerde boy çap oranı (L/D) 1,5 ile 2,5 arasındadır. Bu oranın 1,25'in altına olması, değirmen içindeki çubukların birbirine karışarak öğütme ortamının bozulmasına neden olur. Oranın 2,5'ten büyük olması ise çubukların kırılmasına, eğilmesine, istiflerinin bozulmasına neden olmaktadır. Çubuklu değirmenin döndürülmesi için gerekli güç, çubukların değirmen içinde kapladıkları hacme (şarj oranına), değirmenin kritik hızına ve değirmen iç çapına bağlıdır. Çubukların değirmen içerisindeki kapladıkları hacim genellikle %40-45 arasındadır. Çubuklu değirmenler kritik hızlarının %50-75'i oranlarında çalıştırılmaktadır. Bu sayede çubuklar serbest düşme yerine kayarak hareket eder ve yuvarlanarak taneleri öğütür. Değirmenlerde malzemeler, çubukların arasında bir hat boyunca öğütüldüğünden öğütme sonrası homojen bir ürün elde edilmektedir. Bu nedenle çubuklu değirmenler, bilyeli değirmenler öncesi açık devre çalışır. Ayrıca şlam boyutunda az ürün verdiği için flotasyon öncesi öğütme işlemi için de uygundur. Çubuklu değirmenlerin diğer değirmenlere göre başlıca avantajları şunlardır:

- Öğütme şekli, ürünün tane boyut dağılımını kontrol ettiğinden kapalı devre öğütmeye gerek kalmaz.
- Çubuklar arası boşluk az olduğundan öğütme verimi daha yüksektir.
- Aşınan çubukların değiştirilmesi daha kolaydır.



Görsel 2.15: Çubuklu değirmen

Bilyeli Değirmenler



Görsel 2.16: Bilyeli değirmen

Öğütme ortamı çelik bilyelerden oluşan değirmenlere **bilyeli değirmen** denir (Görsel 2.16). Genellikle öğütmenin son kademesinde kullanılmaktadır. Çubuklu değirmenlere göre daha ince ürün veren bu değirmenlerde boyun çapa oranı 1 ile 1,5 arasında değişmektedir. Genel olarak ince öğütmelerde değirmenin boyu daha uzundur. Değirmen boyunun çapa oranı 3 ile 5 arasında ise **tüp değirmen** denir. Tüp değirmenler, değişik beslemelere sahip kompartımanlara bölünmüştür ve genellikle klinker gibi kuru öğütmelerde kullanılmaktadır. Öğütücü ortam çelik bilye yerine çakmak taşı veya seramik çakıllardan oluşuyorsa çakıllı değirmen adı verilir. Bileli değirmenler; silindir gövdeli değirmen, silindir konik gövdeli değirmen ve konik gövdeli değirmen olmak üzere farklı gövde şekillerine sahip olabilmektedir. Bilyeli değirmenlerde öğütme, bilyelerin cevher taneleri ile noktasal teması sonucunda gerçekleşmektedir. Yeterli süre verilmesi durumunda bu değirmenler ile istenilen incelikte ürün alınabilmektedir. Bu yüzden bilyeli değirmenler ile 50 mikronun altına öğütme yapmak mümkündür. Ancak açık devre çalıştırılan bilyeli değirmenden elde edilen ürün çok geniş tane boyutuna sahiptir. Bu problemi halletmek için malzemenin değirmen içerisinde kalma süresinin az olduğu kapalı devre öğütme sistemi kullanılmaktadır. Başka bir deyişle bilyeli değirmenlerde öğütülmüş ince ürün, sistemden uzaklaştırılarak iri tanelerle öğütme işlemine devam edilmelidir.

Otojen Değirmenler

Öğütücü ortam olarak iri cevher parçalarının kullanıldığı öğütme şekline **otojen öğütme** denir. Otojen değirmenler, bir çeşit aktarılan ortamla çalışan tamburlu değirmenlerdir. Yaş veya kuru olarak çalıştırılabilir. Değirmen içerisinde öğütme olayı çatlatma, kesme ve aşındırma kuvvetleri ile gerçekleştirilmektedir. En büyük avantajı öğütücü ortamın olmaması ve klasik değirmenlere oranla daha az oranda şlam oluşturmasıdır ancak öğütücü ortam sarfiyatındaki avantajına karşılık, öğütülen her ton cevher için %5-25 daha fazla güç tüketmektedir. İşletmelerden edinilen tecrübelere göre otojen değirmenlerde astar sarfiyatı çubuklu ve bilyeli değirmenlerin astar sarfiyatından daha fazladır ancak bilye aşınmasının önlenmesi ile toplam çelik sarfiyatında %50 azalma görülmekte ve işletim maliyeti önemli ölçüde düşmektedir. Tesislerde otojen bir öğütme işlemi için gerekli olan unsurlar şunlardır:

- Yeteri miktarda iri cevher parçası bulunmalıdır.
- İri cevher parçaları yuvarlak veya yuvarlağa yakın şekilli olmalıdır.
- İri parçalar orta sertlikte olmalı ve çabuk ufalanmamalıdır.

Otojen değirmenler önceleri yalnızca bazı demir cevherlerinin öğütülmesi için kullanılmaktaydı. Özellikle bakır cevherinin çabuk ufalanır olması otojen değirmenlerin kullanımını engellemiştir ancak son yıllarda bu değirmenlerin içerisine belirli boyutta bilye ilave edilerek yarı otojen değirmenler geliştirilmiştir. Bu sayede otojen değirmenler bakır ve metalik olmayan diğer birçok cevherlerin öğütülmesinde yaygın olarak kullanılabilir olmuştur.

Valsli (Silindirli) Değirmenler

Bu tür değirmenlerde öğütücü silindirler (rulolar), sabit veya hareketli bir tabla üzerinde dönmekte tabla ve rulo arasında kalan cevher basma ve sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile ufalanmaktadır. Tablalar öğütme rulolarının şekline göre düz veya oluklu olabilmektedir. Öğütme ruloları üzerine istenilen boyut ve kapasiteye göre belirli bir basınç uygulanmaktadır. Öğütülmüş malzeme ortamdan havalı separatörlerin (emici fanların) oluşturduğu hava akımı ile ya da kömürün öğütülmesinde olduğu gibi sıcak inert gazlar ile sürüklenerek alınmaktadır. Klasifikatöre giren öğütülmüş malzeme incesinden ayrılmakta ve irilerle tekrar öğütmeye devam etmektedir. Kapasiteleri cihaz güç ve boyutuna bağlı olarak 2 ile 600 ton/saat arasında değişebilir. Motor güçleri ise 4000 kW'a kadar çıkabilmektedir. Valsli değirmenler **yatay** veya **dikey** olmak üzere başlıca iki tipte tasarlanmıştır (Görsel 2.17).

Görsel 2.17: Dikey valsli değirmen

Dikey valsli değirmenlerin yüksek öğütme maliyeti ve sık aşınma sorunun giderilmesi için 1980'lerin sonlarına doğru yatay valsli değirmenler geliştirilmiştir. Bu değirmen kendi ekseni etrafında dönen bir silindir manto ve iç tamburdan oluşmaktadır. Öğütülecek malzeme değirmenin iç yapısı ve merkezkaç kuvvetlerinin etkisi ile değirmenin içinden değirmenin çıkışına doğru düzenli olarak hareket eder ve manto ile tambur arasında malzemeyi sıkıştırarak öğütür. Diğer değirmenlerle karşılaştırıldığında %30 ile 70 arasında bir enerji tasarrufu sağladığı belirtilmektedir. Ayrıca gürültü seviyesi de diğer değirmenlere göre daha düşüktür. Az yer kaplaması, basit yapısı, işletme kolaylığı ve düşük titreşimli olması diğer avantajlarıdır.

Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmenler

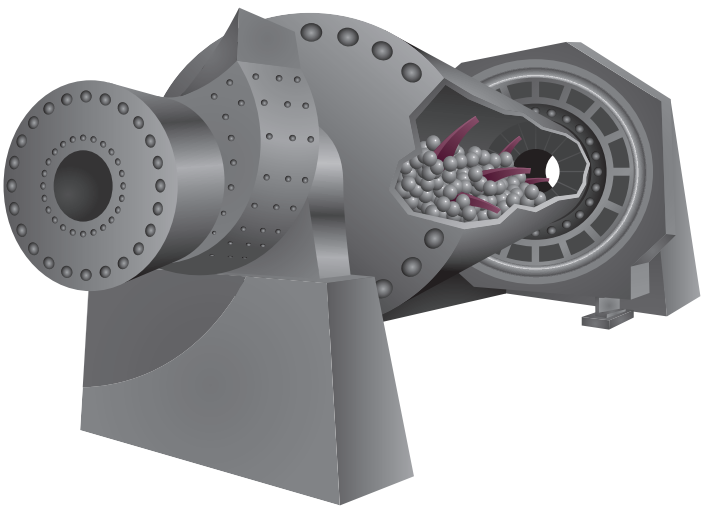
Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerde birbirine doğru dönen iki adet geniş çaplı (75-250 cm) merdane bulunmaktadır. Bu merdanelerden birisi sabit bir yatağa oturtulmuşken diğeri hidrolik bir sistem aracılığıyla sabit merdaneye doğru itilmektedir. Bu esnada iki merdane arasına yapılan besleme ile taneler ezilerek ufalanmaktadır. Ufalanmanın ölçüsü merdanelere uygulanan basınç ile kontrol edilmekte ve merdaneler arasındaki basınç cihazın büyüklüğüne göre 50 ile 150 kPa arasında değişmektedir. Bu değirmenler genellikle gevrek yapılı, kuru, yumuşak ve orta sertlikteki aşındırıcı olmayan malzemelerin öğütülmesi için uygundur. Aktarılan ortamla çalışan değirmenlerde enerjinin büyük bir bölümü, öğütücü ortamın birbiriyle ve astarlarla çarpışmasında harcanmakta iken yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerde öğütme malzeme yatağında gerçekleştiği için enerji kaybı daha az olmaktadır. Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalar sonucunda yüksek basınçlı merdaneli değirmenin klasik bilyeli değirmene göre %40-50 oranında daha az enerji tükettiği kaydedilmiştir. Ayrıca kapasitesinin de klasik bilyeli değirmene göre 1,5-3 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Endüstriyel ölçekte başta klinker olmak üzere kireç taşı, dolomit, kimberlit, krom, altın, bakır, gümüş, çinko ve demir gibi cevherlerin öğütülmesinde kullanılmaktadır. Bu değirmenlerde daha iyi serbestleşme sağlanmakta ve mikro çatlaklı bir ürün eldesi liç işleminde verimi arttırmaktadır. Özellikle siyanür liçinde diğer öğütme sistemlerine göre daha yüksek altın çözünme (liç) veriminin elde edildiği belirtilmektedir.

Karıştırmalı Bilyeli Değirmenler

Karıştırmalı bilyeli değirmenler, mikronize malzeme üretiminde kullanılan en popüler değirmenlerdir (Görsel 2.18). Son 30 yıldan beri seramik, metalürji, elektronik, boya, kimya, gıda, lastik, ziraat, ilaç, fotoğraf, kömür ve enerji gibi endüstri dallarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Diğer öğütme yapan cihazlara göre işletimi daha kolay, öğütme süresi ve enerji tüketimi daha azdır.

Yatay veya düşey yapıda, silindirik bir gövde içerisinde, yüksek hızda dönen bir karıştırıcı vasıtasıyla öğütücü malzeme (bilye, kum, çakıl taşı, izabe cürufu veya otojen öğütme malzemesi) arasında kalan malzemenin basınç, sürtünme kuvvetleri ile öğütülmesi prensibine dayanmaktadır. Öğütme işlemini gerçekleştiren bu öğütücülerde aşırı ısınmayı önlemek amacıyla gövde dışında bir de su ceketi bulunmaktadır. Günümüzde laboratuvar ortamları için 1 l'lik hacme sahip öğütücülerden 3000 l'lik hacme sahip 1100 kW'lık güçteki endüstriyel tipte karıştırmalı öğütücüler kullanılmaktadır. Öğütücü içerisindeki bilyeler çelik veya seramik malzeme olabilir. Değirmen, yaş veya kuru tipte öğütme için kullanılabilir. Değirmen içerisindeki bilye ve öğütülen malzeme gövdenin %85'i kadar olmalıdır.

Bir endüstriyel uygulamada, 20 ton/saat kapasiteli bir karıştırmalı değirmen ile 6 mikrona yapılan bir öğütme işlemi için harcanan enerjinin konvansiyonel bilyeli değirmene göre %60 daha az olduğu kaydedilmiştir. İlk kez 1960'lı yıllarda kaolinin öğütülmesi için kullanılmıştır. Çubuklu ve bilyeli değirmenlerde tambur hareket ettirilirken karıştırmalı bilyeli değirmenlerde yalnızca bir karıştırıcı yardımı ile ortam (ince bilye) hareket ettirilmektedir. Bu sayede değirmen içerisinde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarı tambur değirmenlerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olmaktadır.



Görsel 2.18: Karıştırmalı bilyeli değirmen

Jet Değirmenler

Bu değirmenlerde değirmenin kırma odasına laval nozul adı verilen çay bardağı şeklini andıran aparat sayesinde yükselen basınçla 0,5 mm altındaki malzeme püskürtülür. Bu malzeme birbirine ve gövdeye çarparak çarpma, kesme, aşınma kuvvetlerinin etkisiyle mikron mertebesinde öğütülür. Kırılan ürün siklon yardımıyla, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle birbirinden ayrılarak istenen boyutu sağlayarak toz toplayıcıya gider. Daha iri taneler tekrar öğütülmek üzere besleme bunkerine düşer. Yüksek verimli olmasına karşın karmaşık ekipmanlardan oluştuğundan kullanımı çok yaygın değildir. Bu tip değirmenlerde akışkan ortam olarak sıcak basınçlı buhar, hava veya herhangi bir inert gaz kullanılabilmektedir. Gazların basınçları ise malzemenin sertliğine göre 100 ile 200 psi arasında olabilmektedir. Jet değirmenler endüstriyel ölçekte yaygın olarak kullanılmasa da bazı tesislerde silis, feldspat, cam ve zirkon gibi aşındırıcı malzemelerin öğütülmesi için kullanılmaktadır. Daha çok plastik, polimer, pigment ve pestisit gibi malzemelerin mikron boyutuna öğütülmesi için kullanılmaktadır. Kapasiteleri 0,5 ile 5000 kg/sa. arasında değişmektedir.

Titreşimli Değirmenler

Titreşimli değirmenler, üst üste yerleştirilmiş öğütme odalarından (hücrelerinden) oluşmaktadır. Lastik bir takoz veya yaylar üzerinde yer alan bu odalara belirli bir hızda titreşim verilerek oda içerisindeki malzeme ve bilyeler hareket ettirilmektedir (Görsel 2.19). Hareket eden bilyelerin cevherleri ezmesi ve sıkıştırması sonucunda taneler ufalanmaktadır. Bilye şarj oranı hacimce %60-70'tir. Bilyelerin boyutu ise 10-15 mm arasında değişmektedir. Öğütücü ortam olarak çubuklar da kullanılabilmektedir. En büyük dezavantajı kapasitesinde yaşanan sorunlardır. Ayrıca mekanik akşamların sık sık arızalanması nedeniyle bakım, onarım maliyeti de oldukça yüksektir. Titreşimli değirmenler ile 10 mikron boyutuna kadar öğütme yapmak mümkündür. Öğütme odaları yatay olarak da yerleştirilebilir. En önemli avantajı ince öğütmede enerji verimliliğinin yüksek, ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır. Genellikle linyit, taş kömürü, kireç taşı, bentonit, jips, boksit, bakır, demir, ferrosilikon ve alüminyum oksitlerin ince öğütülmesi için kullanılmaktadır.

Görsel 2.19: Titreşimli değirmen

Yörüngesel (Planeter) Değirmenler

Mikron ve mikron altı boyutlarda öğütme yapmak için geliştirilmiş olan bir çeşit bilyeli değirmen tipidir. Planeter ismi, değirmen gövdesinin Güneş etrafındaki gezegenlerin hareketi gibi dönmesinden gelmektedir. Bir yörüngesel değirmende birbirine ters yönde olan iki hareket vardır. Birincisinde yörüngesel değirmenin gövdeleri (4 adet), merkezi bir eksen etrafında tıpkı gezegenlerin Güneş etrafındaki dönüşü gibi döner. Bu hareketi sayesinde merkez ekseni boyunca santrifüj alanı oluşur. İkinci harekette ise değirmen gövdeleri kendi eksenleri etrafında dönmektedir. Dolayısıyla yörüngesel değirmen, yüksek dereceli bir yer çekimi alanında çalışmaktadır. Ayrıca yüksek santrifüj alanının da etkisiyle değirmen içerisinde çok yüksek enerji açığa çıkmaktadır. Bu yüzden yörüngesel bir değirmen ile klasik bilyeli değirmenlere göre daha kısa sürede çok ince boyutlu malzeme elde etmek mümkündür. Günümüzde karıştırmalı değirmenin kullanıldığı her alanda yörüngesel değirmen kullanılabilmesi olanaklı gözükmektedir ancak karıştırmalı değirmenlere göre öğütme maliyeti daha yüksek olup mekanik aksamlarında sık sık problem yaşanmaktadır.

Sarkaç Değirmenler

En bilinen sarkaç değirmen tipi; yüksek yoğunluklu, yarı küresel öğütme odalı olandır. Öğütme odası askıda tutulmakta ve kendi ekseni etrafında ivmeli bir hareketle 600-800 d/dk.lık bir hızla döndürülmektedir. İçerisinde bulunan bilyeler yardımıyla taneler ufalanmakta ve öğütme odası üzerinde bulunan deliklerden öğütülmüş ürün dışarı çıkmaktadır. Daha sonra bu ürün separatörden geçirilmekte ve ince kısmından ayrılmaktadır. Bu değirmen tipinde kimberlit gibi çok sert malzemenin yanı sıra kireç ve talk gibi çok yumuşak malzemeler de etkili bir şekilde öğütülebilmektedir. Diğer değirmen tipleri ile karşılaştırıldığında %31 ile %70 arasında bir enerji tasarrufu sağladığı çeşitli çalışmalarda iddia edilmektedir.

Halkalı (Bilezikli) Değirmenler

Genellikle laboratuvar ölçeğinde kullanılan bu tip değirmenlerde iç içe geçmiş halkalar bulunmaktadır. Bu halkalar arasında yer alan malzeme, halkaların şaseler üzerindeki eksantrik hareketi ile ezilmekte ve kısa sürede ufalanarak çok ince boyuta getirilebilmektedir. Çok sayıdaki halka ile oluşturulan silindirler birbirleri ile sürtünerek aradaki malzemeyi öğütmektedir. Kapasiteleri oldukça düşük ve endüstriyel ölçekte kullanımı oldukça zordur.

Çivili Değirmenler

Maksimum besleme boyutu 30-40 mm olan kuru veya az nemli malzemenin 100 mikrona kadar yüksek kapasiteyle öğütülmesinde kullanılır. Genellikle kimyevi ve gıda maddelerinin öğütülmesinde tercih edilmektedir. Öğütme, yüksek hızda dönen çivili gövdenin tanelere uyguladığı kesme kuvvetleri ile sağlanır. Saatlik kapasiteleri 5 tona kadar çıkabilmektedir. Yalnızca çivilerin bulunduğu rotorun hareket ettirilmesi ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığı belirtilmektedir.

DİKKAT EDİYORUM

Öğütme İşleminde İş Sağlığı ve Güvenliği

Öğütme işlemi sürecinde alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile dikkat edilmesi gereken maddeler şunlardır:

1. Değirmenlerde ve öğütme ünitelerinde çalışacak kişilerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini alması sağlanmalıdır.
2. Öğütme işleminde kullanılan araç ve gerecin kullanım talimatı, İSG ile ilgili tedbirler talimat şeklinde makine üzerine asılmalıdır.
3. Değirmenler ve kullanılan makineler hakkında çalışanlara eğitim verilmeli.

4. Tüm değirmenlerde ve bağlı ekipmanlarının yanında güvenlik bilgi formları bulundurulmalıdır.
5. Öğütme işlemi sırasında ortamda oluşabilecek tehlikelere karşı iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri alınmalı, acil durdurma butonları olmalıdır.
6. Kişisel koruyucu donanımlar ham maddenin işlevine uygun ve oluşabilecek zararları önleyecek nitelikte seçilmelidir (koruyucu maske, koruyucu ayakkabı, koruyucu gözlük, kulaklık vb.).
7. Her işletmede bir iş güvenliği uzmanı bulundurulmalı ve iş güvenliği kuralları firma içi, dışı olmak üzere belirlenmeli, bu kurallara uyulmasına teşvik edilmelidir.
8. Gerekli iş güvenliği eğitimi firma tarafından çalışanlarına verilmelidir.
9. İşçiler işe alınırken sağlık muayenesinden geçirilmeli ve kendilerine uygun olan işlere yerleştirilmelidir.
10. İş yerlerinde sağlık personeli bulundurulmalıdır.
11. Kuralcı değil, önleyici yaklaşım benimsenmelidir.

3. ETKİNLİK

İş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini alarak cevher öğütme işlemi ile ilgili edindiğiniz bilgileri pekiştirmek için aşağıdaki işlem adımlarını uygulayınız.

Araç Gereç

Örnek cevher numunesi, merdaneli kırıcı veya konili kırıcı, bilyeli değirmen, laboratuvar elekleri, plastik leğen, paslanmaz çelik kaplar, tartım aleti, diğer yardımcı ekipman

İşlem Basamakları

- Değirmeni temizleyiniz.
- Kırılmış cevherden numune alınız ve bu numunenin elek analizini yapınız.
- Değirmene belirli şarj oranında öğütücü malzeme koyunuz.
- Değirmenin dönme hızını belirleyiniz.
- Öğütülmüş ürünlerden temsilî numune alaraj boyutlarını belirleyiniz.
- Öğütme işlemi ve değirmenler hakkında rapor hazırlayarak sunum yapınız.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Uygulamadan önce kişisel koruyucu ekipmanları gözlük, eldiven vb. kullandı.			
Kullanılacak malzemeyi seçerek belirli oranda değirmene ekledi.			
Değirmenin dönme hızını, öğütme işlemi için uygun bir hıza ayarladı.			
Öğütme işleminden sonra öğütülmüş ürünlerden temsilî numuneler aldı.			
Çeneli ve konili kırıcıyla elde edilen ürünlerin boyutlarını karşılaştırarak not aldı.			
Uygulama sonuçlarıyla ilgili bir bir rapor hazırlayarak sundu.			

4. ETKİNLİK

Cevher öğütme işlemi ile ilgili edindiğiniz bilgileri pekiştirmek için aşağıda verilenleri uygulayınız.

İşlem Basamakları

- Her istasyonda eşit sayıda kişi bulunacak şekilde gruplarınızı oluşturunuz.
- Her grup istasyonun görevi ile ilgili uygulama yapınız.
- Her aşamada (istasyonda) bir önceki grubun yaptıklarına katkı sağlayarak onları bir basamak ileri götürmeyi hedefleyerek yarım kalan işi tamamlayınız.
- Her istasyonda bekleme süresi 5 dakikadır, süre dolduğunda sıradaki istasyona geçiniz.
- İstasyonlarda bekleme sürelerini denetlemek ve işlenişte hataların önüne geçmek için her istasyonda bir istasyon şefi görevlendiriniz.
- Uygulama bittiğinde son istasyonunuza isimlerinizi yazarak materyali istasyon şefine teslim ediniz.
- Çalışmalarınızı diğer gruplarla paylaşınız (Bu görev, istasyon şefinindir.).

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

Örnek İstasyonlar

- Öykü İstasyonu
- Slogan İstasyonu
- Afiş İstasyonu
- Gazete İstasyonu

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan	4 Puan
Grup üyeleri aktif olarak sürece katıldı.				
Grup üyeleri birbirlerinin görüşlerine saygılı davrandı.				
Grup üyeleri etkili bir şekilde görev dağılımı yaptı.				
Grup üyeleri paylaşılan görevleri yerine getirdi.				
Grup üyeleri arasında güven ve uyum sağlandı.				
Grup üyeleri, diğer grupların çalışmalarına katkı sağladı.				
Grup üyeleri birbirlerinin çalışmaya katkısını destekledi.				
Grup üyelerinin birbirlerinin duygularını anladığı gözlendi.				
Grup üyeleri etkinlik sırasında Türkçeyi doğru kullandı.				
Tüm gruplar, çalışmanın tamamlanması için çaba gösterdi.				

2.2. ELEME İŞLEMİ

Eleme işlemi; tanelerin belirli boyutlardaki açıklıklardan geçebilme ihtimali esasına dayanan bir sınıflandırma işlemidir (Görsel 2.20). Eleme için kullanılan araçlara **elek** denir. Bir eleğin delikler (açıklıklar) bulunan kısmına **elek yüzeyi,** elek yüzeyinin üzerindeki deliklere (açıklıklar) **elek açıklığı** denir.

Eleme ile elek altı ve elek üstü olmak üzere iki ürün elde edilmektedir. Bu işlem; kırma işlemlerinde iri parçaları ayırarak devreye geri göndermek, ince parçaları ayırarak daha fazla ufalanmalarına engel olmak gibi ara veya belli boyut sınırları arasında kalındığını saptamak gibi temel hedeflere yöneliktir. Eleme ile bir ayrımın gerçekleşebilmesi için tanelerin birbirlerinden serbest hâlde olmaları fakat mekanik hareketlerle birleşip topaklanmamaları şartı aranmaktadır. Tanelerin serbest hâlde olması kıymetli mineral ile gang arasında mevcut sertlik, kırılganlık gibi fiziksel özelliklere bağlı olup kırma ve öğütmenin hangi mertebede yapılmasını belirler.

Eleğe beslenen malzeme, eleğin arka yüzeyine temas eder etmez ön tarafa doğru hızlandırılmaktadır. Bu hareket yüzeydeki malzeme yüksekliğinin hızla azalarak malzemenin elek yüzeyine homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Bu esnada ince malzemenin büyük bir kısmı ilk bir metre içerisinde hızla alta geçer; böylece eleğin en yüklü olan başlangıç bölgesinin yükü, hızla dağıtılmış ve dengelenmiş olur. Bu aşamadan sonra elek yüzeyine dağıtılmış malzeme, yavaşlatılarak etkin bir şekilde elenir.

Eleme, kuru veya yaş olarak yapılabilmektedir. Kuru eleme göreceli olarak daha ucuz ve yaygın kullanılan bir yöntem olmasına rağmen özellikle dere ya da denizden çıkarılan ve yüksek nem içeren malzemelerin elenmesinde yaş (su ile) eleme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Yaş eleme esnasında eleğe beslenen malzeme ile birlikte yüksek oranda su verilerek ince taneciklerin iri taneler üzerinden temizlenmesi ve elek altına geçirilmesi kolaylaştırılmaktadır. Elek üzerine su verme işlemi uygun yerlere yerleştirilen boru tesisatı ve su püskürtücüleri ile sağlanmaktadır.

Görsel 2.20: Eleme tesisi

Cevher Hazırlamada Elemenin Ana Amaçları

- İri malzemeyi ayırarak kırma
- İnce malzemeyi ayırarak gereksiz yere ufalanmayı ve enerji sarfiyatını önleme
- Malzemeyi tüketim yerinin teknolojik ihtiyacı olan boyut gruplarına ayırarak tüketimi kolaylaştırmak veya mümkün kılma
- Ayırma işlemlerinde bir kademe oluşturarak ayırmayı mümkün kılma

Eleme işleminin tanımı kolay olsa da uygulamada karşılaşılan problemler oldukça ciddidir. Cevher hazırlamada tanelerin tek tek alınması değil, çeşitli büyüklükteki tanelerin bir topluluk içinde bir arada bulunmaları söz konusudur.

2.2.1. Elek Çeşitleri

Endüstriyel elekler elemenin yapıldığı yüzeyin sabit veya hareketli olmasına göre ikiye ayrılır.

- Sabit elekler
- Hareketli elekler

2.2.1.1. Sabit Elekler

Sabit eleklerin en basit şekli ızgaralardır. Izgaralar büyük boyutlu malzemelere en uygun tiptir. Genellikle eğik olarak yapılır ve üzerindeki malzeme aşağı doğru inerken ızgara aralıklarından düşen parçaların ızgara üstünde kalandan ayrılmasını sağlar (Görsel 2.21). En basit elek şekilleridir. Düz ve eğimli sabit bir elek yüzeyi üzerine beslenen malzeme, eğim uygun ise, bu yüzey üzerinde eğim yönünde yer çekimi etkisiyle kayarak inerken ince malzemenin elek altına geçmesi ile elek üzerindeki iriden ayrılması sağlanmış olur. Eğim akışa elverişli değilse elle karıştırma, dağıtma ve elek üzerinde kalanı elle alma veya bu iri parçalar kırılarak elek altına geçirme yolları izlenebilmektedir.

Görsel 2.21: Sabit kum eleği

2.2.1.2. Hareketli Elekler

Sabit elekler hariç her eleme işleminde elek yüzeyinin hareketi söz konusudur. Hareketli eleklerde tıkanma gibi olayları azaltmak için ızgaralara çeşitli hareketler verilmektedir. Bu hareketler ile malzeme hem bir yöne doğru itilir hem de eleme kolaylaştırılmış olur. Hareketli elek çeşitlerinden bazıları şunlardır:

- Hareketli ızgaralar
- Dönen (trommel) elekler
- Sarsıntılı elekler
- Vibrör (titreşimli) elekler

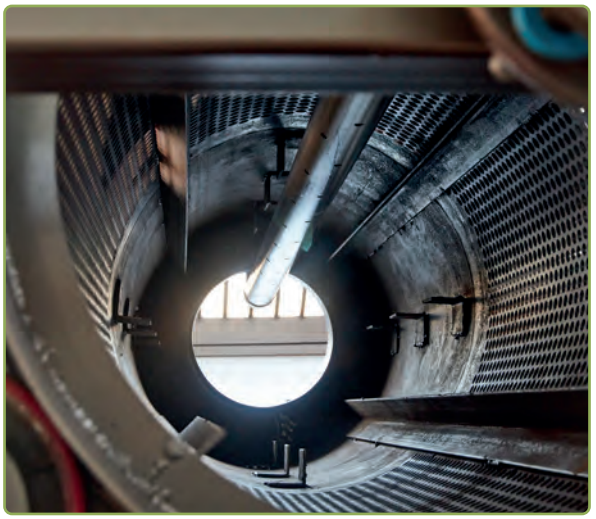
Hareketli Izgaralar

Elek ızgarasının hareketi ile eleme işlemi yapılmaktadır. Çoğunlukla kırma-eleme ünitelerinin besleyicileri olarak kullanılmaktadır (Görsel 2.22). Titreşimli bir besleme teknesi ile buna akuple bir kademeli ızgara bölümünden oluşmaktadır. Besleme içindeki ince malzemenin burada başka bir eleğe ihtiyaç duymadan ayrılabilmesi sağlanmaktadır. Bazı proseslerde de ince malzemenin ayrışmasını sağlamak üzere kullanılmaktadır.

Görsel 2.22: Hareketli ızgaralar

Dönen Elekler

Farklı büyüklükteki ürünleri ayrıştırmak için kullanılır. Dönen elekler, içerisine yerleştirilmiş belirli ebatlarda delikleri olan bir tamburun döndürülmesi ile içerisine atılan malzemeyi çeşitli ölçülerde ayıklayan makinelerdir (Görsel 2.23). Elenecek ürünler giriş noktasından başlayarak hem merkezkaç kuvveti etkisi ile hem de serbest düşüş hareketi ile üzerinde bulunan yabancı cisimlerden arınmaktadır. Bu sayede istenilen ebatlardaki malzemeleri ayırma işlemi gerçekleşmektedir. İhtiyaca göre elek ebatları değişkenlik gösterir.



Görsel 2.23: Dönen elekler

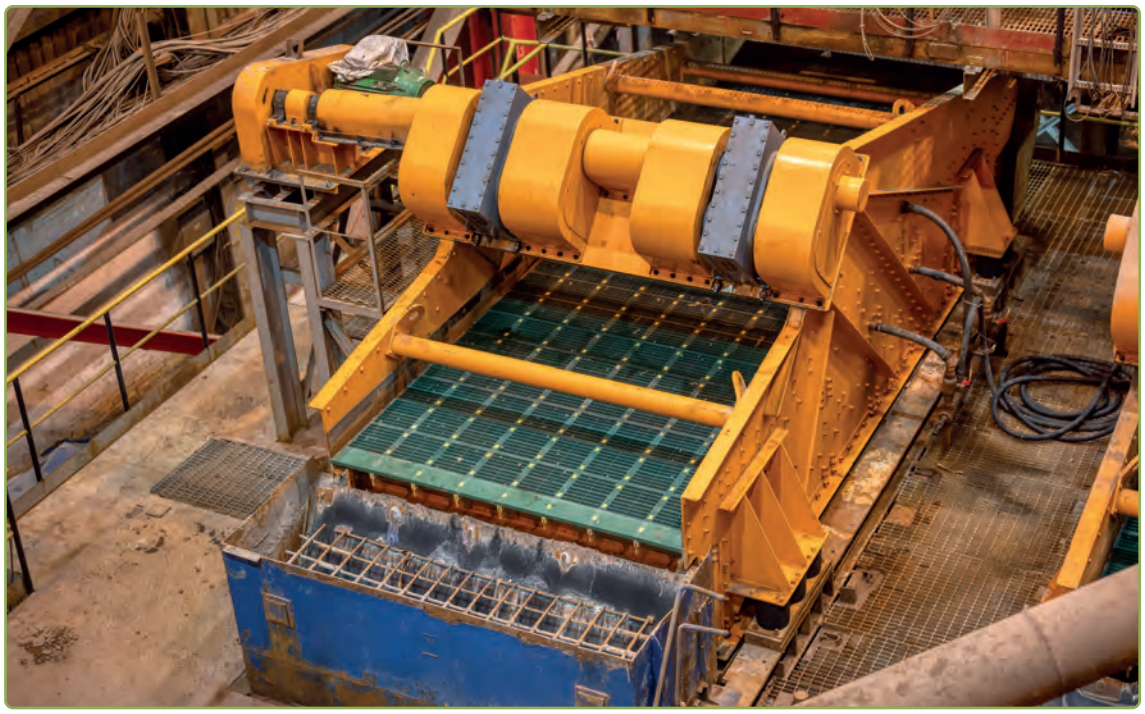
Sarsıntılı (Sarsak) Elekler

Sarsıntılı elekler yatay veya biraz eğilimli olup ileri geri hareket ettirilerek eleme yapılmaktadır (Görsel 2.24). Titreşim genlikleri 2,5-10 cm, devirleri 30-200 d/dk. olan eleklerdir. Elek perdesine çok az bir eğim verilebilir. Elek şasesi askıya alınabileceği gibi, düz yaylar ile zemine de bağlanabilir. Düşük kapasiteli olup fazla bakım gerektirmektedir.

Görsel 2.24: Sarsıntılı elekler

Titreşimli Elekler

Helezon yaylardan yapılmaktadır. Titreşimli eleğe konulan malzeme, güçlü vibrasyon sistemi sayesinde helezon yaylarda ilerleyerek elek üzerinde homojen dağılmaktadır (Görsel 2.25). Küçük parçalar eleğin alt kısmına geçerken daha büyük parçalar elek yüzeyinde kalır. Birkaç kattan oluşabilen elek vasıtasıyla boyutlarına göre malzemeler bu katlardaki eleklerde kalmaktadır. Böylece sınıflandırma yapılmış olur. Titreşimli elekler kullanım yerlerine bağlı olarak yatay ve eğilimli üretilebilmektedir. Bakımı son derece kolay olan titreşimli eleklerin etrafında bakım kolaylığı sağlaması açısından merdivenler bulunmaktadır. Vibrasyon sistemleri sayesinde titreşimli elekler, yüksek devirlerde çalışabilme özelliğine sahiptir. Titreşim kapasiteleri ayarlanabilir özellikte tasarlanmıştır. İsteğe uygun boyutta üretilebilen elekler, elenecek ürünün özelliğine bağlı olarak çok katlı raf sistemine de sahiptir. Raflar arasındaki mesafe, ara malzemelerin değiştirilebilmesine olanak sağlayacak düzeyde tasarlanmıştır. Elekler, tüm kırma eleme tesisi içerisindeki makineler gibi mobil veya sabit kullanıma uygun olarak üretilmektedir. Mobil elekler özellikle dar ve engebeli alanlarda kullanım için çok daha kolaylık sağlamaktadır. Kırma eleme tesisleri için çok önemli bir makine olan titreşimli elek, kullanılacak yer ve ürüne uygun seçilmelidir. Ürünün nem miktarına, yıkanma durumuna bağlı olarak tercih yapılmaktadır.



Görsel 2.25: Titreşimli elekler

2.2.2. Elemeyi Etkileyen Faktörler

Eleme işleminde malzemeler boyutlarına göre birbirlerinden ayrılır ve aynı boyutta olanlar bir araya getirilir. Boyuta göre sınıflandırma şunlardır:

1. **Kaba Eleme:** 5 mm. veya daha geniş aralıklı eleme
2. **İnce eleme:** 5 mm ile 300 mm. arası eleme
3. **Ekstra ince eleme:** 300 mm'den daha dar aralıklarda boyut dağılımı sınıflandırması için yapılan eleme

Eleme işleminde, elek perdesine düşen malzemeler elek yüzeyinde yatay ve düşey yönde hareket etmektedir. Belirli bir süre sonra düşey hareket azalırken malzeme elek yüzeyinde akışkan gibi hareket etmeye başlar. Bu hareketle ince malzemeler aralardan tabana doğru inerken iri malzemeler üstte kalır. Bu oluşuma **tabakalaşma** adı verilir. Malzeme, tabakalaşma sonucu elek yüzeyinde hareket ederken malzeme boyutuna ve elek açıklığına bağlı olarak ya elek açıklığından aşağıya geçer ya da elek tellerine çarparak yatay hareketine devam eder. Eleme süreklilik gerektiren bir prosestir. İyi bir eleme prosesi için kullanılacak eleğin en, boy ve titreşimi eleme süresince tabakalaşmayı ve belirli bir yatak derinliğini sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Eleme işleminin başarılı olması için dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

- Taneler birbirinden serbest hâlde olmalıdır.
- Sarsıntı, sallantı veya dönme gibi hareketler sonucu birleşerek topaklanmamalıdır.
- Tüm tanelerin deliklerle temas etmesi, elek üstündeki tanelerin kontrol edilerek elek altına geçmesi ya da üstünde kalması sağlanmalıdır.
- Elek altına geçen ile elek üstünde ürün ayrı olarak ele alınmalıdır.

Tanelerin Birbirlerinden Serbest Hâlde Olmaları

Elenecek malzemenin şartlarına bağlıdır. Rutubeti, incesi fazla bir malzemede ince tanelerin iriler üzerine yapıştıkları görülmektedir. Böyle bir malzemede, özellikle ince boyutlu elemede güçlükler doğmaktadır. Eleme öncesi kurutma ya da tam aksine bol su vererek eleme uygun olur (Görsel 2.26). Görülüyor ki orijinal şartlar değiştirilerek ve tanelerin birbirlerinden serbestliği sağlanarak elenebilir.

Görsel 2.26: Yaş eleme

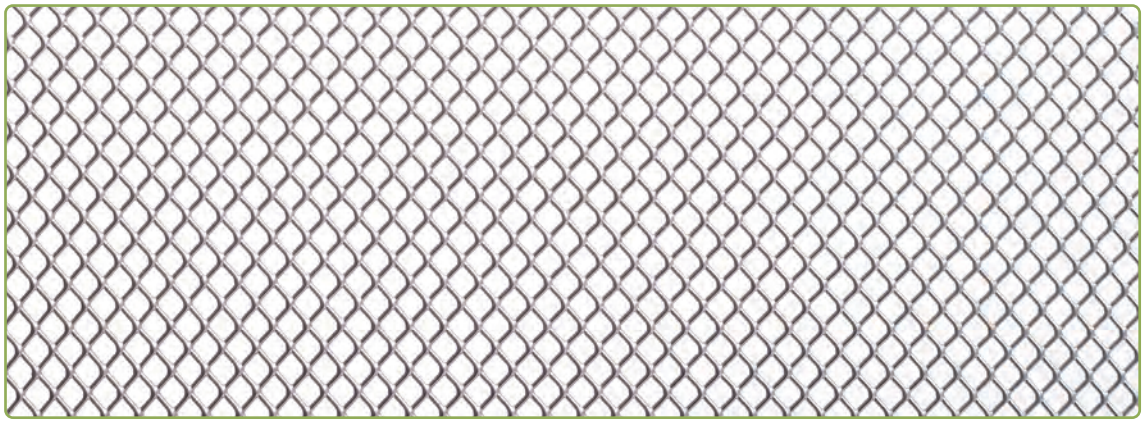
Sarsıntı, Sallantı veya Dönme Gibi Hareketlerle Topaklanma

Sabit elekler hariç her eleme işleminde elek yüzeyinin hareketi söz konusudur. Birbirlerinden serbest hâlde bulunan taneler, bazı şartlar altında birleşip toplanarak tek başlarına sahip oldukları boyuttan daha büyük bir boyuta ulaşır ve böylece elek deliklerinden geçemeyebilir (Görsel 2.27). Elenecek malzemenin bu özelliği iyice incelendikten sonra elemede kullanılacak eleğin hareket şekli seçilmez ise istenilen sonuçların elde edilmesi mümkün olmayabilir. Aşırı miktarda ince tane, rutubet ve kil varlığı topaklanmaya neden olan en önemli unsurlardır.

Görsel 2.27: Elekte topaklanma

Tanelerin Deliklerle Teması

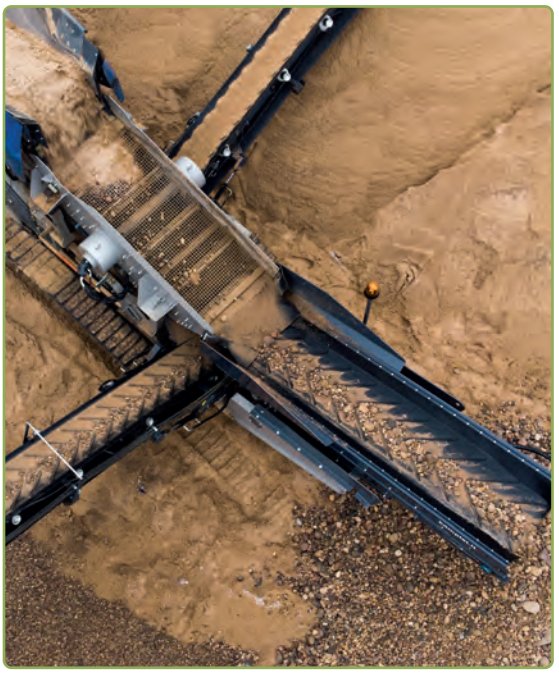
Elek yüzeyinde delik sayısını artırmak tanelerin deliklerle temas şansını arttırmaktadır (Görsel 2.28). Statik bir yüzey üzerine dökülen malzemeden ancak deliklere karşı gelenler onlarla temas hâlinde olur. O hâlde ya yüzeyi ya da üstüne dökülen malzemeyi hareket ettirmek şarttır. Aksi hâlde sadece kısıtlı bir miktar malzeme istenen teması sağlamış olur. Sabit, eleklerde yüzey sabit malzeme hareketlidir. Hareketli eleklerde hem malzeme hem de yüzey hareketli olmaktadır.



Görsel 2.28: Elek delikleri

2.2.2.1. Elek Altı ve Elek Üstü Ürün

Yüzey hareketinin karakteristiği ayrıca önem taşımaktadır. Bu hareket, elek üstüne gelen malzemenin çok kısa sürede inceler altta, iriler üstte olacak şekilde tabaka oluşturmasını sağlamalıdır. Böylelikle malzemenin elek yüzeyi ile temas edip deliklerden geçmesi sağlanır. Ayrıca ince parçaların elek altına kolaylıkla geçebilmesi için parçalara deliklerden geçecek kadar zaman verilmelidir. Elek üzerinde kalan olsa da elek altına geçme zorlaşmaktadır. Elek üzerinde kalan ve delik boyutundan iri malzeme hızlı bir şekilde elek yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır (Görsel 2.29). Aksi hâlde orada yığılmalar yaparak malzeme kalınlığını arttırmakta ve ince parçaların deliklerle temasına engel olmaktadır. Elek altı ve elek üstü ürünlerini ayrı ayrı elde etmek, uygun şekillerde yapılan oluklarla sağlanır. Bu olukların malzemenin özelliğine ve elemenin kuru ya da yaş yapılmasına bağlı olarak seçilmesi önemlidir. Eğimlerin yeterli olmaması hâlinde akış hızı azalmakta veya akış tamamen durmaktadır. Bu da tıkanmalara yol açarak eleme işlemini aksatır ya da tamamen durdurur.



Görsel 2.29: Elek altı ve elek üstü ürün

DİKKAT EDİYORUM

Eleme İşleminde İş Sağlığı ve Güvenliği

Eleme işlemi sürecinde iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile dikkat edilmesi gereken diğer noktalar şunlardır:

1. Eleklerde ve eleme ünitelerinde çalışacak kişilerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini alması sağlanmalıdır.
2. Eleme işleminde kullanılan araç ve gerecin kullanım talimatı, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirler talimat şeklinde makine üzerine asılmalıdır.
3. Elekler ve kullanılan makineler hakkında çalışanlara eğitim verilmelidir.
4. Tüm eleklerde ve bağlı ekipmanların yanında güvenlik bilgi formları bulundurulmalıdır.
5. Oluşabilecek iş kazası sonrasında elekleri durdurmak üzere acil durdurma butonları olmalıdır.
6. Eleme işlemi sırasında ortamda oluşabilecek tehlikelere karşı iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri alınmalıdır.
7. Eleme işleminde çalışanlar gerekli kişisel koruyucu donanımlarını takarak işlem yapmalıdır.
8. Kişisel koruyucu donanımlar ham maddenin işlevine uygun ve oluşabilecek zararları önleyecek nitelikte seçilmelidir (koruyucu maske, ayakkabı, gözlük, kulaklık vb.).

5. ETKİNLİK

Laboratuvar elekleri kullanılarak bir cevherin boyut dağılımının belirlenmesi için aşağıdaki işlem basamaklarını uygulayınız.

Araç Gereç

Cevher numune örneği, tartı, elek serisi, temizleme fırçası, tartım kabı, koruyucu ekipman

İşlem Basamakları

- 300-400 gr'lık temsilî cevher örneği hazırlayınız.
- Örneği tartarak ağırlığını kaydediniz.
- Uygun bir elek serisi oluşturunuz. Tane boyu analizinde kullanılacak bir elek serisinde en üst ve en alttaki eleğin seçiminde elenecek malzemenin %10'u en üst elekte kalacak ve en küçük elekten geçecek şekilde yapınız. En iri açıklığa sahip elek en üstte olacak şekilde elek serisini diziniz.
- Eleme işlemini yapınız.
- Eleme süresi sonunda her bir elek üzerinde kalan malzemeyi alarak tartınız.
- Tartım yapılırken elek deliklerine takılı olan malzemeyi fırça yardımıyla temizleyiniz.
- Temizlediğiniz malzemeyi elek üstünde kalan malzemeye ekleyiniz.
- Elde edilen değerleri rapor hâline getiriniz.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Uygulamadan önce kişisel koruyucu ekipmanları gözlük, eldiven vb. kullandı.			
Temsilî cevher örneğini, istenilen ağırlıkta tartarak aldı.			
Örnek tartımı için uygun tartım aleti kullandı.			
Elek serisini, tane boyu analizinde kullanılacak şekilde düzenledi.			
Eleme işlemini, dikkatli bir şekilde ve sırasıyla yaptı.			
Eleme sonrası her bir elek üzerinde kalan malzemeyi tartı.			
Elek deliklerine takılan malzemeleri dikkatlice temizledi.			
Temizlenen malzemeleri elek üstünde kalan malzemeye ekledi.			
Elde edilen tane boyu analiz sonuçlarını doğru ve düzenli bir şekilde kaydetti.			
İşlem sonrasında kullanılan ekipmanları temizledi.			
Uygulamayla ilişkin rapor hazırlayarak sundu.			

2.2.3. Elek Verimi

Elekler en temel anlamda üzerinde belirli boyutlarda açıklıklar bulunan yüzeylerdir. Bu yüzeye temas eden taneler ise açıklıktan iri veya ince olmalarına göre ya elek altına geçer ya da elek üzerinde kalır. Eleklerde performans ise değişik yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Performans hesaplamalarında elek beslemesinde, elek açıklığından daha ince boyda olan malzemenin ne kadarının elek altına geçtiği hesaplanarak elek verimliliği değerlendirilebilir. Eleklerde elek açıklığı ve kesme boyu aynı değeri almaktadır ancak pratik uygulamalarda eleğin kesme boyu daima elek açıklığından daha düşük olmaktadır. Elek yüzeyinde herhangi bir aşınma veya delik yoksa iri ürünün elek altına geçmesi de olası bir durum değildir. Bu nedenle elek verimi genelde elek altına geçmesi gerekirken elek üstünde kalan malzeme miktarına göre hesaplanmaktadır. Elek verimi hesaplama formülü şöyledir:

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

Burada,

V: Elek verimi

x: Elek altına geçen malzeme miktarı (t/s)

a: Elek altına geçmesi gereken malzeme miktarı (t/s)'nı ifade etmektedir.

Tesislerde genellikle %95 elek verimi hedeflenmektedir. Elemede %100'lük verim elde edilebilmesi için ise kapasitenin büyük oranda düşürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle kapasite ve elek verimi birlikte değerlendirilmesi gereken iki işletme parametresidir.

2.2.3.1. Elemede Verimi Etkileyen Faktörler

Elemede verim; elenecek malzemenin şartlarına, seçilen eleğe ve yapılan tesis dizaynına bağlı olmakla birlikte endüstriyel elemede belirli bir elek boyutu ve elek yüzeyinden alınan kapasite de önemlidir. Çoğu kez randıman ve kapasite birlikte dikkate alınarak optimal değerin seçimi yoluna gidilmektedir. Eleme işlemlerinde elek yüzeyi, iri parçalar için bir nakledici görev görmektedir. Elek boyutundan çok küçük parçalar, serbest hâlde iseler kolayca akarak elek altına geçmektedir. Önemli olan, elek boyutuna yakın boyuttaki malzemelerin durumudur. **Kritik boyut** parçaları diye bilinen bu parçaların elenecek malzemede bulunma oranları eleme güçlük veya kolaylığını belirlemektedir. Kritik boyut çok ise güç, az ise kolay bir eleme söz konusudur. Elek boyutunun 1,5 ila 0,75 katı arasındaki boyuta sahip taneler **kritik boyut** veya **kritik tane** olarak isimlendirilir.

Eleğe beslenen miktarı arttırmak yüzey üzerindeki malzeme kalınlığını da arttırmaktadır. Dolayısıyla parçaların elek yüzeyine inmelerini güçleştirmektedir. Ayrıca malzeme kalınlığı arttıkça basıncı da artacağından tıkanmalar çoğalmaktadır. Tıkanmada elek yüzeyi yapısı ve parça şekli önemli rol oynamaktadır.

Elek yüzeyinin boyutu (en x boy), kapasiteyi ve randımanı etkilemektedir. Genel bir prensip olarak elek yüzeyi artışının kapasiteyi doğru orantıda etkilediği kabul edilmektedir.

Bir eleğin kapasitesini her hâl için sabit bir değerde kabul etmek mümkün değildir. O hâlde bir eleğin kapasitesi, tatminkâr bir eleme ile saatte o eleğe beslenebilen ton olarak açıklanmaktadır.

Endüstriyel uygulamalarda elemeden tatminkar sonuçlar alınabilmesi için dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan bazıları şunlardır:

- Elenecek malzeme özellikleri iyice gözden geçirilmeli ve gerektiğinde eleme öncesi kurutma gibi önlemler alınmalıdır.
- Elemede kullanılacak hareket şekli malzemenin özelliklerine göre seçilmelidir. Örneğin fazla miktarda tıkanma yapan bir malzeme için elek yüzeyini darbeye maruz bırakmak önleyici bir tedbir olabilir. Topaklanan malzemede sallantı hareketi uygun düşmeyebilir.
- Elek boyutunu belirlerken imkânlar çerçevesinde toleranslı davranılmalı ve kıtı kıtına hesaplardan kaçınılmalıdır. Malzeme şartlarındaki değişiklikler, kapasiteyi düşürmektedir.
- Güç eleme şartlarında katlı eleklerden kaçınılmalı, tek katlı elekler tercih edilmelidir. Böylelikle her bir eleğin kendine uyan şartlarda çalıştırılması sağlanabilir.
- Genellikle elekler iyi bakım ve onarım istediklerinden yerleştirme buna göre yapılmalıdır. Beslemede malzemenin elek yüzeyinin tamamından efektif olarak yararlanma şartlarının yaratılması yerinde olur.
- Eleme sonucu, elek altı ve elek üstü ürünlerinin yığılma ve tıkanmalarına, birbirlerine karışmalarına meydan vermeyecek önlemler alınmalıdır (Görsel 2.30).

Görsel 2.30: Verimlilik

2.2.4. Cevher Ayıklama (Triyaj)

Ayıklama veya yabancı literatürden Türkçeye geçmiş deyimi ile triyaj, madenciliğin ilk uygulamalarındandır. Ayıklama, ister insan gücü ile ister otomatik cihazlarla olsun minerallerin bazı fiziksel özelliklerinden yararlanmak gerekmektedir. Bu fiziksel özellikler minerallerin şekil ve renk gibi özellikleridir. Ayıklama nispeten iri mineral parçaları üzerinde uygulanmaktadır.

2.2.4.1. Elle Ayıklama

Elle ayıklamanın ekonomik olması için büyük parçalar hâlinde değerli ve değersiz cevher parçalarının birbirinden ayrılabilmeleri gerekir. Minerallerin renk, parlaklık, flüoresans, radyoaktivite, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak elle seçilerek birbirinden ayrılmasına **el ile zenginleştirme** denilmektedir (Görsel 2.31). Ülkemizde cevherlere uygulanan elle ayıklamaya **triyaj** ve **tavuklama**, kömüre uygulanana da **kriblaj** adı verilmektedir. Madenciliğin ilk uygulamasından beri kullanılan ve en eski cevher hazırlama yöntemi olarak bilinen elle ayıklama, çağdaş teknolojide de yer almaktadır. İşçiliğin ucuz olduğu yerlerde küçük maden işletmelerinde nihai zenginleştirme işlemi olarak, zenginleştirme tesisleri öncesinde de iri boyutta konsantre üretimi veya artık atmak amacıyla uygulanmaktadır. Elle ayıklamaya tabi tutulacak cevherlerde aranılan özellikler şunlardır:

- Birbirinden ayrılması arzulanan mineraller arasında belirgin renk, parlaklık, şekil veya ağırlık farkı bulunmalıdır.
- Cevherdeki tane boyutu 3 ile 30 cm arasında olmalı ve birbirine yakın boyutlarda gruplandırılarak ayrı ayrı ayıklamaya tabi tutulmalıdır.
- Tanelerin iyi tanınması, tane yüzeylerini kaplayan toz ve pisliklerin uzaklaştırılabilmesi için ayıklama öncesi cevherin yıkanması gerekir.

Görsel 2.31: Elle ayıklama

2.2.4.2. Optik Ayırıcı İle Ayıklama

Elle ayıklama yerine kullanılan bir yöntemdir. İnsan faktörünü ortadan kaldırması, çok geniş bir tane aralığında kullanılması, besleme malzemesinin yaş ya da kuru olmasından etkilenmemesi, şlam oluşturan atık çıkmasına neden olmaması tercih edilmektedir. Optik ayırmada, besleme boyuna bağlı olarak tek birimin çok yüksek kapasitelere ulaşabilmesi, farklı algılama sistemlerinin (sensör) kullanılmasına uygun olması gerekmektedir. Yüksek ayrım performansına sahip olması ve birden çok farklı sensör kullanılarak aynı anda farklı özelliklere göre ayrım yapabilmesi sensör temelli ayrımın avantajlarındandır. Söz konusu ayırma teknolojisinde iki farklı optik ayırma yönteminden faydalanılabilmektedir.

Sensör Temelli Ayırma

Bir yığın içinde bulunan farklı özelliklerdeki tanelerin sensörler aracılığıyla analiz edilip kullanılan sensörün algıladığı özellikler açısından seçilen tanelerin mekanik yolla veya basınçlı hava ile yığın içinden uzaklaştırılması işlemidir. Sensör temelli ayırma, bir yığını oluşturan tanelerin görüntülerindeki göz ile ayırt edilebilen veya edilemeyen farklılıklara bağlı olarak birbirlerinden ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir.

CCD (Renkli) Kamera

Bu yöntem tamamen minerallerin renkli, şeffaf veya opak oluşuna bağlı olarak bir ayırma imkânı veren ve CCD kamera kullanılarak yapılan optik ayırma yöntemidir. Cevhere ait renksel özellikler önceden cihaza tanımlanmaktadır. Bir bant üzerinden geçen belli tane boyut aralığındaki cevher, bir kamera ile izlenir ve sistemin hafızasında tanımlı bilgiler dâhilinde bant üzerinden düşerken ürün ve artık olarak hava basınç valfları vasıtası ile ayrılmaktadır.

NIR (Near Infared)

Bu yöntem, cevher tanelerinin üzerine NIR (Near Infrared) ışık gönderilerek bu ışığı yansıtma ve absorbe etme özelliklerine bağlı olarak yapılan bir ayırma yöntemidir. NIR kullanılarak uygulanan optik ayırma sistemlerinde cevher bir bant üzerinden geçerken üzerine infared ışık gönderilerek tanelerin bu ışığı yansıtma veya absorbe etme miktarları ölçülür. Bu sonuçlara bağlı olarak bant üzerinden tanecikler düşerken hava valfları vasıtası ile ürün ve artık olarak iki kısma ayrılmaktadır.

Her iki sistemin de ayırma prensibi birbirinin aynısı olmakla birlikte cevher tanıma sistemleri farklılık göstermektedir. Her iki sistemde de besleme yapılacak cevherin yüzeyleri mümkün olduğunca temiz olmalıdır. Günümüzde madencilik sektöründe optik ayırıcıların kullanıldığı uygulamaların bir listesi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: *Optik Ayırmada Kullanılan Maden Çeşitleri*

Endüstriyel Mineraller	Temel Metaller	Değerli Metaller	Elmas Değerli Taşlar	Enerji
• Kalsit • Feldispat • Dolomit • Talk • Kuvars • Magnezit • Tur	• Demir • Bakır • Çinko • Nikel • Tungsten • Cüruf	• Altın • Platin	• Elmas • Tanzan • Zümrüt	• Uranyum • Kömür

2.2.5. Metal Kurtarma Randımanı

Bir madencilik terimi olan metal kurtarma randımanı cevher zenginleştirme sonunda elde edilen bir üründeki metal ağırlığının o ürünün elde edilmesi için zenginleştirme tesisine verilen cevherdeki metal ağırlığına oranının yüzde olarak ifadesidir.

2.2.5.1. Madde Denkliği

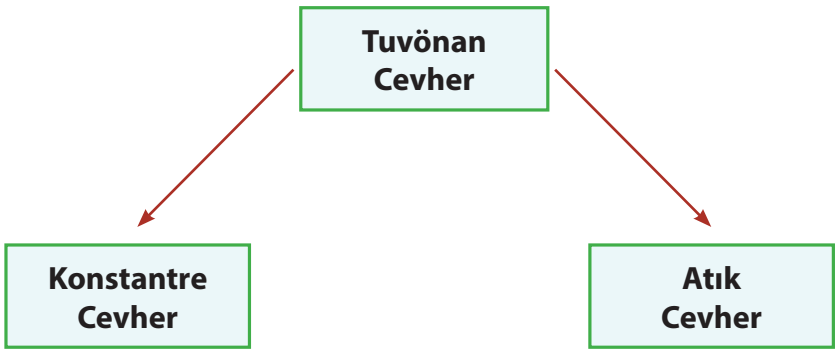
Kütle denkliği, kütlenin korunumu yasasının bir gereğidir (Şema 2.1).

Madde varken yok, yokken var olmaz!

Giren madde – Çıkan madde = Biriken madde

Madde denkliği yapılırken izlenmesi gereken sıra şöyledir:

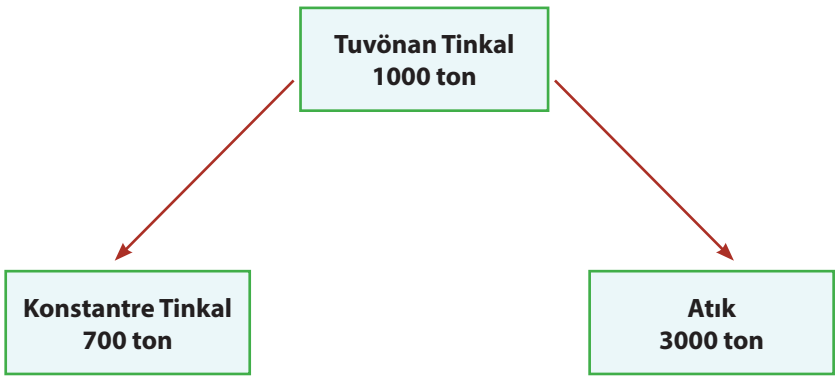
- Bütün girdi çıktı akımlarının kütle ve kompozisyonunun bilinen veri olarak toplanması
- Bir blok diyagram çizip üzerinde girdi çıktının belirtilmesi ve sistemin sınırlarının çizilmesi
- Bütün verilerin blok diyagram üzerine yerleştirilmesi, hesaplama için belli bir miktarın seçilmesi



Şema 2.1: *Madde denkliği*

Örnek

1000 ton %26 B_2O_3 içeren tuvönan tinkal cevheri konsantratöre beslendiğinde 700 ton %32 B_2O_3 içeren konsantre tinkal cevheri elde edilmektedir. 300 ton ise atık olarak atılmaktadır (Şema 2.2).



Şema 2.2: *Örnek madde denkliği*

2.2.5.2. Metal Kurtarma Randımanı Hesaplanması

Madencilik aşamaları bilindiği üzere üretim, zenginleştirme ve satış üçlemesi içerisinde gerçekleşmektedir. Bu üç aşama kendi içerisinde şu şekilde detaylandırılabilir:

- Üretim-Tüvenan Cevher Üretimi

Yer altı Madenciliği: Genellikle yüksek tenörlü cevher, düşük üretim miktarı

Yer üstü Madenciliği: Genellikle düşük tenörlü cevher, yüksek üretim miktarı

- Zenginleştirme-Mamul ve Yarı Mamul Üretimi

Zenginleştirme işlemleri için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu, cevherin kimyasal ve fiziksel yapısına göre değişen özellikleri karşılayacak birtakım bilimsel proseslerin cevhere uygulanması ve neticesinde cevherin yan taşından ayrılarak yüksek tenörlerde ürün hâline gelmesi ile sonuçlanarak bir aşamalar bütününü oluşturmaktadır.

- Satış

Sonucun, tüm aşamaları etkilediği nihai nokta olarak tanımlanabilir.

2.2.5.3. Tonaj ve Tenör Üzerinden Hesaplama

Tonaj, maden yatağında bulunan toplam cevher miktarını ifade ederken **tenör** bu cevherdeki istenilen mineralin yüzde cinsinden saflığını belirtir.

Örnek

1000 ton %26 B_2O_3 içeren tuvönan tinkal cevheri konsantratöre beslendiğinde 700 ton %32 B_2O_3 içeren konsantre tinkal cevheri elde edilmektedir. 300 ton 12 B_2O_3 içeren atık olarak atılmaktadır. Buna göre randıman yüzde kaçtır?

Ba: Besleme ağırlığı (tesise beslenen tüvenan cevherin tonajı)

Ka: Konsantre ağırlığı (zenginleştirme sonucu tartımla alınan konsantre miktarı)

Aa: Atık ağırlığı (zenginleştirme sonucu atılan miktarı)

Kt: Konsantre tenörü

Bt: Besleme tenörü

At: Atık tenörü

R: Randıman

$$R(\%) = \frac{Ka \times Kt}{Ba \times Bt} \times 100$$

$$R(\%) = \frac{700 \times 32}{1000 \times 26} \times 100$$

$$R(\%) = 86{,}154$$

2.2.5.4. Tenör Üzerinden Hesaplama

Bir cevher zenginleştirme tesisinde sadece tenör değerleri üzerinden de randıman hesaplanabilmektedir. Aynı örnek üzerinden hesaplama yapılırsa;

1000 ton %26 B_2O_3 içeren tuvönan tinkal cevheri konsantratöre beslendiğinde 700 ton %32 B_2O_3 içeren konsantre tinkal cevheri elde edilmektedir. 300 ton 12 B_2O_3 içeren atık olarak atılmaktadır. Buna göre randıman yüzde kaçtır?

$$R(\%)=\frac{Kt \times (Bt-At)}{Bt \times (Kt-At)} \times 100 \qquad R(\%)=\frac{32 \times (26-12)}{26 \times (32-12)} \times 100 \qquad R(\%)= 86{,}154$$

Metal kurtarma randımanı hesaplamasında, kuru baz üzerinden hesaplama yapmak gerekmektedir. Gerek tuvönan gerekse konsantre cevher miktarları hesap edilirken içerdikleri nem miktarları tonajdan düşürülerek kuru ağırlık üzerinden hesaplama yapılmalıdır. Bunun nedeni de zenginleştirme tesislerinde suyla zenginleştirme yapılmasıdır.

Örnek üzerinden hesaplama yapılırsa;

%5,5 nem içeren 1000 ton %26 B_2O_3 içeren tuvönan tinkal cevheri konsantratöre beslendiğinde %7,5 nemli 700 ton %32 B_2O_3 içeren konsantre tinkal cevheri elde edilmektedir. Randıman yüzde kaçtır?

1000 ton %5,5 nemli tuvönan cevher (yaş) 945 ton (kuru) (100-5,5=94,5)

700 ton %7,5 nemli konsantre cevher (yaş) 647,5 ton (kuru) (100-7,5=92,5)

$$R(\%)=\frac{647{,}5 \times 32}{945 \times 26} \times 100 \qquad R(\%)= 84{,}331$$

2.2.5.5. Konsantrasyon Oranı

Zenginleştirme sonucu elde edilen konsantre cevherin tuvönan cevhere oranıdır. Yani bir birim konsantre elde etmek için kaç birim tuvönan kullanıldığını belirten miktardır.

$$K.O=\frac{Ba}{Ka}$$

Örnek üzerinden hesaplama yapılırsa;

1000 ton %26 B_2O_3 içeren tuvönan tinkal cevheri konsantratöre beslendiğinde 700 ton %32 B_2O_3 içeren konsantre tinkal cevheri elde edilmektedir. 300 ton 12 B_2O_3 içeren atık olarak atılmaktadır. Buna göre konsantrasyon oranı kaçtır?

$$K.O=\frac{1000}{700} \qquad K.O= 1{,}4286$$

6. ETKİNLİK

Cevher zenginleştirme eleme işleminde kullanılan ekipmanlarla ilgili bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu arkadaşlarınızla paylaşınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunu süresini belirleyiniz.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Eleme işleminin temel ilkelerini, farklı eleme ekipmanlarını detaylı ve anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Eleme işleminin ana hedefleri olan boyut sınıflandırma, serbestleştirme ve konsantrasyon hakkında bilgi verdi.			
Eleme makinesinin çalışma prensibi ve kullanım alanları hakkında bilgi verdi.			
Madencilikte eleme işleminin önemi ve uygulama alanlarına değindi.			
Eleme işleminde otomasyonun rolüne değindi.			
Sunum, görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Eleme işlemleri sırasında İSG önemleri ve kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında arkadaşlarından gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

2.3. SINIFLANDIRMA

Sınıflandırma temel olarak malzemeyi boyutlarına göre ayırma işlemidir. Sınıflandırmada taneciklerin genelde fiziksel özellikleri veya taneciklere uygulanan yer çekimi, merkezkaç gibi kuvvetlerden yararlanılır. Çeşitli tane büyüklüğünde ve farklı özgül ağırlıktaki parçaların durgun veya hareket hâlinde akışkan bir ortam içinde çöktürülmesine **sınıflandırma (klasifikasyon)** denir (Görsel 2.32). Cevher hazırlamada söz konusu akışkan ortam hava veya sudur. Buna göre havalı sınıflandırma veya yaş sınıflandırma terimleri kullanılır. Bu ayrım parçaların hava, su veya diğer akışkanlar içerisinde çökme hızının etkisiyle olur. Spiral klasifikatör, hidrosin, tromel elek sınıflandırma için kullanılan bu aygıtlardan bazılarıdır.

Sınıflandırmanın amaçları şunlardır:

- İri taneleri incelerden ayırmak. Bu sınıflandırmada; özgül ağırlık farkını gözetmeksizin, elemede olduğu gibi bir ayırma söz konusudur. Örneğin iri kumun ince kumdan ayrılması verilebilir.
- Çeşitli özgül ağırlıkta parçaları içeren ve geniş bir boyut aralığında dağılmış bir malzemeyi gruplara ayırarak her bir grupta özgül ağırlığı yüksek parçaların düşüklerden daha küçük boyutta bulunmalarını sağlamak.
- İnce parçalar içeren ve geniş boyut aralıklarına dağılmış bir malzemeyi daha dar boyut gruplarına ayırmak.

Görsel 2.32: Sınıflandırıcılarla cevher işleme

Sınıflandırmada boyut ile birlikte özgül ağırlık, tane şekli gibi etkenlerin rol oynaması, bu işlemi elemeden ayıran özelliklerdir.

Boşlukta serbest düşen bir cismin hızı doğrudan yer çekimi ivmesi ve düşüş yüksekliği ile belirlenmektedir. Buna karşılık akışkan bir ortam içerisinde düşme hâlinde ise düşüş hızı cisim ile akışkan ortamın yoğunluklarına bağlıdır. Bu hızı etkileyen bir diğer faktör, düşen cismin yapısı ve şekli haricinde akışkan ortamın viskozitesidir.

Sınıflandırmanın temel amacı katı-katı ayrımından ziyade katının boyutuna göre sınıflandırılması olduğundan engellenmiş çökme oranlarının birime eşit olmaları arzulanmaktadır. Serbest çökme oranları eşitliklerinden kolaylıkla hesaplanacağı gibi laminer akış şartlarında d1/d2 oranı, türbülans akış şartlarındaki çökme oranından daima küçüktür. Bu sebepten sınıflandırma işlemlerinin laminer akışta yapılması arzulanmaktadır (Farklı minerallerin ayrılmasında ise türbülans akış, ayrımın sağlanmasında faydalı olmaktadır.). Sınıflandırma genellikle tane boyutuna göre ayrım yapmakta ve başlıca şu amaçlar için kullanılmaktadır: kapalı değirmen devrelerinde öğütme boyutundan iri taneleri tekrar değirmene vermek; zenginleştirme işlemleri için gerekli tane boyutlarında malzemeler hazırlamak; herhangi bir amaçla bir malzemenin irisini incesinden ayırmak. Sınıflandırmada geçerli olan bazı bazı hususlar şunlardır:

- Özgül ağırlığı ve şekli aynı olan iki taneden boyutu büyük olan daha hızlı çöker.
- Boyutu ve şekli aynı olan iki taneden özgül ağırlığı büyük olan daha hızlı çöker.
- Boyutu ve özgül ağırlığı aynı olan iki taneden yuvarlak olanı yassı olandan daha hızlı çöker.
- Bir tane, yoğunluğu düşük olan bir sıvıda yoğunluğu yüksek olandan daha hızlı çöker.
- Bir tane, viskozitesi düşük olan bir sıvıda viskozitesi yüksek olandan daha hızlı çöker.

2.3.1. Sınıflandırma Çeşitleri

Sınıflandırma yapmak için kullanılan araçlara **klasifikatör** denir. Klasifikatörler yapıları ve çalışma şekilleri bakımından çok çeşitlidir: çöktürme havuzları, çöktürme konileri, hidrolik klasifikatörler, taraklı klasifikatörler, spiral klasifikatörler, siklonlar.

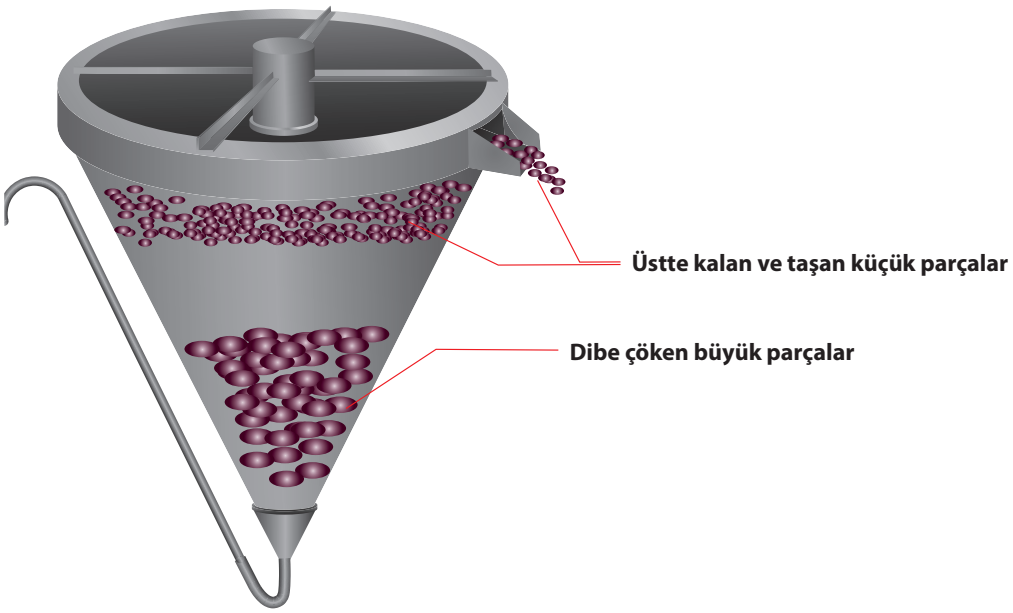
Çöktürme Havuzları

Dikdörtgen prizması şeklindeki beton, saç veya ahşap malzemeden yapılmış havuzlardır (Görsel 2.33). Burada katı tanesinin çökmesine etki eden kuvvetler; yer çekimi kuvveti, sıvının kaldırma kuvveti ve sıvının sürükleme kuvvetidir.

Görsel 2.33: Çöktürme havuzları

Çöktürme Konileri

Beton, çelik, sac veya ahşaptan yapılabilmektedir. Tepesi altta ve tabanı yatay konumda bir koninin tabanı ortadan su ile beslenebilmektedir. Malzeme taban çevresine doğru yatay bir akımla taşmaya sürüklenirken belirli boyuttaki taneler çökmektedir (Şekil 2.4). Koninin çıkış ucu başlangıçta kapalı tutulmaktadır. Tank dolunca ince partiküllerin ve suyun taşması başlamakta, çöken malzeme ise koni içinde bir tabaka oluşturmakta ve şekilde görülen seviyeye kadar yükselmektedir. Bu andan itibaren çıkış deliği açılıp çıkan miktara eşit miktarda besleme yapılabilirse yatay akım hareketiyle sürekli bir klasifikasyon sağlanabilmektedir.



Şekil 2.4: Çöktürme konisi

Hidrolik Klasifikatör

Hidrolik klasifikatörlerde bir katı tanesine yer çekimi kuvveti, sıvının kaldırma kuvveti, sıvının sürükleme kuvvetine ilaveten çökme yönüne ters istikamette etki eden sıvı akımı kaldırma kuvveti ile birlikte dört kuvvet etki etmektedir. Düşey sıvı akımının hızı değiştirilerek belli özellikli tanelerin çökmesi veya taşması sağlanabilmektedir.

Taraklı Klasifikatör

Dibi düz ve belirli bir eğimle (%12 kadar) tasarlanmış, kenarları dik bir çöktürme tankı içinde çalışan bir veya birkaç tarak mekanizmasından ibarettir. Yatay su akımlı mekanik bir klasifikatördür. Tank eğimi %15-30 arasında olan bu klasifikatörlerde 0,589-0,074 mm tane boyutundaki malzemelerin ayrımı yapılabilmektedir.

Spiral Klasifikatör

Spiral klasifikatör de yatay su akımlı mekanik bir klasifikatördür. Ancak çöken iri malzeme tarak yerine spiral adı verilen bir helezon şeklindeki mekanizma ile taşınmaktadır (Görsel 2.34).

Görsel 2.34: Spiral klasifikatör

Hidrosiklonlar

Hidrosiklonlar; (Kısaca siklon diye anılır.) basit yapıları, hareket etmeyen parçaları nedeniyle 1890'lı yıllardan bu yana endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Görsel 2.35). Siklon üst kısmı silindirik, alt kısmı konik, katı-sıvı karışım (pülp) girişi teğetsel olan içi boş bir gövdeden ibarettir. Taneleri hem boyut hem de yoğunluk farkına göre ayırmaktadır. İri boyutlu ve yüksek yoğunluklu ağır taneler siklon altından elde edilmektedir. Küçük boyutlu ve düşük yoğunluklu hafif taneler de siklon üstünden çıkmaktadır. Siklonlar gövde çapları ile anılmakta ve uzunluk /çap oranı 2/1 ile 8-10/1 arasında değişmektedir. Sınıflandırmanın olabilmesi için pülpün siklonun belirli bir basınç ile beslenmesi yeterlidir. Bu basınç genellikle pompa ya da pülpün boru ile belirli yükseklikten sağlanmaktadır. Siklon altından çıkan iri malzeme "siklon alt akımı", girdap kılavuzundan alınan ince malzeme "siklon üst akımı" olarak adlandırılmaktadır.

Genellikle siklonlar, birden fazla sayıda oluşturulmuş siklon grupları hâlinde çalıştırılır. Siklonların verimliliği; beslemenin sürekliliğine, pülp basıncına, pülp yoğunluğuna ve beslenen malzemenin boyut dağılımındaki değişimine bağlıdır. Bu parametrelerin sabit kalması, siklonun sınıflandırma verimliliğini olumlu etkilemektedir. Siklonlarda çap büyüdükçe sınıflandırma sırasında alt ve üst akıma eşit miktarda geçen tane boyutu olarak ifade edilen d50 de büyümekte, cevherin aşındırma etkisi azalmaktadır.

Siklon sınıflandırmasında kullanılan proses parametreleri şunlardır:

- Katı-sıvı oranı, pülp yoğunluğu, pülp ısısı
- Katının özgül ağırlığı
- Katının ortalama şekli (küresel, yassı, köşeli vb.)
- Katının boyut dağılım ve aralığı

Görsel 2.35: Hidrosiklon

DİKKAT EDİYORUM

Sınıflandırma İşleminde İş Sağlığı ve Güvenliği

Sınıflandırma sürecinde alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

1. Sağlıklı ve güvenli çalışma ortamına uygun makine ve alet seçimi yapılmalıdır.
2. Sağlıklı ve güvenli çalışma koşulları dikkate alınmalıdır.
3. Ekipmanlarda çalışacak kişilerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini alması sağlanmalıdır.
4. Sınıflandırma işleminde kullanılan araç ve gerecin kullanım talimatı, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirler talimat şeklinde makine üzerine asılmalıdır.
5. Kullanılan makineler hakkında çalışanlara eğitim verilmelidir.
6. Tüm ekipmanlarının yanında güvenlik bilgi formları bulundurulmalıdır.
7. Oluşabilecek iş kazası sonrasında kırıcıları durdurmak için acil durdurma butonları olmalıdır.
8. Sınıflandırma işleminde çalışanlar gerekli kişisel koruyucu donanımlarla çalışmalıdır.

7. ETKİNLİK

Cevher zenginleştirmede stoklama işlemi ile ilgili bir sunum hazırlayarak sunumu arkadaşlarınızla paylaşınız. Sunu hazırlarken aşağıdaki açıklamaları dikkate alınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunu süresi belirlenmelidir.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Stoklama işleminin temel ilke ve ekipmanlarını anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Cevherlerin stoklanmasının nedenleri ve öneminden bahsetti.			
Stoklama alanlarının çeşitlerine değindi.			
Cevherin stoklama alanlarının düzenlenmesi hakkında bilgi verdi.			
Cevher zenginleştirme tesislerinde stoklama işleminin rolüne değindi.			
Sunum, görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Stoklamada İSG önemleri, kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun ifadelerle tamamlayınız.

1. Kayaç, cevher ve mineral gibi katı maddelerin küçük parçalara ayrılması işlemine ..... denir.

2. Kırma işlemi kademeli olarak yapılmaktadır. Bunun sebebi her bir kırıcı ekipmanın ulaşacağı ..... sınırlı olmasıdır.

3. Kırıcılar ..... olmak üzere temelde üç sınıfa ayrılır.

4. Açık devre kırma sisteminde ..... yük olmaz.

5. Bir malzemenin tane boyutunu küçültmek için yapılan işlemlere ..... denir.

6. Öğütme, prosesin akışına ve cevherin durumuna göre ..... olarak yapılabilmektedir.

7. İri cevher parçalarının kullanıldığı öğütme şekline ..... denir.

8. Kuru öğütmenin enerji sarfiyatı yaş öğütmeye göre yaklaşık % ..... daha fazladır.

9. Bir eleğin delikler bulunan kısmına ..... denir.

10. Endüstriyel elekler elemenin yapıldığı yüzeyin ..... olmasına göre iki ana bölüme ayrılır.

11. Zenginleştirme sonucu elde edilen konsantre cevherin tuvönan cevhere oranına ..... denir.

12. Öğütme ortamı çelik bilyelerden oluşan değirmenlere ..... denir.

B) Aşağıdaki soruları dikkatle okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Cevher zenginleştirme işleminde aşağıdakilerden hangisi kırıcı tiplerinden biri değildir?

A) Çekiç B) Çeneli C) Darbeli D) Konveyör E) Koni

2. Seconder (ikincil) kırıcılarla ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) İlk kırıcı aşamasında kullanılır.

B) Genellikle ince ve orta kırma işlemleri için tercih edilir.

C) Büyük blok cevherleri küçük parçalara ayırma amacı taşır.

D) Kırma kapasiteleri düşük olduğu için sıkça tercih edilmez.

E) Yüksek miktarda toz oluşumuna neden olur.

3. Primer (birincil) kırıcılarla ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) İnce kırma işlemleri için kullanılır.

B) Genellikle ikincil kırıcıların ardından gelir.

C) Büyük parça cevherleri daha küçük parçalara ayırmak için kullanılır.

D) Konsantre hâline getirme işlemi için tercih edilir.

E) Yüksek enerji tüketimi nedeniyle ekonomik değildir.

4. Çekiçli kırıcıların ana bileşenleri aşağıdakilerden hangileridir?

A) Rotor, difüzör, motor

B) Pervane, konveyör, hazne

C) Silindir, piston, valf

D) Rotor, çekiçler, kovanlar

E) Tambur, paletler, elekler

5. Cevher öğütme işleminin amaçları aşağıdakilerden hangisidir?

A) Cevherin döküm hâline getirilmesini sağlamak

B) Cevherin kimyasal bileşimini değiştirmek

C) Cevherin yüzey alanını artırmak

D) Cevherin sıvı fazına dönüşmesini sağlamak

E) Cevherin rafine edilmesini sağlamak

6. Cevher zenginleştirmede kullanılan aşağıdaki değirmen tiplerinden hangisi, sert ve dayanıklı malzemeleri ince toz hâline getirmek için tercih edilir?

A) Çeneli değirmen B) Top değirmeni C) Radyal değirmen

D) Çubuk dDeğirmeni E) Yarı otomasyonlu değirmen

7. Öğütme işlemini etkileyen aşağıdaki parametrelerden hangisi, malzeme öğütme hız ve verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir?

A) Ortam sıcaklığı B) Çevresel nem

C) Parçacık boyutu D) Döner değirmenin yarıçapı

E) Kullanılan öğütme süresi

8. Tamburlu değirmenin aşağıdaki bileşenlerinden hangisi, içerideki malzemeyi öğütmek için döner bir tambur olarak tasarlanmıştır?

A) Rotor B) Statik elek C) Konveyör bant

D) Pervane E) Çekiçler

9. Hareketli eleklerle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) Eleklerin titreşimli yapısı sayesinde malzemeler otomatik olarak seçilir.

B) Eleklerin öğütme işlemindeki enerji tüketimini artırıcı etkisi vardır.

C) Elekler sadece katı malzemeleri ayırmak için kullanılır, sıvıları ayırmak için kullanılamaz.

D) Eleklerde malzemeler genellikle dikey yönde hareket eder.

E) Eleklerin gözenek boyutu büyüdükçe malzemelerin ayrılma hassasiyeti artar.

10.

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

Yukarıda verilen elek verimi formülünde "V" neyi ifade eder?

A) Elek altına geçen malzeme miktarı

B) Elek verimi

C) Elek altına geçmesi gereken malzeme miktarı

D) Kritik boyut

E) Elek üstü ürün

11. Aşağıdakilerden hangisi sınıflandırma ekipmanlarından değildir?

A) Trommel elekler

B) Çöktürme konileri

C) Hidrolik klasifikatör

D) Taraklı klasifikatör

E) Spiral klasifikatör

C) Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. **Ufalama işleminde amaç nedir? Açıklayınız.**

   .....

   .....

   .....

2. **Kırılan malzemenin tane boyutuna bağlı olarak kaç türlü kırmadan söz edilebilir? Açıklayınız.**

   .....

   .....

   .....

3. **Değirmen çeşitlerinden 5 tanesini yazınız.**

   .....

   .....

   .....

   .....

4. **Cevher hazırlamada elemenin ana amaçlarını yazınız.**

   .....

   .....

   .....

   .....

5. **Triyaj işlemi nedir? Yazınız.**

   .....

   .....

   .....

6. **1500 ton %22 Cr_2O_3 içeren tuvönan krom cevheri konsantratöre beslendiğinde 600 ton %48 Cr_2O_3 içeren konsantre tinkal cevheri elde edilmektedir. 400 ton 8 Cr_2O_3 içeren atık olarak atılmaktadır. Buna göre randıman yüzde kaçtır?**

   .....

   .....

   .....

   .....

3. ÖĞRENME BİRİMİ

ZENGİNLEŞTİRME İŞLEMLERİ

KONULAR

3.1. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME

3.2. ZENGİNLEŞTİRME SONRASI İŞLEMLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Uygun yöntem ve araç gereçle cevher zenginleştirme işlemi
- Uygun yöntem ve araç gereçle cevher zenginleştirme sonrası numune alma ve stoklama işlemleri

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Cevher zenginleştirme dendiğinde aklınıza neler geliyor? Arkadaşlarınızla paylaşınız.

3.1. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME

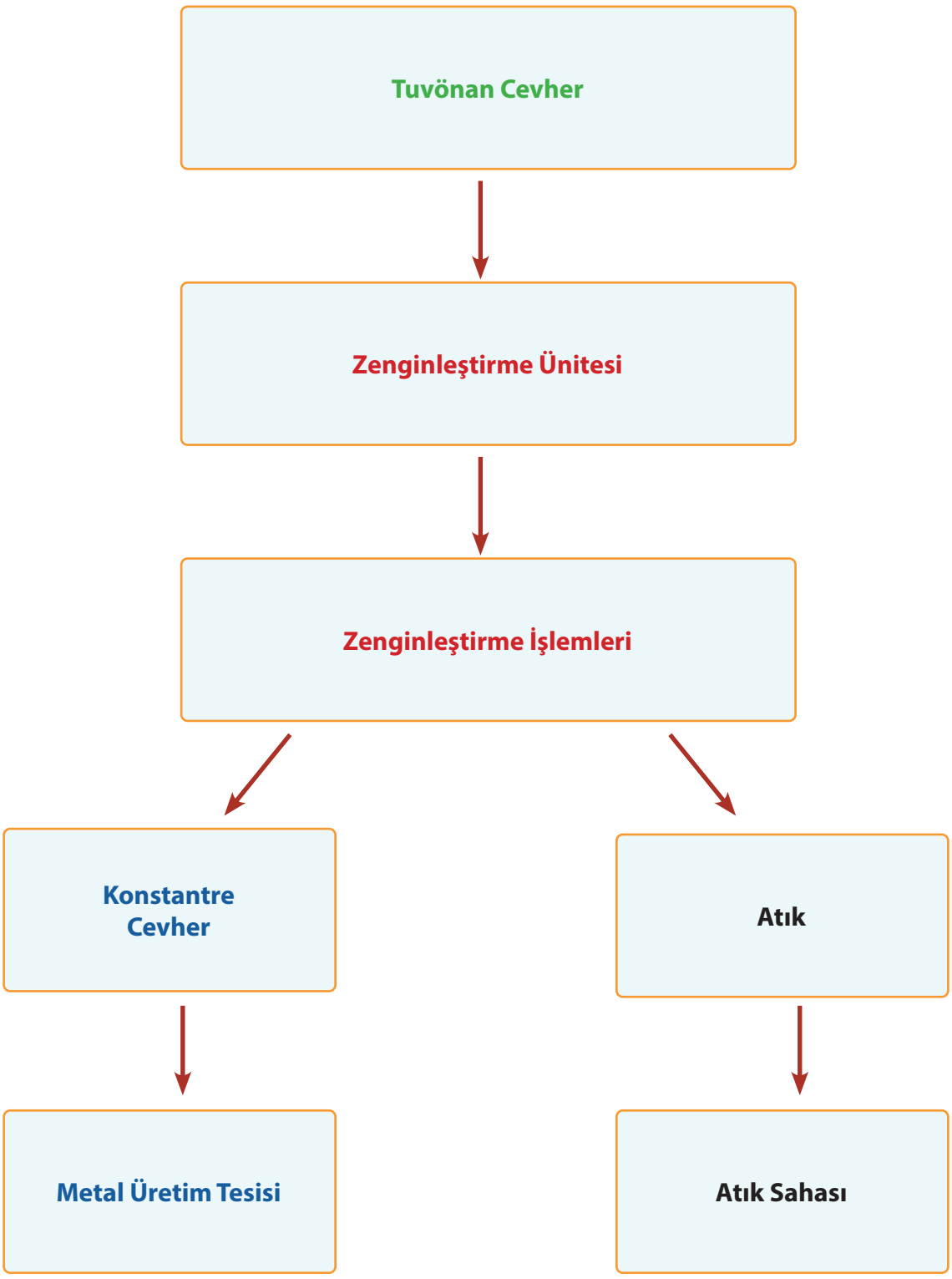
Cevher zenginleştirme işlemi; cevherlerde bulunan değerli minerallerin çıkarılmasını, bu minerallerin ticari olarak değerli ürünlere dönüştürülmesini ve aynı zamanda madencilik endüstrisinin sürdürülebilirliğini sağlamayı amaçlar. Bu süreç, maden yataklarından elde edilen ham cevherlerdeki istenilen mineralleri yüksek saflıkta ve konsantre hâline getirerek hem ekonomik olarak daha değerli ürünler elde edilmesine hem de doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Bu şekilde, madencilik endüstrisi hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir şekilde işleyebilir. Endüstri kullanım alanlarına göre cevherlerde aranan şartların başlıcaları şunlardır:

- Cevheri oluşturan tanelerin belirli bir büyüklükte olması
- Cevherin içerdiği kıymetli element veya mineral değerinin (tenör) belirlenen bir yüzde değerinin üzerinde olması
- Cevherin içerdiği kullanılamayacak (zararlı) element veya mineral değerinin (tenör) belirlenen bir yüzde değerinin altında olması

Belirtilen şartlar cevher zenginleştirme yöntemleriyle sağlanabilmektedir (Görsel 3.1).

Görsel 3.1: Cevher zenginleştirme tesisi

Cevher zenginleştirme işlemi, tüvenan cevherin maden ocağında üretilmesinden başlamaktadır ve zenginleştirme işlemi ile elde edilen konsantre cevherin, kullanılacağı metal üretim tesisine nakledilerek teslim edilmesine kadar devam etmektedir (Şema 3.1).



Şema 3.1: Cevher zenginleştirme işleminin aşamaları

3.1.1. Zenginleştirme Yöntemleri

Maden ocağından çıkarılan tüvenan cevher içerisinde bulunan değerli minerallerin serbest hâle getirilmesi kırma, öğütme, eleme ve sınıflandırma ile sağlanmaktadır. Boyut küçültme işlemleri sonucunda sağlanan serbestleşme ile cevheri oluşturan mineraller özelliklerine bağlı olarak konsantre adı verilen ürün içerisinde toplanmaktadır.

Cevher zenginleştirme işlemlerinde minerallerin fiziksel özelliklerinden (sertlik, gevreklik, renk, özgül ağırlık, manyetik duyarlık, radyoaktivite vb.), fiziko-kimyasal özelliklerinden (yüzey özellikleri vb.) ve kimyasal özelliklerinden (termal özellik, farklı çözünürlük vb.) yararlanılmaktadır.

Cevheri oluşturan minerallerin iri boyutta serbest kalanları, aralarındaki özgül ağırlık veya renk farkına göre elle ayıklama veya gravite yöntemiyle zenginleştirilmektedir. Daha ince boyutlarda olanlar ise gravite ve flotasyon (köpüklü yüzdürme) yöntemleri ile zenginleştirilmektedir. Manyetik ayırmada, minerallerin manyetik duyarlık farkından yararlanılarak zenginleştirme sağlanmaktadır. Mineralleri çözünme farklılıklarından yararlanılarak yapılan zenginleştirme, kimyasal yöntemleri kapsamaktadır. Cevher zenginleştirme yönteminin seçiminde bu özelliklerin yanı sıra ekonomik açıdan da uygulanabilir olması gerekmektedir.

Zenginleştirme işlemleri sonucu genellikle biri konsantre diğeri artık olmak üzere iki ürün alınır. Cevherin yapısına bağlı olarak bu ürünlerin dışında bir de ara ürün alınabilmektedir. Zenginleştirme işlemi tek veya çok kademeli olabilmektedir.

Zenginleştirme devresine beslenen cevher ağırlığının elde edilen konsantrenin ağırlığına olan oranına **zenginleştirme oranı** denir.

Zenginleştirme işlemi sonucunda elde edilen konsantrenin içinde bulunan değerli mineral (element) miktarının zenginleştirme devresine beslenen tüvenan cevher içindeki toplam değerli mineral (element) miktarına olan oranına ise **teknolojik (metal) kazanma verimi** denir.

3.1.2. Minerallerin Fiziksel Özelliklerine Göre Zenginleştirme Yöntemleri

Cevher zenginleştirme yöntemleri minerallerin fiziksel özeliklerine göre de yapılmaktadır. Bu yöntemlerden en sık kullanılanları şunlardır:

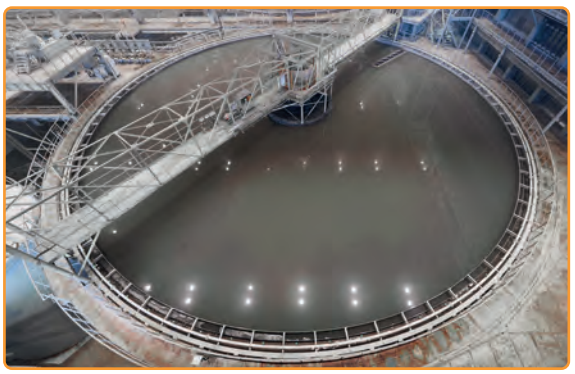
- Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) İle Zenginleştirme
- Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme
- Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme

3.1.2.1. Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) İle Zenginleştirme

Mineral tanelerinin özgül ağırlık farkından yararlanılarak akışkan bir ortam içinde, değişik şekilde hareket ederek birbirlerinden ayrılması sonucunda gerçekleşen işleme **gravite zenginleştirme** denir (Görsel 3.2). Gravite ile zenginleştirmede minerallerin şekil ve büyüklüğü ile akışkan ortamın viskozite ve özgül ağırlığının yanı sıra minerallerin şekli, büyüklüğü, akışkan ortamın viskozitesi ve özgül ağırlığı da önemlidir.

Gravite ile zenginleştirme işleminde başlıca üç türlü akışkan ortam kullanılmaktadır:

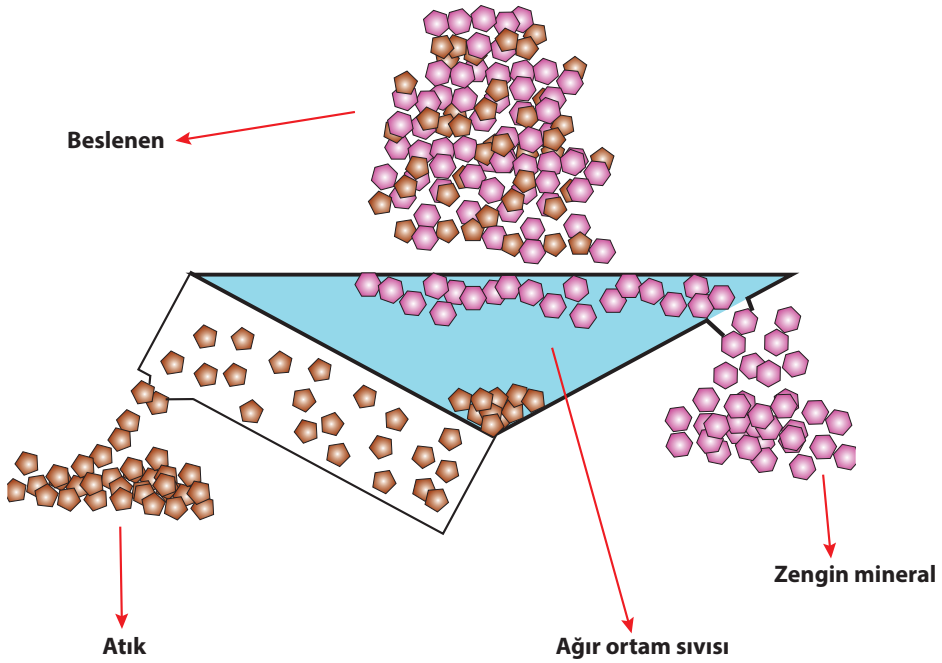
- Durgun ortam (ağır ortam)
- Düşey hareketli ortam (jig)
- Tabaka hâlinde eğimli akan ortam



Görsel 3.2: Gravite zenginleştirme işlemi

a) Ağır Ortam İle Zenginleştirme

Mineral tanelerinin aralarındaki özgül ağırlık farklılığına dayanılarak ağır bir akışkan ortam içerisinde yüzme ve batma yoluyla birbirinden ayrılması ile yapılan zenginleştirme işlemine **ağır ortam ayırması ile zenginleştirme** denilmektedir (Şekil 3.1). Ağır ortam olarak tuzların sudaki çözeltileri, organik sıvılar ve katıların su içindeki süspansiyonları kullanılmaktadır.

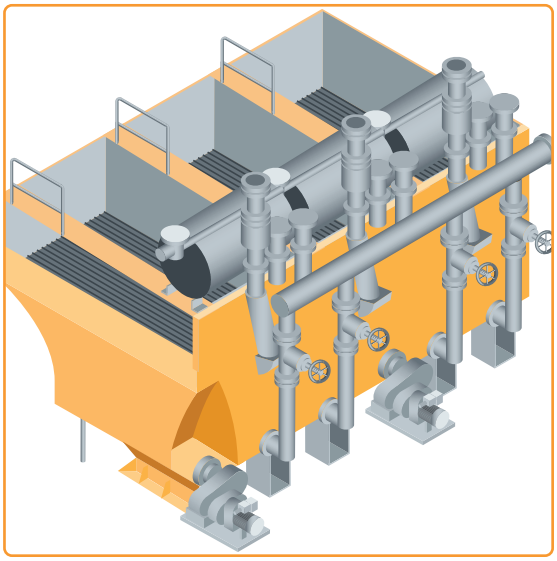


Şekil 3.1: Ağır ortam örneği (drewboy teknesi)

Ağır ortam ayırması; belirli yoğunlukta ağır sıvı içeren bir ortama beslenen mineral tanelerinden özgül ağırlığı, akışkan ortam özgül ağırlığından büyük olanların batması, küçük olanların ise yüzmesi prensibine dayanmaktadır. Kömürün zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

b) Düşey Hareketli Ortam İle Zenginleştirme

Bir cevherde bulunan farklı yoğunluklara sahip minerallerin düşey hareketli bir akışkan ortamda tabakalar hâlinde ayrılması yoluyla cevher zenginleştirme işlemine **jig ile zenginleştirme** denir. Bu işlemin yapıldığı aygıta **jig** denir (Görsel 3.3). Jiglerde kullanılan akışkan ortam çoğunlukla su, bazen hava, çok nadir olarak da ağır bir sıvıdır. Jigler, daha çok iri boylardaki cevherlerin (ağır cevher -25+1 mm, kömür -120 +3 mm) özellikle kömürlerin yıkanmasında kullanılan aygıtlardır. En ağır olanlar en alt tabakada, en hafif olan mineraller de en üst tabakada yer alır. Bu şekilde oluşan farklı özellikteki tabakaların ayrı ayrı jigden dışarı alınması sonucunda jig ile zenginleştirme işlemi sağlanır. Jigin tipini akışkan ortamın hareketini sağlayan sistem belirler. Buna göre jig tipleri; pistonlu, diyaframlı, hareketli elekli ve hava kamaralı olarak sınıflandırılır.



Görsel 3.3: Jig ünitesi

c) Tabaka Hâlinde Eğimli Akan Ortam İle Zenginleştirme

Küçük boyutlu mineral tanelerinin yataya yakın eğimdeki bir yüzey üzerinde ince bir tabaka hâlinde akan akışkan ortam içinde, yoğunluk farklarına göre ayrılmaları yoluyla yapılan zenginleştirme işlemlerine **tabaka hâlinde zenginleştirme** denir. Tabaka hâlinde zenginleştirme, ayırma yüzeyi sabit (humphrey spiralleri) ve hareketli (sallantılı masa) olmak üzere iki türlü yapılabilmektedir.

Sallantılı masalar, cevher yapısı içerisindeki minerallerin yoğunluk farkından yararlanılarak zenginleştirmede en çok kullanılan makinelerdir. Sallantılı masa, temel olarak üzerinde tabaka hâlinde akışkan olan, kabaca dikdörtgen şekilli ve hareketli bir masa yüzeyidir. Sallantılı masa uygun bir mekanizma ile uzun ekseni doğrultusunda ve geriye doğru hareketi daha hızlı olacak şekilde, ileri geri hareket ettirilmektedir. Masa yüzeyi genellikle dar ve uzun eşiklerle kaplıdır. Bu ileri geri hareket ve masa üzerindeki eşikler yardımıyla yoğunluğa göre bir ayırma işlemi yapmaktadır (Görsel 3.4).

Görsel 3.4: Sallantılı masa

Sallantılı masa yüzeyinde bulunan mineral taneleri, tabaka hâlinde akan akışkan hareketi ile akış yönüne dik olan asimetrik hareketin bileşke etkisi altında hareket etmektedir. Tabaka içinde en hızlı hareket eden, en hafif ve en iri tane masa hareketi doğrultusunda en kısa yolu almaktadır. Akışkan tabaka içinde en yavaş hareket eden en ağır ve en ince tane ise masa hareketi doğrultusunda en uzun yolu almaktadır. Yuvarlanma hareketi, en çok iri taneler üzerinde etkili olduğundan en iri ve en hafif tane en hızlı; en küçük ve en ağır tane ise en yavaş harekete sahip olmaktadır.

Eşikli oluk, Reichert konisi, spiral oluk (humprey), havalı masa ile de mineralleri özgül ağırlık farkına göre zenginleştirmek mümkün olmaktadır.

3.1.2.2. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme

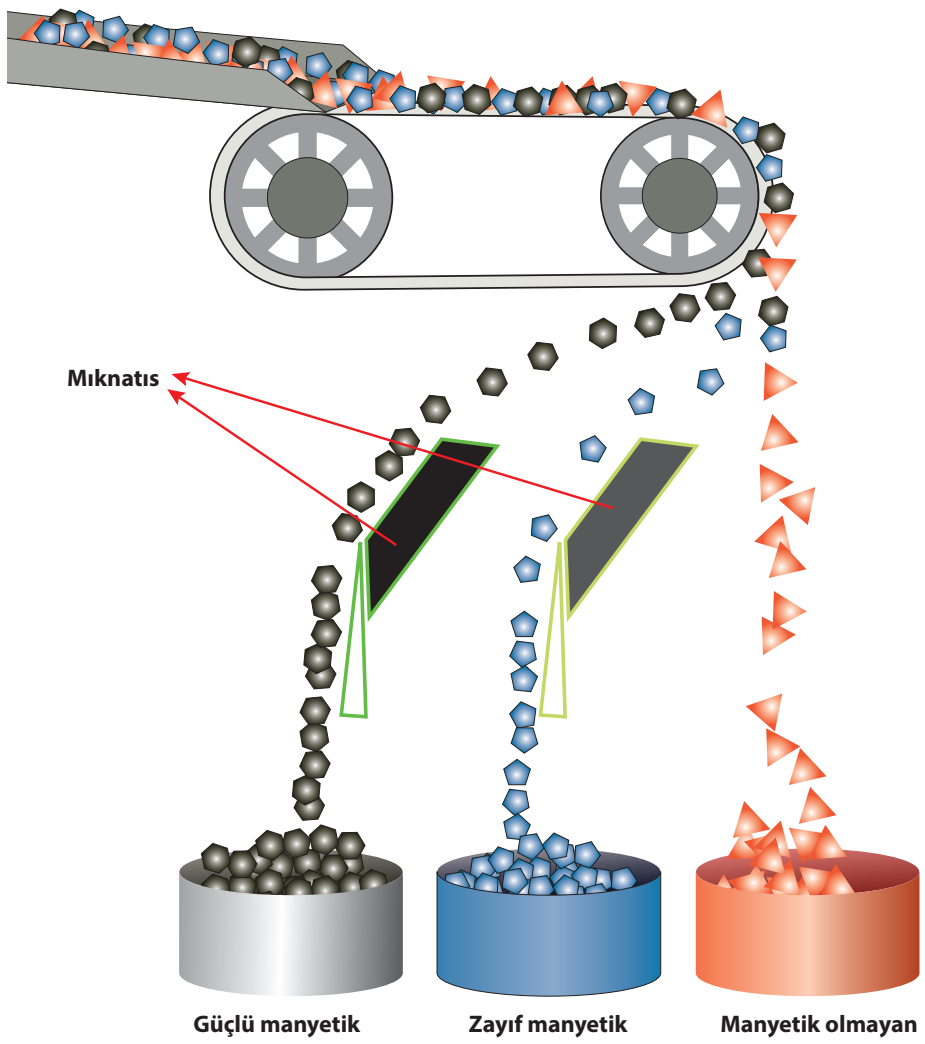
Manyetik ayırma endüstride geniş bir uygulama alanı olan ve minerallerin farklı manyetik özelliklerinden yararlanılarak yapılan bir zenginleştirme yöntemidir (Şekil 3.2). Manyetik ayırma işleminde sürtünme ve gravite kuvvetlerinin mıknatısların çekim kuvvetleri ile birleşmesi suretiyle bir manyetik alan içindeki farklı manyetik özellikteki minerallerin birbirinden ayrılabilmesi sağlanmaktadır.

Manyetik ayırma yöntemi ile manyetik özelliğe sahip değerli mineraller, manyetik olmayan minerallerden ayrılarak zenginleştirilmektedir. Örneğin seramik ham maddelerinden demirin arındırılmasında da bu yöntem kullanılmaktadır.

Manyetik ayırma ile zenginleştirmede, manyetik kuvvetlerin ve manyetik alanın özellik farklılıkları etkin olduğundan cevherin bu özellikleri dikkate alınmaktadır.

Cevherdeki manyetik kuvvetler şunlardır:

- Diamanyetizm
- Paramanyetizm
- Ferromanyetizm



Şekil 3.2: Manyetik ayırma

a) Diamanyetizm

Manyetik bir alana konulan katı maddede elektriksel değişim ile oluşan zayıf mıknatıslık özelliğidir. Diyamanyetik minerallerin manyetik duyarlılığı zayıf olduğundan manyetik ortam tarafından itilmektedir. Bu tür mineraller manyetik olarak zenginleştirilemezler. Kuvars, kalsit, sfalerit, galen ve manyezit diyamanyetik minerallere örnek olarak verilebilmektedir.

b) Paramanyetizm

Manyetik duyarlılıkları küçük olan cisimler manyetik alan içinde zayıf olarak çekilmektedir. Paramanyetik mineraller yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla ayrılmaktadır. Bu özellikteki minerallere örnek olarak ilmenit, rutil, wolframit, monazit, siderit, kromit, hematit, manganez sayılabilir.

c) Ferromanyetizm

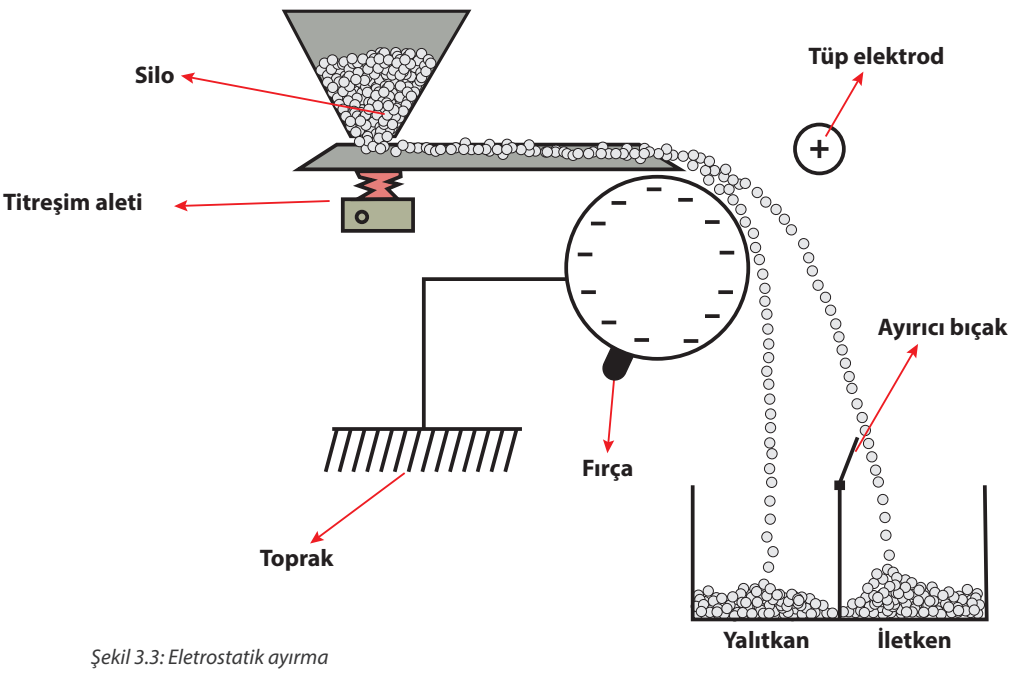
Ferromanyetik mineraller manyetik duyarlılıkları çok yüksek olan doğal mıknatıslardır. Bu özellikteki mineraller zayıf alan şiddetli ayırıcılarla zenginleştirilebilir. Demir (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co), ferromanyetik elementlere örnek verilebilir.

Manyetik alan içinde hareket eden mineral tanesi manyetik kuvvet dışında yer çekimi, moment, sürtünme, hidrolik ve taneler arası itici-çekici kuvvetlerin etkisi altında da kalmaktadır.

3.1.2.3. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme

Elektriği iletebilen minerallerle aynı ortamda bulunan gang mineralleri arasında elektrik geçirgenliği farkından yararlanılarak yapılan zenginleştirme işlemidir (Şekil 3.3).

Elektrostatik ayırıcılar minerallerin elektriksel iletkenliklerinin farkına dayanarak yüksek gerilim altında çalışan cihazlardır. İletkenliği yüksek bir mineral taneciği, topraklanmış bir metal silindir üzerinden düşerken yüksek potansiyelle (10-20 000 volt) yüklenmiş bir elektrotun etkisi ile polarize olmaktadır. Topraklanmış metal silindire elektron yükünü iletebilirse silindirden ayrılmakta ve çekici elektrotun etkisi ile silindirden uzaklaşarak düşmektedir. İletkenliği zayıf bir mineral taneciği ise üzerindeki yükü çok yavaş bıraktığından silindire yapışarak birlikte döner ve elektrotun etkisinden kurtulduktan sonra bir fırça ile ayrı bir yerde toplanmaktadır.



Şekil 3.3: Eletrostatik ayırma

3.1.3. Minerallerin Kimyasal Özelliklerine Göre Zenginleştirme Yöntemleri

Cevherdeki değerli minerallerden değersiz minerallerinden kimyasal işlemler ile ayrıştırılmasına **kimyasal özelliklerine göre zenginleştirme** denir. Bu alanda ilk kimyasal zenginleştirme işlemleri altın ve gümüş içeren cevherlere uygulanmıştır. Kimyasal zenginleştirme yöntemlerinin başlıcaları kalsinasyon, kavurma ve liç (çözündürme) işleminin yerinde 20. yüzyılın başlangıcından itibaren altın ve gümüş kazanılmasında siyanür ile çözündürme (siyanürasyon) en çok başvurulan yöntemlerden biri olmuştur. Liç (çözündürme); yerinde liç, yığın liçi, süzülme liçi (percolation), karıştırma liçi gibi farklı çeşitleri vardır.

3.1.3.1. Kalsinasyon

Bir cevherin neminin ve yapısındaki bağlı suyun uzaklaştırılması amacıyla erime noktasının altında ısıtılması işlemine **kalsinasyon** denir. Kalsinasyon işlemi daha çok karbonat içeren cevherlere uygulanmaktadır. Karbonat kalsinasyonunda cevherden karbondioksit uçurulmaktadır.

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

Alçı imalatında, saf jips yapısında bulunan fazla suyun uzaklaştırılması için kalsinasyon işlemi uygulanır. Ayrıca çimento ve kireç üretimi bazı maddelerin kalsinasyonu sayesinde gerçekleşmektedir.

Kalsinasyon işlemi endotermik dönüşümü kapsar. Kalsinasyon işleminde bileşikler parçalanır. Parçalanma reaksiyonun hızı, sıcaklık arttıkça artar. Kurutma işleminde sadece cevherdeki nem uzaklaştırılırken kalsinasyon işleminde, gazlar ve molekül yapıda bulunan sular uzaklaştırılmaktadır. Kalsinasyon sırasında oluşan parçalanma noktasını diğer empüriteler etkilemektedir.

Molekül yapısında kristal suyu içeren bor mineralleri de kalsinasyon işlemi ile zenginleştirilerek eritme işlemi öncesi su yükünden kurtarılmaktadır. Tinkalin (boraks) molekül yapısında bulunan 10 mol su kalsinasyon ile 2 mole indirilir. Böylece susuz boraks işlemi öncesi ergitme fırınına daha az su girdisi sağlanarak ısıtma enerjisi azaltılmakta, fırın kullanım ömrü uzatılmaktadır.

$$Na_2O.2B_2O_{3.10}H_2O \longrightarrow Na_2O.2B_2O_{3.2}H_2O + {}_8H_2O$$

Kalsinasyon işlemlerinde kullanılan üniteler; döner fırın, şaft fırını ve akışkan yataklı fırınlardır (Görsel 3.5).

Görsel 3.5: Kalsine fırını

3.1.3.2. Kavurma

Kavurma işleminde cevher, sıcaklık etkisiyle belirlenen kimyasal değişimlere uğratılmaktadır. Kalsinasyona göre daha kapsamlı bir işlem olan kavurma işlemi sürecinde cevher hava (gaz) içeren bir ortamda ergime olmaksızın ısıtılmaktadır. Kavurma işlemi ile zenginleştirme, daha çok yapısında sülfür içeren cevherlere uygulanmaktadır. Sülfürlü cevherler, kimyasal yapıları sebebiyle metalürjik işlemlerde problem çıkartmaktadır. Ayrıca sülfürlerin tepkimeye girmeleri uzun zaman aldığından enerji giderlerini arttırmaktadır. Bu nedenle kavurma işleminde metal sülfürlerin bulunduğu ortama O_2 üflenmekte ve cevherle tepkimeye girmesi sağlanmaktadır. Oluşan tepkime sonucunda SO_2 gazı oluşurken cevherdeki metal oksitlenmiş olarak reaksiyondan ayrılmaktadır. Kavurma işlemi, oksijen gazı ve katıların yüksek sıcaklıkta tepkimeye girmesi olarak da tanımlanabilir. Katı durumda gerçekleşen bu tür reaksiyonlara **sinterleme** denilmektedir. Oksitleyici kavurma ekzotermik bir işlemdir. Kavurma işleminde reaksiyon şöyledir:

$$2\,PbS + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,PbO + 2\,SO_2$$

Açığa çıkan SO_2, genellikle sülfürik asit üretiminde kullanılmaktadır.

3.1.3.3. Liç

Cevherin içerisinde bulunan kıymetli minerallerin uygun bir çözelti ile çözündürülerek ve ortama verilen çözeltiden ayrıştırılarak kazanılması için uygulanan işlemlere **liç** denilmektedir. Liç, kısaca çözünürlük farkından yararlanılarak zenginleştirme işlemidir. Nadir toprak elementleri, trona ve çeşitli tuzların zenginleştirilmesinde bu yöntem uygulanmaktadır. Liç işlemi temel olarak hidrometalurjik zenginleştirme yöntemlerinden biridir.

Liç ile zenginleştirme temel olarak üç aşamada yapılır. Bu aşamalar şunlardır:

- Ön hazırlık işlemleri (boyut küçültme, sınıflandırma, ısıl işlem vb.)
- Değerli mineralin çözeltiye alınması
- Çözelti içerisine alınan kıymetli mineralin geri kazanılması

Liçin tek dezavantajı ise düşük sıcaklık nedeniyle reaksiyonların dolayısıyla tüm işlemin yavaş olmasıdır.

a) Yerinde Liç

Genellikle düşük tenörlü cevherlere uygulanmaktadır. Çözme işlemi yer altında gerçekleştirilmektedir. Pompalar aracılığıyla yer altına gönderilen çözücüler mineralleri çözücüye aldıktan sonra toplayıcı pompalar ile yeryüzüne çekilmektedir. Bu yöntemde işlem yapılacak cevherin yatağı, geçirgen olmayan başka bir kayaç ile çevrilmiş olmalıdır. Bu sağlanamadığı takdirde yer altına gönderilen çözücüler, toplayıcı pompalarla alınamadan diğer bölgelere sızabilmektedir. Ayrıca yer altından alınacak cevher liç çözeltisine geçmelidir.

b) Yığın Liçi

Bu yöntemde geçirimsiz bir tabaka üzerine yığılan cevhere, çözücü kimyasallar uygulanarak kıymetli mineraller çözeltiye alınmaktadır.

c) Kolon liçi

Bu yöntem genellikle laboratuvar ölçekli araştırmalarda kullanılmaktadır. Bazı büyük ölçekli zenginleştirme işlemlerinde de kullanılabilmektedir. Kolon altına malzemenin geçemeyeceği gözeneklere sahip olan bir filtre konulmaktadır. Cevher kolona doldurulduktan sonra kolonun üzerinden verilen çözücü, kıymetli metalleri çözeltiye alarak aşağıya süzülmektedir. En alttaki filtreden geçtikten sonra havuzda toplanmaktadır. Toplanan çözelti, özel pompalarla tekrar kolona beslenmektedir. Çözelti içindeki metal miktarı belli bir değere ulaşıncaya kadar işlem sürdürülmektedir.

1. ETKİNLİK

Demir ve kömür cevherlerinin zenginleştirme işlemleri ile ilgili araştırma yaparak bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu sınıfınızda paylaşınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunu süresi belirlenmelidir.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Demir ve kömür cevherlerinin madencilik ve zenginleştirme süreçlerini detaylı, anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Demir ve kömür cevherlerinin farklı türleri, özellikleri ve kimyasal bileşimleri hakkında bilgi verdi.			
Fiziksel zenginleştirme süreçleri (eritme, eleme, yıkama) hakkında bilgi verdi.			
Kimyasal zenginleştirme süreçleri (flotasyon, manyetik ayırma) hakkında bilgi verdi.			
Biyolojik zenginleştirme teknikleri hakkında bilgi verdi.			
Sunumda, görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Zenginleştirme işlemleri sırasında İSG önemleri, kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında arkadaşlarından gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

3.1.4. Flotasyon

Gravimetrik yöntemlerle zenginleştirilmesi mümkün olmayan çok ince boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan bir fizikokimyasal ayırma yöntemidir. Flotasyon minerallerin yüzey veya ara yüzey özelliklerinden yararlanılarak faydalı mineralleri, faydasız minerallerden ayırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir zenginleştirme yöntemidir.

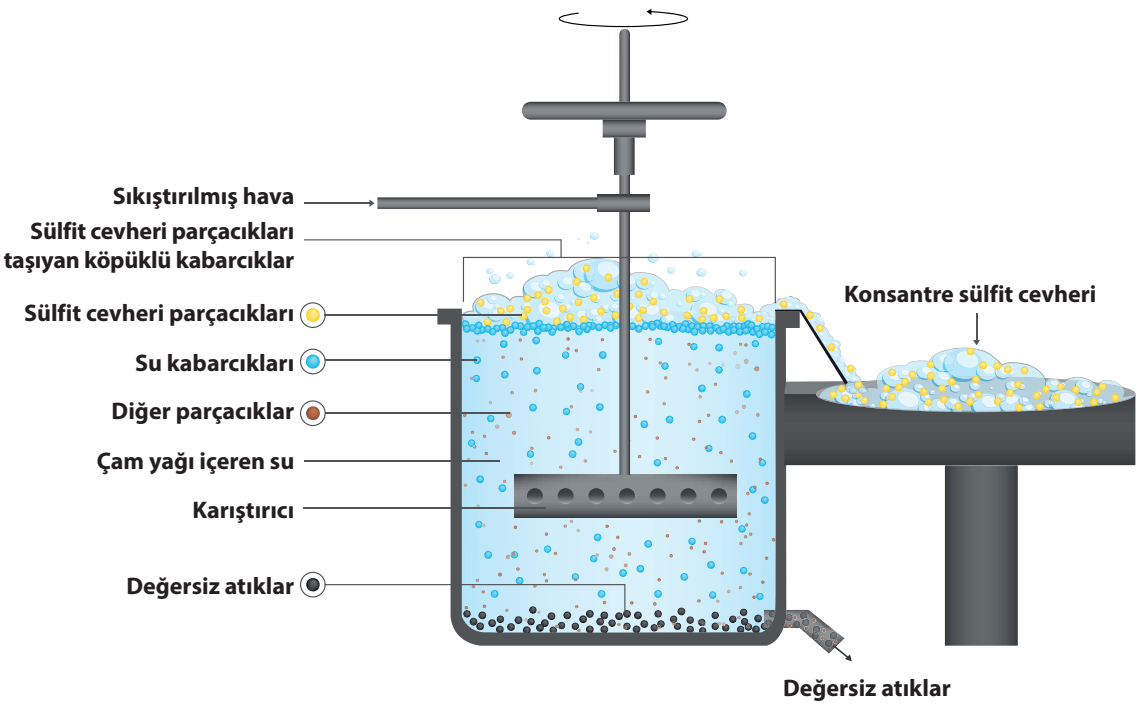
3.1.4.1. Flotasyon Prensibi

Teknolojinin ilerlemesi ile madenlere olan talep artmaktadır. Buna bağlı olarak maden ocaklarında mekanizasyonun artması ve yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesi sonucunda serbestleşme tane boyutu çok ince olan cevherleri işleme zorunluluğu flotasyon teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır.

Düşük tenörlü ve kompleks yapıdaki cevherlerin içerisindeki kıymetli mineraller, gang (değersiz taş ve mineraller) içerisine çok ince olarak dağılmış durumdadır. Cevher içerisindeki kıymetli minerallerin gangdan ayrılarak serbest hâle gelmesi ve gangdan ayrılan kıymetli minerallerin birbirinden ayrılması 0,2 mm.den 0,005 mm. boyutlarına kadar inen öğütme işlemini gerekli kılmaktadır. Çok ince boyutlara öğütülen cevherlerde, daha önce anlatılan cevher zenginleştirme yöntemleri kullanılamamaktadır. Boyut küçüldükçe yüzey alanı artmaktadır. Böylelikle maddenin özellikleri çok büyümüş olan bu yüzeyler tarafından belirlenmektedir.

Yalnızca maden sektöründe değil gıda, kimya ve çevre gibi alanlarda da flotasyon teknolojisi yaygınlaşmıştır. Atık suların arıtılmasında, geri dönüşen kâğıtlardan mürekkeplerin uzaklaştırılmasında, endüstriyel artıklardaki ağır metallerin temizlenmesinde, et ve süt sektörlerinde kirletici ve yağların giderilmesi işlemlerinde de flotasyon teknolojisinden yararlanılmaktadır.

Genelde sülfürlü cevherlerin ayrıştırılmasında kullanılmaktadır (Şekil 3.4). Dünyada flotasyon özellikle bakır, kurşun ve çinko cevherlerinin zenginleştirme yöntemlerinden biridir. Örneğin porfirik bakır cevherlerinin (hem oksitli hem sülfürlü) flotasyon ile sülfürlü ve oksitli olarak ayırmak mümkündür.



Şekil 3.4: Flotasyonda yüzdürme

Flotasyon (köpüklü yüzdürme) yönteminde, tanelerin farklı yüzey özelliklerinden ve pülp içerisinde oluşturulan hava kabarcıklarından faydalanılmaktadır. Flotasyon, üretilecek cevherin su sevme (hidrofilik) ve su sevmeme (hidrofobik) özelliklerini kullanarak, sıvı içerisinde kabarcık oluşturarak suda yüzmesi veya batması ile diğer malzemelerden ayrılmasını sağlayan bir zenginleştirme yöntemidir (Görsel 3.6). Tanelerin birbirinden ayrılması; hava kabarcığı ile temas kuran tanelerin (hidrofoblar) yukarıya doğru, kuramayan tanelerin (hidrofiller) ise aşağıya doğru hareketi ile sağlanmaktadır.

Kömür, grafit, elmas, kükürt gibi minerallerin yüzey yapıları kolayca flotasyonla ayrılmaya müsaittir. Bu mineraller, bir miktar hidrokarbon yağı ve köpürtücüler ile kolayca köpüğe ayrılmaktadır. Bu minerallerin yüzeylerindeki atomlar su moleküllerine tepki göstermektedir. Mineral yüzeyleri ince bir hidrokarbon tabakası ile kaplanmakta ve hava kabarcıklarına yapışarak çözelti üzerine köpükle birlikte çıkmaktadır. Yüzen taneciklerin yüzeyleri hidrofobtur. Bu tanecikler su tarafından itilmekte, hidrokarbon yağlar ve hava tarafından çekilmektedir. Yüzeydeki atomlar arasındaki bağlar kovalent yapıdadır.

Batan minerallerin bağları genellikle iyoniktir. Su moleküllerine ve içerisindeki iyonlara karşı özel bir çekicilik göstermektedir (hidrofil). Cevher karışımından ayrılması istenen mineral taneciklerinin yüzeylerine reaktifler absorbe ettirilerek hava habbeciklerine yapışması sağlanabilmektedir.

Flotasyon ile zenginleştirmede verimli bir proses için tane iriliğinin en fazla 45 mesh olması gerekmektedir. Flotasyonla ekonomik olarak zenginleştirilen cevherler şunlardır:

- %1 tenörlü kurşun cevherleri
- %0,5 tenörlü bakır cevherleri
- %0,3 tenörlü molibden cevherleri
- 5 g/Au altın mineraller

Görsel 3.6: Flotasyon havuzu

Flotasyon olayının meydana gelebilmesi için ortamda bulunması gereken şartlar şunlardır:

- Cevherdeki minerallerin yüzey gerilimine sahip olması gerekmektedir. Minareller ısıya karşı dirençsiz (hidrofil) olmalıdır.
- Flotasyon suyu, yüzey gerilimini aktif yapan maddeleri içermelidir. Bu maddelerden birisi su, hava yüzey gerilimini azaltmalı; diğeri de köpük yapmalı ve miktarı da stabil (durağan) bir köpük yaratacak kadar olmalıdır.
- Hidrofob mineral tanecikleri hava habbecikleri tarafından taşınabilmelidir. Bu olayda hava habbeciği ve mineral tane iriliğinin önemli rolü vardır.

Flotasyon olayının devamlı olabilmesi için gerekli şartlar şunlardır:

- Bir mineralin diğerinden ayrılması için cevher yeteri derecede öğütülmüş olmalıdır (serbestleşme sağlanmalı).
- Köpüğün devamlılığı sağlanmalıdır.
- Mineral taneciklerini, hava kabarcık / habbeciklerine yapıştıran ortamın devamlı olması gerekmektedir.
- Cevher zenginleştirme işlemlerinde100'den fazla mineral flotasyon ile zenginleştirilmektedir.

Yüzdürme işlemi sadece suyla yapılamadığından flotasyon için malzeme içine reaktifler eklenmektedir. Bunlar sırası ile pH ayarlayıcı, bastırıcı, canlandırıcı, toplayıcı (kollektör), köpürtücüdür.

Bütün bu şartların bir araya getirilmesi ile istenilen mineralin yoğunluğu suni olarak değiştirilmekte ve o mineral yüzdürülebilmektedir (Görsel 3.7). Bu gaye için kullanılan kimyasal maddelere **flotasyon reaktifleri** denir.

Görsel 3.7: Yüzdürme tankları

3.1.4.2. Flotasyon Kimyasalları (Reaktifleri)

Flotasyon olayında kolay yüzebilen tanecikler, hidrofob özelliğe sahip olanlardır. Bu özellikte olmayan mineral taneciğini yüzdürebilmek için tanecik tabii hidrofob değil ise yüzeyi değiştirilmektedir. Aksi hâlde tanecik çöktürülmek isteniyorsa hidrofil yapmak gerekmektedir.

Flotasyon olayının devamlı ve muntazam olması için ortama köpürtücü ilave edilmekte ve mekanik yolla karıştırmak suretiyle köpük oluşumu sağlanmaktadır. Ortama flotasyon reaktifleri ilave edilerek mineral taneciklerinin hava baloncukları tarafından yakalanıp yüzeye taşınması temin edilmektedir.

Flotasyon reaktifleri denilen bu maddelerin sınıflandırılması şöyledir:

1. Kollektörler
2. Düzenleyiciler
    - pH düzenleyicileri
    - Aktifleştiriciler
    - Pasifleştiriciler
    - Kuvvetlendiriciler
    - Koruyucular
    - Köpürtücüler

1. Kollektörler

Kollektörlerin esas görevi, minerali hidrofob yapmak yani yüzeyini değiştirerek aktif hâle getirmektir. Kollektörlerin etkili olabilmesi için suda erimeleri gerekmektedir. Bir kollektör reaktifin kuvveti ile mineralin flotasyonu için ihtiyaç duyulan zaman ve olayın verimi ifade edilmektedir. Kollektörlerin mümkün olduğu kadar çabuk zenginleştirme özelliğine sahip ve korozyona mani olacak tarzda imal edilmesi istenmektedir.

Kollektörler başlıca iki grup altında toplanır.

1. Anyon aktif grubu (Sülfür flotasyonunda kullanılır.)
2. Katyon aktif grubu (Oksit flotasyonunda kullanılır.)

Kollektörlerin yapısında bir polar bir de apolar kısım vardır. Hidrofobi teşekkülüne etkili olan kısım, polar yapıdır. Polar ve apolar yapının tesiri, aynı şekilde olmaktadır.

Mineral taneciklerinin kollektör tarafından kuşatılmasını etkileyen etmenler şunlardır:

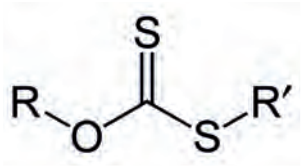
- Minerallerin kollektörü absorbe etmesi
- Islanmayan hidrokarbon grubunun bir yağ filmi teşkil etmesi

Mineral yüzünü kaplayan bu yağ filmi ile hava habbeciği arasında büyük bir adezyon kuvveti vardır. Kollektörlerin sayılan bu özelliklere sahip olması nedeniyle ksantat tipindeki kollektörler, flotasyon problemlerinde tercih edilmektedir.

Ksantat (Xanthates)

Ksantatlar genelde sülfürlü minerallerin flotasyonunda kullanılmaktadır. Genel formülleri R.C2OH olan, sülfürlü minerallerin yüzdürülmesinde kullanılan sülfhidril grubu toplayıcılar, yeşilimsi sarı renkte tuzlar olup kapalı ambalajlarda olmak kaydıyla uzun süre saklanabilmektedir. Havayla temas edince okside olmakta ve bünyelerindeki karbonu da bırakmak suretiyle bozulmaktadır. Fazla sıcağa da tahammülü yoktur. Bu sebepledir ki muhafazalarında olduğu kadar kullanılma anlarında da buna dikkat etmek gerekmektedir. Kullanma anında ortamın ısısı maksimum 50°C olmalıdır. Kullanmak üzere yapılan solüsyon bekletilmemelidir. Ksantatlar, asidik ortamda hidrolize olmakta ve bu nedenle alkali ortamda etkili olmaktadır.

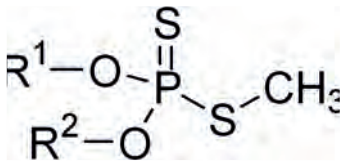
Formül:



Ditiofosfatlar (Dithiophosphates)

Ditiofosfatlar, ksantatların kullanıldığı cevher tiplerinde tercih edilmektedir. Bu toplayıcı ksantatlarla beraber kullanılırsa flotasyon veriminde artış sağlanabilmektedir. Ksantatların aksine asidik ortamda kullanılabilmektedir. Sıvı hâlde satılmaktadır. Ticari isimlerinden bazıları şunlardır: sodyum dibutil ditiofosfat, fosforoditioik asit bis (metilfenil) ester.

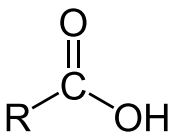
Formül:



Yağ Asitleri

Yağ asidi endüstriyel ham maddelerin (metalik olmayan) flotasyonunda tercih edilmektedir. Bunların en büyük mahzuru suda çok zor çözünmeleridir. Sarfiyatları çok yüksektir. Örneğin Hindistan cevizi yağı (CEHBCOOH), pamuk çekirdeği yağı bu grupta yer alır.

Formül:



2. Düzenleyiciler

Düzenleyiciler flotasyon sürecinin optimizasyon ve kontrolünü sağlayan önemli reaktiflerdir. Flotasyon işleminde cevherlerden istenen mineralleri ayrıştırmak ve zenginleştirmek amacıyla bir dizi reaksiyon ve etkileşim gerçekleşir. Düzenleyiciler bu reaksiyonları kontrol ederek istenilen sonuçları elde etmeye yardımcı olur. Düzenleyiciler, flotasyon işleminin optimize edilmesi ve istenilen mineral zenginleştirmesinin sağlanması için önemli bir rol oynar. İyi bir düzenleyici seçimi ve düzenleyici konsantrasyonunun ayarlanması, flotasyon sürecinin verimlilik ve seçiciliğini artırır.

- **pH Düzenleyiciler**

Flotasyonun ortamının pH değerini değiştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Minerallerin yüzdürülüp batırılmasında pH değeri önemli bir değişken olduğundan flotasyon işlemi boyunca kontrol edilmeli ve düzenlenmelidir. pH değerini düşürmek için genelde sülfürik asit (H_2SO_4), yükseltmede ise sodyum hidroksit (NaOH) tercih edilmektedir. Selektif flotasyonda ortamın pH değeri değiştirilerek cevheri oluşturan mineraller sırasıyla kazanılmaktadır. Karışık bir olay gibi görünen bu durum, aslında ortamdaki serbest H iyonu sayısının değiştirilmesinden ibarettir. Yani ortamın karakterini asidik veya bazik yapmaktır. Saf su için pH değeri 7'dir. Yani ortam tarafsız karakterdedir. pH < 7 asit, pH > 7 oluşu baziklik ifade etmektedir. Flotasyon devrelerinde pH, elektrometrik veya kalorimetrik yolla devrenin bir noktasında devamlı olarak ölçülmekte ve kontrol altında tutulmaktadır.

- **Aktifleştiriciler**

Bazı durumlarda, kollektörler mineral taneciklerinin yüzeyini değiştirmek için yeterli olmamaktadır. Bu gibi durumlarda mineral kazanım verimini arttırmak için aktifleştiriciler kullanılmaktadır. Aktifleştirme olayının prensibi sfaleritin bakır sülfat ile aktifleştirilmesi olayı ile izah edilmektedir (Görsel 3.8). Genellikle çok taze bir sfalerit organik kollektörler ile yüzdürülebilirse de sfalerit bakır sülfat ile birkaç dakika muamele edildikten sonra organik kollektörlerle gayet kolay yüzdürülmektedir. Bu işlemde bakır sülfatla sfalerit kimyasal bir reaksiyon yapmakta ve sfaleritin yüzünde kovellin mineraline özdeş bir zar oluşmaktadır. Bunun gibi bakır sülfat birçok minerali da aktifleştirmektedir.

Görsel 3.8: Bakır sülfat cevheri

- **Pasifleştiriciler (Bastırıcılar)**

Bu tür reaktifler, belli minerallerin yüzey kimyasını değiştirmek için kullanılmaktadır. En önemli pasifleştiricilerden biri siyanürdür. Pasifleştiricilerin çoğu anorganiktir fakat organik olanlar da vardır. Örneğin pirit için CaO, galen için ise bikromat iyi birer pasifleştiricidir (Görsel 3.9).

Görsel 3.9: Amonyum bikromat

- **Kuvvetlendiriciler**

Belirli bir süre için pasifleştirilmiş mineralleri yeniden kazanmada kullanılmaktadır. Aktifleştiricilere göre daha zayıftır. Esas olarak aktifleştirme olayından pek farklı değildir. Bu olayda mekanizma biraz daha değişiktir. Belirli bir süre için pasifleştirilmiş bir kısım mineral yeniden kazanılmak istendiği takdirde ortama kuvvetlendirici reaktifler ilave edilmektedir. Bu şekilde bunların aktifleştiricilere göre daha zayıf olan toplama özelliklerinden yararlanılmaktadır. En önemlilerinin başında sodyum sülfür gelmektedir. Ayrıca bakır sülfat ve çeşitli asitler de bu maksatla kullanılmaktadır (Görsel 3.10).

Görsel 3.10: Sodyum sülfür

- **Koruyucular**

Bunların görevi flotasyon olayına engel olan unsurları zararsız hâle getirmektir. Flotasyona engel olan unsurlar (flotasyon zehirleri) ya cevherle birlikte devreye girmekte ya da kullanılan suda doğal olarak bulunmaktadır. Flotasyon sularında genellikle humin asidi mevcuttur ki bu asit, bitki köklerinin ürettiği bir madde olup flotasyon olayına engel olmaktadır. Çamur zerreleri mineral taneciklerinin yüzünü kapladığından kollektörler görevini yapamamaktadır. Ferrik ve alüminyum tuzları ise flotasyona durdurucu etki göstermektedir. Koruyuculardan istenen bu hâllerden her birine yerine göre mâni olmaktır. Bu problemlere karşı alkaliler kullanılmaktadır. Su camı ve çamur bastırıcı iyi bir koruyucudur. Çamur bastırmada kullanılan koruyucuların iyonları, çamur zerrelerinin elektrik yüküyle zıt işarette olduklarından bu eriyikler devreye girince çamur zerrelerine yapışmakta ve ufak yumaklar hâlinde çökmektedir. Bu şekilde faydalı mineral tanecikleri de serbest kalmaktadır.

- **Köpürtücüler**

Flotasyonda temel olan köpük, sadece su ile elde edilememektedir. Köpük için köpürtücülerin kullanılması gerekmektedir. Esas görevleri yüzey gerilimini azaltmaktır. Bu şekilde oluşan kabarcıklar bozulmadan istenilen tanecikleri yukarı taşıyacak ve birikecektir. Köpürtücüler, karmaşık moleküllü organik veya anorganik maddelerdir. Molekül yapıları polar ve apolar kısımlardan oluşur. Köpürtücü molekül ise heteropolardır.

Köpürtücülerin genel formülleri, R-G şeklindedir.

R: 6'dan yukarı sayılı karbonhidrat

G: Polar grup (OH, COOH, NH_2 vb.)

En önemli köpürtücülerden biri de çam yağıdır (Görsel 3.11). Cevher flotasyonunda oldukça fazla kullanılmaktadır. Açık sarı renkte, terebentin kokuludur ve oldukça dayanıklıdır. Uzun bir zaman sonra bozularak kahverengine yakın bir renk almakta ve tesirini kaybetmektedir. Diğer bazı köpürtücüler; terpen, terpin, pinen, terpinöl, kinöl, sampondur. Bunların dışında suni köpürtücüler de vardır. Flotol, flotigol gibi ticari isimler altında satılmaktadır. Doğal bir köpürtücü olan okaliptüs yağı, molibden gibi kolay flote olan cevherlerin hazırlanmasında fazlaca kullanılmaktadır.

Görsel 3.11: Çam yağı

3.1.4.3. Minerallere Göre Reaktif Kullanımı

Reaktif kullanım, minerallerin kimyasal veya fiziksel özelliklerinden yararlanarak farklı işlemlerde kullanılması anlamına gelir. Bazı minerallerin reaktif kullanım özellikleri şu şekildedir:

- **Saf Metaller ve Metal Sülfürler (En Düşük Polarlaşma Derecesine Sahip Mineraller):** Altın, gümüş, platin gibi saf mineralleri; bornit, galen, kalkopirit, sfalerit, zinober gibi sülfür minerallerini içermektedir. Bu grupta yer alan minerallerde; ksantat, ditiofosfat, tiyonokarbamat gibi sülfihidril tipi anyonik toplayıcılar kullanılmaktadır.
- **Sülfat Mineralleri:** Bu grupta anglesit, anhidrit, barit gibi mineraller yer almaktadır. Bu mineraller; yağ asitleri, alkil sülfat / sülfonatlar gibi oksihidril tipi anyonik toplayıcılarla kazanılabilmektedir.
- **Karbonat Mineralleri:** Azurit, malahit, serüzit, dolomit, florit, kalsit, magnezit, siderit, şelit gibi minerallerdir. HS^-, S^{-2} iyonları kullanılarak bu minerallerin yüzeyleri bir sülfür mineraline benzer hâle dönüştürülür ve ksantat gibi sülfihidril tip toplayıcılarla yüzdürülür.
- **Oksit / Hidroksit Mineralleri:** Hematit, kasiterit, kromit, rutil, wolframit gibi minerallerdir. Bu mineraller; yağ asitleri, alkil sülfat / sülfonatlar gibi anyonik toplayıcılar ve aminlerle yüzdürülmektedir.
- **Silikat / Alümina Silikat Mineralleri:** Feldspat, kuvars gibi minerallerdir. Bu mineraller yağ asitleri, alkil sülfat ve sülfonatlar gibi anyonik toplayıcılar ve aminlerle yüzdürülmektedir.

3.1.4.4. Flotasyon Hücreleri

Flotasyon işlemi için kullanılan en eski ve en yaygın makinelere **flotasyon hücreleri** denilmektedir (Görsel 3.12). Bu makinelerde, pülp içindeki mineral tanelerinin süspansiyonda tutulması, bir pervane ya da rotor aracılığı ile mekanik karıştırma ile sağlanmaktadır. Hava kabarcıklarının oluşturulması için gerekli olan hava, rotorun dönmesi esnasında meydana getirilen vakum ile (kendiliğinden hava emmeli) ya da pülp içine üflenen basınçlı hava ile sağlanmaktadır. Endüstride genellikle kendiliğinden hava emmeli seri hâlde çalışan mekanik hücreler tercih edilmektedir. En önemli sakıncası hücre içerisinde meydana gelen yoğun türbülanstan dolayı tanecik kabarcık bağlarının kopması ve aşırı konsantre kirlenmesidir.

Görsel 3.12: Flotasyon hücresi

Bu makinelerin hem kapasiteleri düşük hem de sistemde oluşturulan kabarcık çapları (600-2000 µm) oldukça büyüktür. Son zamanlarda mekanik hücrelerin bazı sakıncalarını ortadan kaldırmak ve kapasitelerini yükseltmek amacıyla yüksek kapasiteli ve yüksek tenörlü ürünler verebilen flotasyon hücreleri geliştirilmiştir.

Yeni nesil mekanik hücrelerin devasa boyutlarda tasarlanmalarının temel nedeni transmisyon kayıplarının minimize edilmesidir. Bilindiği gibi mekanik hücrelerde hacim başına güç tüketimi hücrenin hacminin küçülmesiyle artmaktadır.

3.1.4.5. Flotasyon Makineleri

Dünyada 14 büyük flotasyon makinesi üreticisi bulunmakta ve bunların ürettikleri makinelerin boyut ve işletme şartları birbirinden farklılık göstermektedir. 1980'li yıllarda flotasyon makineleri 50-60 m^3 hacimli iken günümüzde 300 m^3 gibi büyük hacimlere ulaşılmıştır. Bu durum ton başına işlenen cevher maliyetini azaltmıştır.

Flotasyon makinelerini 5 ana gruba ayırmak mümkündür.

- Mekanik makineler
- Havalı makineler (pnömatik)
- Köpük ayırıcıları
- Kolon flotasyonu
- Elektro-flotasyon makineleri

Mekanik Makineler

En yaygın flotasyon makine tipidir (Görsel 3.13). Hava, bir pervane yardımıyla pülp içinde dağıtılmaktadır. Bu makineler mükemmel karıştırma yapmaktadır. Yüksek kapasiteye uygun olmasından dolayı son zamanlarda mekanik makineleri iyileştirme ve yeni dizaynlar elde etme çalışmaları hız kazanmıştır. Mekanik flotasyon makineleri üçe ayrılır:

- Pülp akışına göre flotasyon makineleri (açık akışlı, hücreden hücreye akışlı)
- Havalandırma şekline göre flotasyon makineleri (kendiliğinden üflemeli, hava üflemeli)
- Köpük alma şekline göre flotasyon makineleri (üstten taşmalı, pervaneli)

Görsel 3.13: Flotasyon makinesi

Havalı (Pnömatik) Makineler

Bu makinelerin en önemli özelliği karıştırıcı pervanenin bulunmamasıdır. Basınçlı hava alttan pülpü karıştırmakta ve havalandırmaktadır. Havanın hücreye homojen dağıtılmasına ve kabarcıkların ufak boyutlu olmasına dikkat edilmelidir. Hücrede şartlandırılan pülp, yüksek basınçta havalandırma reaktörüne pompalanmaktadır. Havalandırma reaktöründe havalandırılan pülp ayırma hücresine jet hâlinde beslenmektedir. Hidrofobik taneler yüzeye çıkarken hidrofilik taneler alta doğru çökmekte ve atık olarak tabandan alınmaktadır.

Köpük Ayırıcıları

Bu makinelerde besleme köpüğün üstüne yapılmakta ve hidrofobik taneler köpükte kalırken gang taneleri köpükten geçip aşağıya doğru akmaktadır. Bu makineler, daha çok yüksek tenörlü ve iri boyutlu cevherlerde (fosfat, potas, kömür gibi) kullanılmaktadır.

Kolon Flotasyonu

Flotasyon teknolojisindeki önemli bir gelişme şüphesiz ki kolon flotasyonudur. Bu kolonların verimliliği, klasik flotasyon hücresine göre çok daha yüksektir ve bu sebeple endüstride kullanım alanı bulmaktadır. Kolonlar temel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Kabarcıklar üretilip kolonun altından beslemektedir. Malzeme ise genelde kolonun yüksekliğinin 2/3'ünden kolona beslenmektedir. Malzeme ile taneciklerin karşılaştığı bölge, toplama bölgesidir. Kolonun altından gelen kabarcıklar orta bir bölgede bu taneciklerle buluşmaktadır. Bu noktada yüzey kimyası uygun olan tanecikler, kabarcıklarla yüzeye taşınırken kabarcıklara tutunamayan tanecikler, kolonun altına çökmektedir. İkinci bölge ise kolonun üstünde, köpüğün biriktiği köpük bölgesidir. Köpük bölgesi sürekli ters akımlı yıkanmaktadır. Bu şekilde köpüklerle yükselmiş gang mineralleri yıkanarak uzaklaştırılmaktadır. Flotasyon kolonlarını, klasik flotasyon hücrelerinden ayıran en önemli özellikler şunlardır:

- Köpük bölgesindeki yıkama suyu
- Mekanik karıştırmanın olmaması
- Kabarcık üretici bir sistemin varlığı

Avantajları şunlardır:

- Klasik flotasyon hücrelerine göre yüksek verim
- Düşük yatırım maliyeti
- Düşük işletme maliyeti
- Basit tasarım sayesinde kararlı çalışma
- Tesiste az yer işgal etmesi

Dezavantajları ise şunlardır:

- Yüksekliğinin tesislerde sorun çıkarması
- Kabarcık üreticinin bakımı
- Yıkama suyu maliyeti

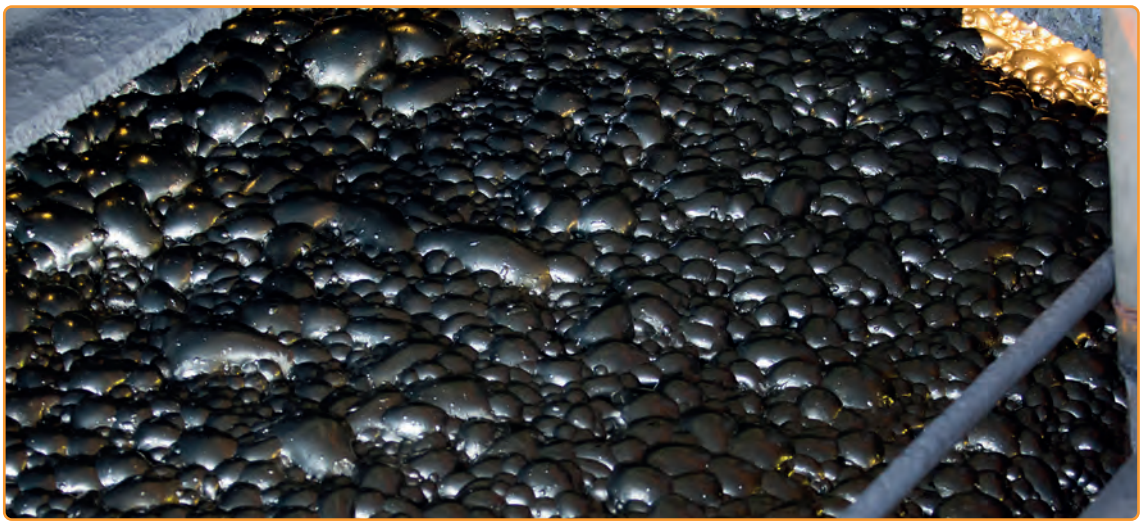
Elektro-Flotasyon Makineleri

Elektro-flotasyon makinelerinde, ince hava kabarcığı (-30 µm) meydana getirmek için doğru akım elektrolizi kullanılmaktadır. Bu flotasyonda kabarcıklar daha ince ve hava burgacı daha azdır. Sudaki H^+ ve OH^- iyonlarının elektrotlara hareketi kabarcık oluşmasına neden olmaktadır. Kabarcık boyutları akım yoğunluğu (elektrot yüzey alanı), iyon yoğunluğu ve elektrotlar arası mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Elektroflotasyon makineleri tek bir tank ve tabanına yakın iki yatay elektrottan ibarettir. Konsantre hücrenin en üstünden alınırken artık tabandan hücreyi terk etmektedir.

Jameson Flatosyon Hücresinin Üstün Yanları

Jameson flotasyon hücresi, flotasyonu sorunlu ince taneli minerallerin flotasyon verimini arttırmak amacıyla son yıllarda geliştirilmiş yeni bir alettir. Çalışma ilkeleri ve tasarımı açısından diğer flotasyon aletlerinden farklı olan Jameson hücresi üzerine araştırmalar hâlen devam etmektedir. 1989 yılında Profesör Greame Jameson tarafından tasarlanan flotasyon hücresi günümüzde endüstriyel boyutta yaygın olarak uygulanmaktadır. Literatürde yüksek yoğunluklu kolon flotasyonu olarak da anılmaktadır.

Kolondan farkı, hava ile pülpün düşey bir silindirik boru içerisinden karıştırılarak flotasyon hücresine verilmesidir. Böylelikle hidrofobik tanelerin kabarcıklara yapışması için daha elverişli bir ortam yaratılmaktadır (Görsel 3.14). Bu köpüklü karışım besleme borusundan hücreye geçtiğinde ayrışma mekanizması devreye girmektedir. Katı tanelerin hava kabarcıklarının yüzeyine yapışması bu bölgede olmaktadır. Katı tanecikleri taşıyan kabarcıklar flotasyon hücresinin üst kısmında bir köpük zonu oluşturmak üzere yukarıya doğru hareketlenmektedir. Kabarcıklara yapışamayan hidrofobik, yani atık (tailing) malzeme ise hücrenin dibine doğru düşmektedir. Kabarcıkların arasında yukarıya doğru taşınan ve konsantreye karışması istenmeyen atık malzeme ise hücrenin hemen üzerinden yağmurlama sistemi ile verilen yıkama suyunun yardımı ile tekrar dibe doğru hareketlenmektedir. Köpükle birlikte gelen hidrofobik tanecikler kendiliğinden yoğunlaştırılmış toplama bölümüne dökülmektedir.



Görsel 3.14: Jameson flotasyon hücresinde oluşan köpük

Üstün yanları (avantajları) şunlardır:

- Hiçbir şekilde herhangi bir hava kompresörüne gerek yoktur.
- Fiyatı çok daha düşüktür. Sistem kurulduktan ve çalıştırılmaya başladıktan sonra çok fazla bir müdahaleye gerek olmadığından işçilik maliyeti de çok azdır.
- Bakım ve onarım masrafları, diğerlerine göre çok düşüktür.
- Bir pülp pompası (besleme pompası) dışında hareketli ya da yüksek devinimli parçası yoktur.

- Bütün sistemi kontrol etmek diğer yöntemlere göre çok daha kolaydır.
- Kapladığı alan daha azdır.
- Kalma süresi diğer yöntemlere göre çok daha kısadır.
- Enerji tüketimi açısından çok daha avantajlıdır.
- Çok geniş tane boyut aralığına sahiptir. Diğer bir deyişle çok iri ya da çok ince taneciklerle çalışabilme becerisine sahiptir.

3.1.4.6. Flotasyon Devreleri

Bir flotasyon tesisinin planlanmasında genellikle laboratuvarda elde edilen küçük çaptaki deneylerin sonuçları ile işe başlamak gerekmektedir (Tablo 3.1). Bu sonuçların sürekli çalışan bir devreye uygulanmaları zorunluluğu vardır. Günümüze değin bu konuda edinilen deneyimler; yerleştirme, yardımcı makinelerin seçimi, makinelerin düzenlenmesi ve taşıma sistemleri seçimi gibi hususların sistemden elde edilecek sonuçları belli bir tipte flotasyon makinesi seçiminden çok daha fazla etkilediğini ortaya koymaktadır. Günümüzde kullanılan flotasyon makinelerinin hemen hepsi, sistem uygun bir şekilde dengelendiği takdirde, laboratuvar deneylerinde elde edilen sonuçları verebilmekte ve hatta birçok durumlarda daha iyi sonuçlar eldesi mümkün olmaktadır.

Tablo 3.1: Flotasyon İşlemi İçin Değişkenlerin Sınıflandırılması

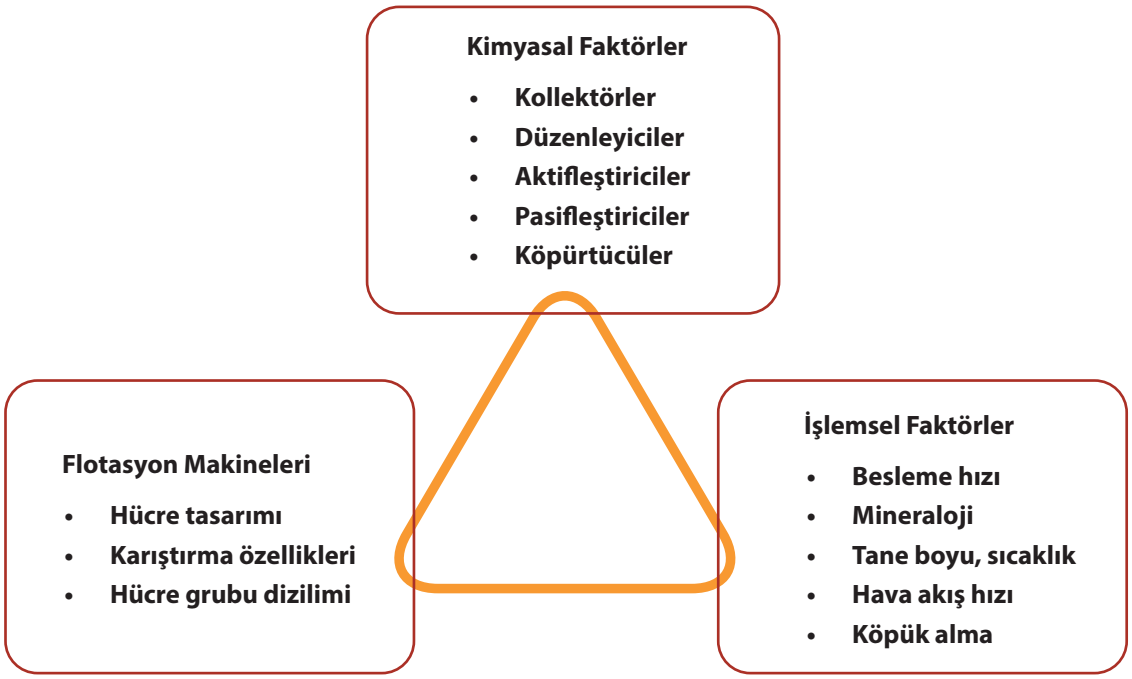
BAĞIMSIZ DEĞİŞKENLER		**BAĞIMLI DEĞİŞKENLER**	
Kontrol Edilemeyen Değişkenler	**Kontrol Edilebilen Değişkenler**	**Ara Değişkenler (Kaba ve Süpürme Devresi Konsantreleri İçin)**	**Performans Değişkenleri (Nihai Konsantre İçin)**
Besleme tenörü	Reaktif miktarı ve eklenme noktaları	Tenör	Tenör
Mineraloji	Pülp seviyesi	Verim	Verim
Pülp yoğunluğu (*)	Hava miktarı	Pülp yoğunluğu	Pülp yoğunluğu
Hacimsel akış miktarı (*)	Konsantre toplama noktaları	Akış miktarı	Akış miktarı

(*) Değişken, işletme koşullarına göre kontrol edilebilir.

Akım Şeması Seçiminin Esasları

Flotasyonda tesis tasarımı ve optimizasyonunda endüstriyel ortamda kendini kanıtlamış, güvenle kullanılabilecek bir modelleme yaklaşımı geliştirilememiştir. Bunun en önemli nedeni sürecin matematiksel olarak tanımlanabilmesi için çok karmaşık olmasıdır. Öyle ki kimyasal faktörler, flotasyon makinesinin hidrodinamiği ve işlem değişkenlerinin süreç üzerindeki karmaşık etkisi matematiksel modelleme işini son derece zorlaştırmaktadır.

Flotasyon; kimyasal ortamın, işlem koşullarının ve makine özelliklerinin birlikte rol oynadığı çok karmaşık bir zenginleştirme yöntemidir. Bu nedenle flotasyon sisteminde modelleme yapmak amacıyla bu üç etkinin birlikte göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Şema 3.2).



Şema 3.2: Etkileşimli flotasyon sistemi

Tesis tasarımında ekipman seçimi ve tasarlanan tesisin performansının tahmini genelde kalma zamanının belirlenmesi ve üretici firma kataloglarına bağlı olarak yapılmaktadır. Bu yaklaşım temel olarak gerekli kalma zamanı laboratuvar ya da pilot ölçekte belirlendikten sonra %100 ile 300 arasında değişen bir güvenlik faktörü kullanılarak ölçek büyütme işleminin yapılmasına dayanmaktadır. Mevcut bir tesisin optimizasyonunda ise laboratuvarda elde edilen kaba flotasyon sonuçlarını flotasyon devresine aktarmak bile pek çok durumda mümkün olmamaktadır. Çeşitli adımlardan oluşan temizleme ve süpürme aşamaları ve geri dönen akışlar düşünüldüğünde bu çalışmalar daha da karmaşıklaşmaktadır. Genelde üretici firmalar ile birlikte yapılan çalışmalar sonucunda parametreler tanımlanabilmektedir.

Devrelerin Düzenlenmesi Esasları

Laboratuvar çapında, yığın yapılan kaba flotasyon ve temizleme flotasyonu çalışmaları sonucu elde edilen veriler doğrultusunda flotasyon süresi, konsantrenin temizleme kademeleri vb. bilgiler elde edilmektedir. Yeni bir tesis için yapılacak mühendislik çalışmaları, bu bilgilerin tesis çapında bir prosese en uygun biçimde uygulanmasından ibarettir. Modern flotasyon teknikleri, homojen bir taneler grubunun flotasyon işleminin birinci dereceden bir fonksiyon olduğu teoremine dayanmaktadır. Malzemedeki flotasyon aktivite hızlarının dağılımı esas olarak serbestleşme derecesi ve tane büyüklüğüne bağlıdır.

Flotasyon Süresi

Flotasyon devreleri sürekli çalışan sistemlerdir. Flotasyon pülpünün selülde kalma süresi ve dinlendirilme sürelerinin tespiti önem arz etmektedir. Gerektiğinde işlemi gerçekleştirebilmek için birden fazla selülün seri olarak çalışması sağlanmalıdır. En iyi sonucun elde edilmesi için toplam hacmin çok sayıda daha küçük hacimlere bölünmesi gerekmektedir. Selüllerin açık oluk şeklinde düzenlenmelerinden kaçınılmalıdır. Belirlenmiş nominal flotasyon süresini sağlayabilecek toplam selül hacminin hesaplanmasında, pülpün gerçek selül hacminin sadece bir kısmını doldurduğu da göz önüne alınmalıdır. Toplam selül hacminden rotor ve statorun hacimleri, köpük tabakasının hacmi ve flotasyon sırasında pülpün içinde bulunan havanın hacmi çıkarılmalıdır. Bazı durumlarda net hacim selülün toplam hacminin ancak %50'si kadar olmaktadır. Hava debisinin artırılması, flotasyonu hızlandırmakta ancak dinlendirme süresini kısaltmaktadır. Hava miktarının her ayrı koşulda bir optimum değeri vardır ve bu değer hiçbir şekilde aşılmamalıdır. Bu konu üzerinde hâlen araştırmalar sürmektedir. Flotasyon süresinin hesaplanmasıyla ilgili yapılan açıklamalar, sistemin uygun olarak dinlendirilmiş bir pülpün flotasyonunda kullanılacağı varsayımına dayanmaktadır. Dolayısıyla pülp hemen hemen sistemi terk edecek aşamaya geldiğinde flotasyon normal işlevini kazanmaktadır.

Flotasyon Selülleri ve Yardımcı Ekipmanlar

Flotasyon selüllerinin boyutları devreden geçecek pülp miktarına orantılı olarak seçilmelidir. Yapılan denemeler her bir selüldeki dinlendirme süresinin saniye mertebesinde olması gerektiğini göstermektedir. 500 ton / saat katı maddeye kadar olan kapasitelerde tek bir flotasyon devresi önerilmektedir ancak bunun yapılabilmesi, öğütme devresinden itibaren tek bir devre kurma olanağının olmasına bağlıdır. Birden fazla değirmen içeren öğütme sistemlerinde aynı sayıda flotasyon devresi kullanmak da avantajlı olabilmektedir. Flotasyon selüllerinin istenilen şekilde çalışabilmeleri için hava akışını ayarlayabilme düzeneği ve sabit seviye kontrol cihazı ile donatılmış olmalıdır. Daha önce de belirtildiği gibi pülp, flotasyona girmeden önce özel ön dinlendirilmeye tabi tutulmalıdır. Bir flotasyon işleminde akış hızındaki dalgalanmaların olanakların elverdiği ölçüde en aza indirilmesi istenmektedir. Bu dalgalanmaların bir bölümü beslenen cevherdeki değişmelere bağlıdır ve sınırlandırılmaları zordur. Diğer bir kısım dalgalanmalar ise flotasyon sisteminin kendisi tarafından oluşturulmakta ve belli bir dereceye kadar düzenleme sırasında giderilebilmektedir. Bunların arasında önemli bir husus olarak köpük taşıyıcı olukların düzenlenmesi gösterilebilir. Denemeler, olukların taban eğilimi olacak şekilde üretilmelerini ve taban bölümünün hiç bir kıvrım olmadan tamamen düz olması gerektiğini göstermektedir. Böylece köpük gereğinden fazla su kullanmaksızın alınabilmektedir.

Flotasyon sistemlerimin önemli kısımlarından birisi de pompalardır. Flotasyonda kullanılacak pompaların ürünü sulandırmaya gerek olmadan olduğu gibi taşıyacak nitelikte olması gerekmektedir.

Sistemin düzgün çalışması için reaktif dağıtma sistemimin iyi düzenlenmiş ve güvenilir olması gerekmektedir. Reaktiflerin istenilen oranlarda dağıtılması özellikle kompleks cevherlerin flotasyonunda önem arz etmektedir.

DİKKAT EDİYORUM

Flotasyon İşleminde İş Sağlığı ve Güvenliği

Flotasyon işlemi yapılırken iş verimi ve çalışan sağlığının güvenli olması için dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

1. Flotasyon ekipmanlarında çalışacak kişilerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini alması sağlanmalıdır.
2. Flotasyon işleminde kullanılan araç gerecin kullanımı, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirler talimat şeklinde makine üzerine asılmalıdır.

3. Flotasyonda kullanılan makineler hakkında çalışanlara eğitim verilmelidir.
4. Kullanılan ekipmanların yanında güvenlik bilgi formları bulundurulmalıdır.
5. Oluşabilecek iş kazası sonrasında makineleri durdurmak için acil durdurma butonları olmalıdır.
6. Flotasyon işlemi sırasında ortamda oluşabilecek tehlikelere karşı İSG tedbirleri alınmalıdır.
7. Kişisel koruyucu donanımlar ham maddenin işlevine uygun ve oluşabilecek zararları önleyecek nitelikte seçilmelidir (koruyucu maske, ayakkabı, gözlük, kulaklık vb.).
8. Kullanılan reaktiflerden oluşabilecek kazalara karşı uygun yıkama üniteleri bulundurulmalıdır.
9. Her işletmede bir iş güvenliği uzmanı bulundurulmalı, iş güvenliği kuralları firma içi ve dışı olmak üzere belirlenmeli, bu kurallara uyulmasına teşvik edilmelidir.
10. Kazaları en aza indirmenin yolları araştırılmalıdır.
11. Çalışanlar, işe alınırken sağlık muayenesinden geçirilmeli ve kendilerine uygun olan işlere yerleştirilmelidir.
12. İş yerlerinde sağlık personeli bulundurulmalıdır.

2. ETKİNLİK

Dört gruba ayrılarak farklı cevher türleri belirleyiniz. Belirlediğiniz bu cevherlerin flotasyon işlemi ile ilgili araştırma yaparak bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu sınıfınızda paylaşınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunu süresini belirleyiniz.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Flotasyon işleminin temel ilkesini ve farklı cevher türlerindeki uygulamalarını detaylı ve anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Flotasyonun cevherlerin saflaştırılması ve konsantre hâle getirilmesi hakkında bilgi verdi.			
Flotasyon işlemi için kullanılan kimyasal ve reaktörlerin rolüne değindi.			
Flotasyonun çalışma prensibi ve cevherlerin yüzdürülmesi hakkında bilgi verdi.			
Flotasyon işlemi ile cevherin ayrıştırılması ve saflaştırılması hakkında bilgi verdi.			
Sunumda görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Flotasyon işlemlerinde İSG önemleri, kişisel koruyucu ekipmanlar ile ilgili bilgi verdi.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunum sırasında arkadaşlarından gelen sorulara etkili ve yetkin bir şekilde cevap verdi.			

3.2. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME SONRASI İŞLEMLER

İnsan ihtiyaçlarını doğrudan doğruya karşılayan mallara **tüketim malları** veya **nihai mallar** denilmektedir (Ekmek, elbise, ev vb.). Bunun yanında **üretim malları,** diğer üretim ve tüketim mallarının üretiminde kullanılan ve insan ihtiyaçlarını dolaylı olarak gideren mallardır (çimento). Başka bir tanımlamayla imalatı tamamlanmış ve yeni bir sınai işleme tabi tutulmaksızın tüketilebilecek veya kullanılabilecek durumdaki mallardır.

3.2.1. Nihai Ürün

Madencilik alanında **nihai ürün,** ocaktan çıktıktan sonra kullanılacağı sektöre göre zenginleştirme işlemleri tamamlanmış ve paketlenmiş maden ürünü olarak tanımlanmaktadır. Örneğin ocaktan tüvenan (ham hâlde) çıkarılan bakır madeni (kalkopirit) %0,6 bakır içerirken zenginleştirme işlemleri (kırma, öğütme, flotasyon) sonucu %16 bakır içeren konsantre hâline getirilmektedir. Madencilik açısından bakır konsantresi nihai üründür (Görsel 3.15). Bakır konsantresi izabe tesisinde metalürjik işlemden geçirilerek %99,9 bakır içerikli külçe, bakır hâline gelmektedir. İzabe tesisi için nihai ürün külçe bakırdır. Aynı şekilde ocaktan ham olarak çıkarılan bor madeni, zenginleştirme işlemleri sonucu granül bor ürünü hâline getirilmektedir ve sanayi kullanımına sunulmaktadır. Granül bor da nihai üründür.

Görsel 3.15: Nihai ürün hâline gelen bakırın işlem aşamaları

3.2.1.1. Kurutma İşlemi

Maden ocağından tüvenan cevher olarak çıkarılan ve zenginleştirme işlemlerine tabi tutulan bazı madenlerde kullanım alanına göre yüzey nemini düşürmek üzere kurutma işlemi yapılmaktadır. Kurutma işlemi metalik madenlere uygulanmamaktadır. Kurutma genellikle kömür ve endüstriyel ham maddelerde (bor, alçı, çimento, kalsit gibi) yapılmaktadır.

Linyit kömürleri tüvenan (toz, fındık, ceviz, limon, portakal, karpuz) hâlde %15-30 aralığında yüzey nemine sahiptir. Kömür yıkama işleminden sonra bu oran daha da artabilmektedir. Yüksek yüzey nemi hem kömürün kalorisini düşürmekte hem de yanma verimini çok fazla etkilemektedir. Kömür kurutma tesisleri sayesinde kömürdeki yüzey nemi tamamen atılabilmekte ve kömürün kalorifik değeri ve yanma verimi ciddi seviyelerde artırılmaktadır.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun ifadelerle tamamlayınız.

1. Bir cevherde bulunan farklı minerallerin kimyasal yapılarını değiştirmeden ekonomik değeri olanlar ile olmayanları birbirinden ayırma işlemlerine ..... denir.
2. Zenginleştirme işlemleri sonucu genellikle biri ..... diğeri artık olmak üzere iki ürün alınır.
3. Bir cevherin nemini ve yapısındaki bağlı suyu uzaklaştırmak amacıyla o cevherin erime noktasının altında ısıtılması işlemine ..... denir.
4. Nihai ürün, ocaktan çıktıktan sonra kullanılacağı sektöre göre zenginleştirme işlemleri tamamlanmış ve paketlenmiş ..... olarak tanımlanır.

B) Aşağıdaki soruları dikkatle okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. **Flotasyon ile zenginleştirmede verimli bir proses için tane iriliğinin <u>en fazla</u> kaç olması gerekmektedir?**

A) 15 mesh B) 30 mesh C) 45 mesh

D) 60 mesh E) 75 mesh

2. **Mineral tanelerinin özgül ağırlık farkından yararlanılarak akışkan bir ortam içinde birbirlerinden ayrılması sonucunda gerçekleşen işlem aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Kalsinasyon B) Öğütme C) Kırma

D) Manyetik ayırma E) Gravite zenginleştirme

3. I. Yerinde liç
II. Yığın liçi
III. Rotor liçi
IV. Spiral liç
V. Kolon liçi

Yukarıdakilerden hangileri liç yöntemleri arasında yer alır?

A) I, II ve III B) I, II ve V C) II, III ve V

D) II, III, ve IV E) I, II, III, IV ve V

4. Aşağıdakilerden hangisi kolon flotasyonunun avantajlarından değildir?

A) Klasik flotasyon hücrelerine göre verimi

B) Düşük yatırım maliyeti

C) Kabarcık üreticinin bakımı

D) Düşük işletme maliyeti

E) Basit tasarım sayesinde kararlı çalışma

C) Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Manyetik ayırma ile zenginleştirme nedir? Kısaca anlatınız.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Flotasyonda düzenleyiciler nelerdir?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Flotasyon işlemi yapılırken iş verimi ve çalışan sağlığının güvenli olması için dikkat edilmesi gerekenler nelerdir? Beş tanesini yazınız.

.....

.....

.....

.....

.....

4. ÖĞRENME BİRİMİ

PAKETLEME YÜKLEME SEVKİYAT

KONULAR

4.1. PAKETLEME

4.2. YÜKLEME / SEVKİYAT

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- Uygun yöntem ve araç gereçle ürün paketleme işlemi
- Uygun yöntem ve araç gereçle ürün yükleme ve sevkiyat işlemleri

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Zenginleştirilen cevherin piyasa koşullarına sunulması için nelere dikkat edilmesi gerekmektedir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.1. PAKETLEME

Üretilen ürünlerin tüketiciye kadar sorunsuz bir şekilde, özelliğini kaybetmeden ulaştırılması gerekmektedir. Ürünlerin oluşabilecek her türlü darbe, çarpma, kırılma ve kötü hava koşullarına karşı korunmaları amacıyla sarılması ve ambalajlanması işlemine kısaca **paketleme** adı verilmektedir. Paketleme işleminde eşyalar önemli ölçüde korunarak hasarsız ve kusursuz bir şekilde taşınmalıdır.

Paketleme işlemi; tüm ekipmanın, malzemenin ve parçaların taşıma yöntemini ve araçların belirlenmesini, uygun şekilde depolanmasını, ambalajlanmasını, muhafazasını ve sevkiyat faaliyetlerini düzenlemektedir. Ürün paketlenirken ürüne has özellik ve ihtiyaçlar unutulmamalıdır. Bu durum farklı paketleme koruma yöntemlerinin ve paketleme kategorilerinin oluşmasını zorunlu kılmaktadır. Tarlada üretilen tarım ürünleri ile fabrikada üretilen bir makinenin kullanıcıya ulaştırılması farklı paketleme, ambalajlama ve nakliye özellikleri gösterir.

Pazarlama açısından paketleme konsepti ürünün teşvik edilmesinde ve reklamında kullanılan bir yöntemdir. Ürünün şekli, ağırlığı, rengi müşteriyi etkileyen ve ürün hakkındaki bilgileri içerir.

Lojistik açısından paketleme iki hizmet sunar. Bunlardan ilki nakliye ve depolama sırasında ürünün dış etkenlerden korunmasıdır. İkincisi ise ürünün depolanması ve taşınması esnasında kullanılması gereken işçi ve malzeme maliyetlerini azaltmasıdır (Görsel 4.1).

Görsel 4.1: Paketlenmiş ürün

4.1.1. Ambalaj

Paketleme, lojistik sektöründe yer alan en önemli noktalardan biridir. Normal paketleme işlerinin aksine lojistik paketleme işleri daha fazla ciddiyet gerektiren bir işlemdir. Bu işleme ambalajlama işlemi denilmektedir (Görsel 4.2). Farklı materyallerden oluşabilen ambalajlama iki farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlar birincil ve ikincil ambalaj olarak sınıflandırılır.

Birincil ambalaj, ürünü doğrudan korumaya yönelik yapılan bir işlemdir. Ürünün dış etkenlerden korunması, zarar görmemesi için atılacak ilk adımlardan biridir. Çünkü ürün taşıma esnasında da birtakım risklerle karşı karşıya kalabilmektedir. Oluşabilecek darbeler bunlardan yalnızca bir tanesidir. Birincil ambalajlama, ürünü içerisine alan ilk, asıl ambalajdır. Ürünü doğrudan içine alan ilk ambalaj, iç ambalaj olarak da bilinmektedir. Kısacası birincil ambalajlamanın ürünün korunması ile ilgili olduğu söylenebilir.

Lojistik paketlemede önemi büyük olan bir diğer ambalajlama yöntemi ise ikincil ambalajlamadır. İkincil ambalaj, birincil ambalajı da koruyucu özelliktedir. Ayrıca ürün kullanılacağı zaman atılan materyaldir, denilebilir. İkincil ambalaj; ürünün depolama, taşıma gibi aşamalarını kapsamaktadır. Bu aşamada söz konusu işlevleri yerine getirirken gerek malzemeden gerek iş gücünden yani işçiden tasarruf edilmek amaçlanmaktadır. İkincil ambalaj olarak palet ve shrink en sık kullanılan materyallerdir.

Görsel 4.2: Ürünlerin ambalajlanması

4.1.2. Paketlenecek Ürünün Özellikleri

Paketleme işlemine başlamadan önce ürünün tüm özellikleri tam olarak bilinmelidir. Örneğin gıda paketlemesinin amacı kaliteyi muhafaza etmek ve üretim ile tüketim arasında geçen zamanda gıdanın güvenliğini korumaktır. Maden ürünlerinde paketleme ve ambalaj daha çok konsantre ve rafine ürünlerin nakledilmesinde kullanılmaktadır. Paketlenecek ürünün göz önüne alınması gereken özellikleri şunlardır:

- Tane boyutu
- Nem alma özelliği
- Ürünün kirlenmesini önleme
- Kimyasal yapı
- Havayla temasını önleme
- Raf ömrü
- Nakliye koşulları

Tane boyutu ince ise daha sıkı bir ambalaj kullanılmalı, fiziksel ve kimyasal yapısı bozulmadan müşteriye ulaştırılması sağlanmalıdır. Bazı ürünler (çimento, alçı gibi) ıslandığında özelliğini kaybeder. Bu nedenle bu tür ürünler ıslanmamalı ve nemden korunmalıdır.

En iyi ve kusursuz paketleme şüphesiz en doğru ve kaliteli ürünler kullanılarak yapılmaktadır. Ürünün şekli ağırlığı, büyüklüğü gibi detaylar göz önünde bulundurularak en uygun paketleme malzemeleri tercih edilmelidir.

4.1.3. Paketleme Yöntemleri

Ürün paketi, marka hakkında çok şey söylemekte ve müşteriler bazen bir ürünün değerini veya kalitesini bir bakışta değerlendirebilmektedir. Ürünü özelliğine göre doğru paketleme firmayı öne çıkararak daha fazla satış yapılmasını sağlayacaktır. Dayanıklılık ve maliyet, ürün paketleme konusunda özellikle dikkat edilmesi gereken hususlardır. Ürünlerin paketleme yöntemleri, bu iki kavram göz önünde bulundurularak seçilmekte ve geliştirilmektedir.

Madencilik sektöründe paketleme yöntemi olarak çuval (big-bag) ve polipropilen torbalara dolum yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca konsantre cevherler dökme yük olarak ambalajsız taşınırken çimento vb. ürünler silobaslar ile kapalı ortamda taşınmaktadır.

Görsel 4.3: Big-bag çuvallara paketlenmiş ürün

Big-Bag Paketleme

Toz ve granül yapıdaki ham maddelerin çuval veya torbalara doldurulması gerektiğinde big-bag boşaltma ve torba dolum sistemlerinden yararlanılmaktadır (Görsel 4.3). Dolum yapılacak dökme malzemenin yapısı, uygulama gereklilikleri, dolum hızı, çuval veya torba boyutlarına göre farklı alternatif sistemler bulunmaktadır.

25-50 kg Torbalama

Toz ve granül malzemelerin tek ağızlı polipropilen veya polietilen torbalara doldurulması işlemidir. Genelde 25-50 kg torbalama yapılmaktadır.

Kraft (Kağıt) Torbalama

Toz ve granül malzemelerin tek ağızlı kraft kağıt torbalara doldurulması işlemidir. 5 ile 50 kg arasında torbalama yapılır (Görsel 4.4).

Görsel 4.4: Polipropilen ve kraft torbalar

4.1.4. Paketleme Makineleri ve Malzemeleri

Cevher zenginleştirme işlemi tamamlandıktan sonra paketleme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem için kullanılan araçlar şunlardır:

Big-Bag Dolum Makinesi

Toz ve granül malzemelerin silolardan big-bag torbalarına doldurulması işlemidir. İsteğe bağlı olarak doldurma işlemi 200-2000 kg'lık ağırlıklar arasında olabilir. Besleme elemanı olarak malzeme cinsine göre tek vidalı besleyici, kapaklı besleyici veya bantlı besleyici kullanılmaktadır. Big-bag makinesinin dört köşesinde bulunun kulakları, makinenin kancalarına operatör tarafından takılmaktadır. Elektronik pano üzerinde bulunan operatöre panelden doldurulmak istenen değer girilmekte ve doldurma işlemine başlanmaktadır. Malzemenin torbaya tam olarak dolması için dolum esnasında çeşitli periyotlarda vibrasyon sistemi devreye girerek torbayı sarsmakta ve malzemenin torbaya yerleşmesini sağlamaktadır. Yavaş besleme değerine gelindiğinde besleme elemanı yavaşlayarak hassas dolum sağlamaktadır. Uygulanan ağırlık değerine gelindiğinde sistem otomatik durmakta ve torbayı aşağı indirmektedir (Görsel 4.5).

Görsel 4.5: Big-bag dolum makinesi

25-50 kg Dolum Makinesi

Paketleme makinesi, taneli veya pudra şeklindeki ürünleri otomatik olarak tartıp paketlemek için tasarlanmıştır. Tartım işlemi, birlikte kurulan bir veya iki tartım ünitesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Tartım işlemi gerçekleştirildikten sonra tartım ünitesi, kefenin kapaklarını açmamakta ve torba tutma anahtarından bir sinyal gelene kadar beklemektedir. Sinyal alındıktan sonra kapaklar açılmakta ve tartılan ürün torbanın içine boşaltılmaktadır. Torba, dolum tamamlandıktan sonra konveyör banda taşınmakta ve ağzı otomatik olarak dikilerek yapıştırılmaktadır. Makine hızı, ürün türüne ve torba boyuna göre ayarlanmaktadır. Konveyör bant isteğe veya projeye göre değişiklik gösterebilmektedir.

Toz ve granül malzemelerin tek ağızlı polipropilen veya polietilen torbalara doldurulması işleminde 25-50 kg torbalama makineleri kullanılmaktadır.

Manuel Dolum Makinesi

Manuel torbalamada torbalanacak ürün miktarı hazneye tartılarak alınmaktadır. Torba, dolum ağzına takılmakta ve el ile butona basılmaktadır. Torba dolduktan sonra ağzı kapatılarak torba dolum ağzı kapatılmakta veya dikilmektedir.

Otomatik Dolum Makinesi

Otomatik torbalama makinesinin torba kelepçesinde bir yük hücresi bulunmaktadır. Torba yukarı kalkar ve doldurulur, tozu kontrol edilir ve yapıştırılır. Ürünleri olabildiğince taze ve hijyenik hâlde tutmak için esnek paketleme özellikleri sunmaktadır (Görsel 4.6).

Görsel 4.6: Otomatik dolum makinesi

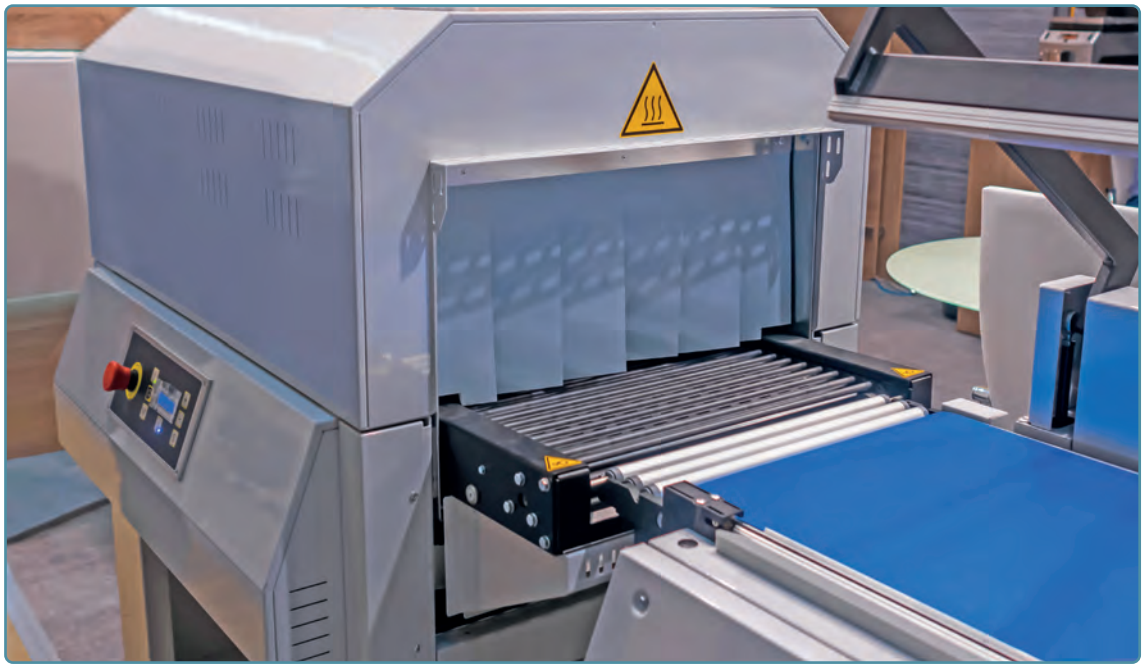
Kraft Torba Dolum Makinesi

Toz ve granül malzemelerin tek ağızlı kraft kağıt torbalara doldurulması işleminde kullanılmaktadır. Ventilli torba dolum makineleri granül ve toz biçimindeki malzemelerin hızlı ve hassas tartımla çeşitli tiplerdeki torbalara doldurulmasını sağlamaktadır.

Shrinkleme Makinesi

Shrinkleme makinesi bir ürünün üzerini ya da ambalajlanmış bir ürünün etrafını plastik filmle çevreleme işlemini yapan makinedir (Görsel 4.7). Shrinkleme de bu işleme verilen isimdir. Bu işlem Shrink Wrapping (Şiring Vrapin) olarak da bilinmektedir.

Shrink paketleme bir ürünün üzerini ya da başka bir teknikle ambalajlanmış ürünün etrafını genellikle plastik filmlerle çevreleyerek paketleme işleminin gerçekleştirilmesidir. Shrink film; hediyelik eşya, kırtasiye, oyuncak ve kozmetik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Gıda ürünlerinin uzun süre bozulmadan muhafaza edilerek saklanmasını sağlamaktadır. Taşımacılıkta birden fazla ürünü bir arada tutarak tek bir paket hâlinde çok fazla yer kaplamadan teslimini sağlamaktadır.



Görsel 4.7: Shrinkleme makinesi

Diğer Paketleme Makineleri

- Konveyörler
- Paletleme robotu
- Palet streçleme makineleri
- Çemberleme makineleri
- Koli bantlama makineleri
- Koli hazırlama makineleri
- Koli yapıştırma makineleri
- El-dispanserleri

4.2. YÜKLEME / SEVKİYAT

Cevher zenginleştirme işlemi tamamlandıktan sonra piyasa koşullarına sunulması için yapılan en önemli işlemlerden biri yükleme ve sevkiyat aşamasıdır. Yükleme işlemi için en sık kullanılan araçlar loder, seyyar bant konveyör, rampa, forklift, transpalet, vinç ve reach steacker (Rich Stikır)'dır.

Loder

Çok sert olmayan zeminlerin kazılmasında, kum ve çakılın ocaklardan çıkarılmasında, maden ocaklarından çıkarılan maden cevherinin taşıyıcı makinelere yüklenmesinde kullanılmaktadır (Görsel 4.8).

Görsel 4.8: Loder

Loder iş makinesinin arka ve ön tarafında çeşitli özelliklerde kovalar bulunmaktadır. Bu kovalar; kazma, yükleme işlemlerinin daha hızlı ve kolay yapılmasını sağlamaktadır. Arka kısımda bulunan kova kazma işinde kullanılmaktadır. Ön kısımdaki kova ise kazma, düzleştirme ve yükleme amacıyla kullanılmaktadır. Loder iş makineleri yükleyici özelliklerinin yanı sıra taşıyıcı özelliğe de sahiptir. Etkin hareket kabiliyeti sayesinde kolaylıkla manevra yapabilmektedir. Hidrolik bir sistemleri vardır. Kazıcı ve yükleyici olarak kullanıldığında 180 derecelik harekete sahiptir. Bu sayede çok kısıtlı alanlarda da rahatlıkla çalışma imkânı sunmaktadır. İnsan gücünün yapacağı iş ile kıyaslandığında bu makineler zaman anlamında büyük kâr sağlamaktadır.

Seyyar Bant Konveyör

Katı ve torbalanmış ürünlerin yatay veya eğimli olarak taşınmasında kullanılan en önemli taşıma araçlarıdır (Görsel 4.9). Dökme ve paketlenmiş ürünü kamyona yüklemede maksimum hız ve hassasiyet sağlamaktadır. Hafif ve kompakt yapısı sayesinde rahat taşınabilme özelliğine sahiptir. Yüksekliği ayarlanabilmektedir.

Görsel 4.9: Seyyar bant konveyör

Rampa

Taşıma araçları ile yükleme ve boşaltma yapılan alanın aynı yükseklikte olmasını sağlayarak süreçlerin daha hızlı tamamlanmasını sağlamaktadır. Rampaların özellik ve kapasiteleri tesisin özellikleri dikkate alınarak özelleştirilebilir. Özellikle taşıma araçlarının yükleme ve boşaltma süreçlerini kolaylaştırıcı bir işleve sahiptir (Görsel 4.10).

Görsel 4.10: Rampalar

Forklift

Paketlenmiş ürünlerin yüklenmesinde öncelikle kullanılan araçlardır. Forklift; bir yükü kaldırmak veya taşımak için ön tarafında çatallı bir platforma sahip, kaldırılıp alçaltılabilen bir aparatı bulunan küçük endüstriyel bir araçtır (Görsel 4.11). Depolar ve diğer büyük depolama tesisleri dâhil olmak üzere çeşitli endüstrilerin ihtiyaçlarına hizmet etmektedir. Yanmalı motor ve elektrik pili ile çalışabilmektedir. Bazı durumlarda forklifleri operatörlerin ayakta sürmesi gerekebilir. Depolama, istifleme ve endüstri genelinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Forklift kullanımında alınabilecek iş güvenliği önlemleri şunlardır:

- Forklift kullanılırken zeminin durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Engebeli veya bozuk zeminde yükün zarar görmemesine dikkat edilmelidir.
- Operatör gittiği yöne iyi bakmalı, yolun açık olup olmadığına dikkat etmelidir.
- Çatallar üzerine binilmemelidir.
- Forklift hareket hâlindeyken uyarı sesi vermelidir.

Görsel 4.11: Forklift

Transpalet

Özellikle kısa mesafe yük taşımacılığı işlemlerinde kullanılan transpaletler; insan gücü, motor veya akü ile çalışabilmektedir (Görsel 4.12). Paletlenmiş yüklerin elleçlenmesinde kullanılan ve iki çatallı yapıya sahip olan transpaletler, genellikle düz zemin yapısına sahip depolama alanlarında kullanılmaktadır.

Görsel 4.12: Transpalet

Vinç

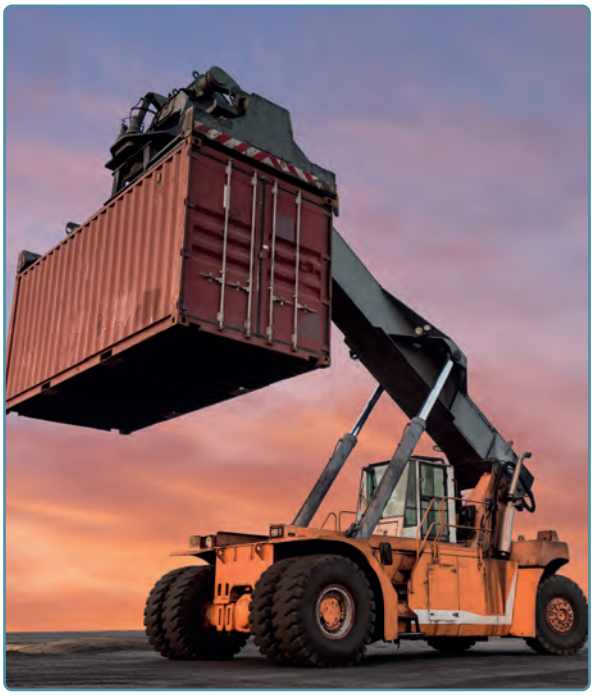
Büyük boyutlu ve hacimli yüklerin taşınması, yüklenmesi ve boşaltılması işlemlerinde kullanılmaktadır (Görsel 4.13). Kullanım amacına bağlı olarak çeşitli versiyonları bulunmaktadır.

Görsel 4.13: Konteyner vinci

Reach Steacker

Küçük terminallerde veya orta büyüklükteki limanlarda intermodal kargo konteynerlerini taşımak için kullanılan bir araçtır (Görsel 4.14). Reach steacker, bir konteyneri kısa mesafelere çok hızlı bir şekilde taşıyabilmekte ve erişime bağlı olarak çeşitli sıralarda istifleyebilmektedir. Reach steacker kullanımında alınabilecek iş güvenliği önlemleri şunlardır:

- Kullanımında zeminin durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Engebeli veya bozuk zeminde yükün zarar görmemesine dikkat edilmelidir.
- Operatör gittiği yöne iyi bakmalı, yolun açık olup olmadığına dikkat etmelidir.
- Çatallar üzerine binilmemelidir.
- Reach Steacker hareket hâlineyken uyarı sesi vermelidir.



Görsel 4.14: Reach stacker

4.2.1. Sevkiyat Araçları

Sevkiyat işlerinde en sık kullanılan araçlar kamyon, treyler, bant konveyör ve konteynerdir.

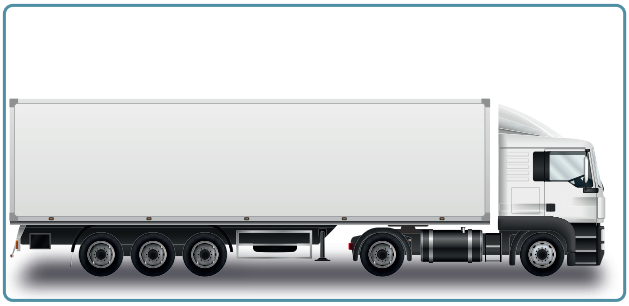
Kamyon

İzin verilen yüklü ağırlığı 3.500 kilogramdan fazla olan, yük taşıma amacıyla üretilen motorlu araçlardır (Görsel 4.15). Maden taşımacılığında ağırlıklı olarak kamyonlar kullanılmaktadır. Kamyonların kullanım amaçlarına göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. En çok bilinenleri arasında damperli kamyon, çekici kamyonu, kapalı kasa kamyon, inşaat kamyonları, tanker kamyonu yer almaktadır.

Görsel 4.15: Kamyon

Treyler

Römork veya dorse olarak da bilinen bu araçlar, motorlu araç tarafından çekilen ve bağlantı aparatları ile araca bağlanan yük taşıma amaçlı kara yolu araçlarıdır (Görsel 4.16). Her türlü yükün taşımacılığında kullanılan treylerlerin de kendi içerisinde kullanım amaçlarına göre farklı isimleri vardır. Bunlar arasında en bilinenleri düz dorse, jumbo dorse, açık dorse, jumbo açık dorse, lowbed ve kamyon+romörktür.



Görsel 4.16: Treyler

Bant Konveyör

Bantlı konveyör nakliyatında bant, birkaç tamburla gerdirilip sürtünme kuvveti yardımıyla hareket ederek malzemelerin sürekli (kesiksiz) naklini sağlayan naklini sağlar (Görsel 4.17). Bantın hareketini sağlayan sürtünme kuvveti, bir veya birkaç motor tarafından tahrik edilen tamburlar veya bir, iki vinç tarafından çekilen halatlar yardımıyla olmak üzere iki şekilde sağlanmaktadır. Malzemeyi nakleden konveyör bant çeşitli malzemelerden yapılmakta olup kullanım ömrüne göre nakliye ekonomisine etkisi değişmektedir.

Görsel 4.17: Bant konveyör

Ana nakliye hatlarında kullanılan ve ekonomiklikleri tartışılan güncel bantlı konveyör sistemleri bantın özelliğine ve tahrik şekline göre üçe ayrılabilir.

1. Klasik-tekstil veya sentetik karkaslı-bant konveyörler
2. Çelik kordlu bant konveyörler
3. Halatlı bant konveyörleri

Klasik bant konveyörleri yatay veya eğimli olarak malzemeyi (cevher, kömür, taş) nakleden tekstil veya sentetik yapılı bant, bant şasisi üzerindeki dökücü ve kuyruk tamburları arasında bir donanım ile gerdirilir ve motor veya motor guruplarının tahrik ettiği tamburlar tarafından hareket ettirilir.

Konteyner

Ürünlerin güvenli ve hasarsız bir şekilde taşınması amacıyla üretilmiş, uluslararası standartlara sahip taşıma araçlarıdır (Görsel 4.18). Kara yolu, demir yolu ve deniz yolu ile yapılan taşımacılık operasyonlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Hacmi, kullanım amacı, işlevi ve özellikleri bakımından farklı gruplara ayrılmaktadır.

Görsel 4.18: Konteyner

DİKKAT EDİYORUM

Taşıma Sırasında İSG Önlemleri

Taşımada alınabilecek iş güvenliği önlemleri şunlardır:

- Araç izin verilen aks yüklerini ve izin verilen maksimum ağırlığı aşmamalıdır.
- Yükler enine ve boyuna olmak üzere konmalı, aracın stabilitesini etkilememelidir.
- Yüklü aracın izin verilen boyutları aşılmamalıdır.
- Aracın sürüşüne engel olacak bir durum oluşmamalıdır.
- Yol görüşü kısıtlanmamalıdır.
- Taşınacak yüke uygun güzergah planı yapılmalıdır.
- Aracın bakımları yapılmış olmalıdır.
- Araç lambaları, sinyal cihazları, sayı plakaları ve araçta bulunan diğer levha ve işaretler yük tarafından gizlenmemelidir.
- Araç şoförleri taşıma yönetmeliklerine uygun olarak sürüş görevini yapmalıdır.

1. ETKİNLİK

Yükleme ve sevkiyat işleminde karşılaşılabilecek kazalar ve bu kazalara karşı alınabilecek önlemlerle ilgili araştırma yaparak bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu sınıfınızda paylaşınız.

- Sunuda yazı, resim, video, şekil, fotoğraf vb. en az dört farklı materyal kullanınız.
- Sunum yaparken Türkçeyi doğru kullanınız.
- Sunum süresini belirleyiniz.

Çalışmanız aşağıda verilen ölçütler dikkate alınarak değerlendirilecektir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	1 Puan	2 Puan	3 Puan
Yükleme ve sevkiyat işlemlerinde karşılaşılabilecek kazaları ve bu kazalara karşı alınabilecek önlemleri detaylı ve anlaşılır bir şekilde açıkladı.			
Güvenlik önlemleri ve İSG uygulamaları hakkında bilgi verdi.			
Doğru ekipman kullanımı hakkında bilgi verdi.			
Çalışan eğitimi ve bilinçlendirmenin önemine değindi.			
Risk analizi ve değerlendirme hakkında bilgi verdi.			
Sunumda görsel ve işitsel araçları etkili bir şekilde kullandı.			
Sunumu açık, anlaşılır ve dil bilgisi kurallarına uygun yaptı.			
Sunumu, belirlenen süre aralığında tamamladı.			
Sunum sırasında arkadaşlarından gelen soruları yetkin bir şekilde cevapladı.			

4.2.2. Sevkiyat

Hazırlanan ürünlerin belirlenen yerlere ulaştırılması sevkiyat işlemi ile gerçekleştirlir. Sevkiyat başta kara yolu taşımacılığı olmak üzere ulaşım ağlarının geliştiği her noktaya farklı taşımacılık sistemleri sayesinde gerçekleşir.

4.2.3. Kara Yolu Taşımacılığı

Uluslararası taşımacılık faaliyetlerinde kritik rol üstlenen kara yolu taşımacılığı rekabetin en çok yaşandığı taşıma türüdür (Görsel 4.19). Kara yolu taşımacılığı, kapıdan kapıya aktarmasız taşımaya olanak tanıması sayesinde eşya yıpranmasını en aza indirmektedir. Tarifeli yüklemelerin sıkça yapılabilmesi ve kısa süreli sevk yapılabilmesi kara yolu taşımacılığının çok tercih edilen taşıma türü olmasında etkili olmaktadır. Kara yolu ağı uzunluğunun 1950'lerden günümüze kadar beş kat artmış olması bu taşımacılık türünün uluslararası taşımacılık faaliyetlerinde kilit rol üstlendiğinin göstergesidir.

Görsel 4.19: Kara yolu ile taşıma yapan bir treyler

Demir Yolu Taşımacılığı

Demir yolu taşımacılığı ağır tonajlı ve havaleli yükler için uygun olması nedeniyle tercih edilmektedir (Görsel 4.20). Yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle genellikle kamu kuruluşları tarafından yapılmakta ve kullanılmaktadır. Kara yolu trafik yükünü hafifleten demir yolu taşımacılığı, Türkiye'de Demir Yolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi Kanunu'nun yürürlüğe girmesi gibi teşvik edici düzenlemelerle artış göstermiştir.

Görsel 4.20: Demir yolu ile taşıma yapan bir tren

Deniz Yolu Taşımacılığı

Dünyada en çok tercih edilen taşıma yöntemi, güvenli ve düşük maliyetli olması nedeniyle deniz yolu taşımacılığıdır (Görsel 4.21). Çok büyük miktarda ve konteynerlenebilen ürünler deniz yolu taşımacılığı ile taşınabilmektedir. Deniz yolu taşımacılığı kendi içinde tramp taşımacılık ve liner taşımacılık olarak ikiye ayrılmaktadır. Kereste, maden, kömür ve ham petrol gibi ürünlerin gemilerle taşındığı deniz yolu taşımacılığı tramp taşımacılık olarak adlandırılır. Konteyner ve ro-ro taşımaları gibi tarife esaslı olarak gerçekleştirilen deniz yolu taşımacılığı ise liner taşımacılık olarak geçer. Türkiye'nin toplam dış ticaretinin yüzde 90'nını oluşturan deniz yolu taşımacılığı uluslararası ticarette kritik önem taşımaktadır.

Görsel 4.21: Deniz yolu ile taşıma yapan bir konteyner gemisi

Hava Yolu Taşımacılığı

Daha kısa sürede ulaşması beklenen değerli ve aciliyet gerektiren ürünler için hava yolu taşımacılığı tercih edilmektedir (Görsel 4.22). 500 km'den daha uzak mesafeler için avantajlı olan taşımacılık türüdür.

Görsel 4.22: Hava yolu ile taşıma yapan bir kargo uçağı

Boru Hattı Taşımacılığı

İlk yatırımın maliyetli olduğu bu taşımacılık türünde ham petrol, doğal gaz gibi likit ya da gaz hâlinde olan maddeler taşınmaktadır (Görsel 4.23). Taşıma kapasitesi yüksek bu taşımacılık türü, özellikle devletler arası enerji ürün taşımacılığında kullanılmaktadır. Türkiye'nin dünyanın en zengin ham petrol ve doğal gaz rezervlerinin bulunduğu Orta Doğu ve Orta Asya ülkeleri arasında köprü konumunda olması nedeniyle ilerleyen dönemlerde boru hattı taşımacılığında gelişmeler olabilecektir.

Görsel 4.23: Boru hattı ile taşıma

Nehir Yolu Taşımacılığı

Avrupa'da çok sık kullanılan taşıma modları arasında bulunan nehir yolu taşımacılığı; ağır, gabari dışı veya hacimli malların taşınmasında kullanılımaktadır (Görsel 4.24). Farklı tip ve özelliklerde gemi ve barge (sal) ile su seviyesinin izin verdiği dönemlerde yapılan nehir taşımacılığı, Türkiye'de akarsuların debi oranlarının yüksek olması nedeniyle tercih edilmemektedir.

Görsel 4.24: Nehirde taşıma yapan bir araç

4.2.4. Taşımacılık Türleri

Sevkiyat işlemi pek çok farklı taşımacılık türü ile yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları multimodal, intermodal ve kombine taşımacılıktır.

Multimodal Taşımacılık (Çok Modlu Taşımacılık)

Yüklerin farklı araç ve taşıma türü ile yapıldığı multimodal taşımacılıkta yükleme ve varış noktaları arasında kullanılan tüm taşıma yolları için tek taşımacılık sözleşmesi yapılmaktadır. Entegre bir sistem olan multimodal taşımacılık iki türde yapılmaktadır.

İntermodal Taşımacılık

Yükün taşıma kabı değiştirilmeden en az iki taşıma türü ile taşınmasıyla yapılan intermodal taşımacılıkta; genelde tırlar, trenler ve yük gemileri kullanılmaktadır. Hangi taşıma modelinin kullanılacağı yükün nihai varış noktası, aciliyet durumu, mevsimsel ve ekonomik faktörler doğrultusunda değişmektedir. Sürdürülebilir taşıma sisteminin bir parçası olan intermodal taşımacılık, kara yolu kullanımını en aza indiren bir taşıma modudur.

Kombine Taşımacılık

Kombine taşımacılık çıkış noktasından varış noktasına kadar kara yolu, demir yolu, deniz yolu ve hava yolu taşıma modlarından en az ikisinin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Lojistik sektöründe trend bir taşımacılık modu olarak öne çıkan kombine taşımacılık, taşımanın bir bütün hâlinde yapılabilmesini sağlamaktadır. Farklı ürünlerin konsolide ve kombine edilebilmesini mümkün kılan kombine taşımacılık ağır taşımalar için ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Ro ro gemileri tekerlekli vasıtaların gemilerle bir yerden bir yere nakledilebilmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle kombine taşımacılığın bir örneği olarak değerlendirilebilir.

4.2.5. Uluslararası Taşımacılık Terimleri (İNCOTERMS)

Ülkeler arası ürün nakliyesi yapılırken bazı terimler gelişmiştir. Bu terimler standartsallaşarak uluslarası taşımacılık terimleri olarak kullanılmaktadır.

İş Yerinde Teslim / EX WORKS (EXW)

Bu teslim şeklinde satıcı malları, kendi iş yerinde veya ismen belirlenmiş başka bir yerde (fabrika, depo, iş yeri gibi) alıcının tasarrufuna bırakarak teslim edilir. Satıcının malları herhangi bir taşıma aracına yükleme zorunluluğu bulunmamaktadır. Malların teslim anından itibaren malla ilgili bütün masraf ve risk alıcı tarafından karşılanmaktadır.

Taşıcıya Masrafsız / Free Carrıer (FCA)

Bu teslim şeklinde satıcı malları, iş yerinde veya belirlenen başka bir yerde alıcı tarafından tayin edilen taşıyıcıya veya başka bir kişiye teslim etmektedir. Bu teslim şeklinde satıcı, hasarı ve masrafları kendisine ait olmak üzere malların ihracat gümrük işlemlerini tamamlamalıdır. Teslim anından itibaren malla ilgili tüm masraf ve riskler alıcıya geçmektedir.

Gemi Doğrultusunda Masrafsız / Free Alongsıde Ship (FAS)

Bu teslim şeklinde satıcı malları belirlenen yükleme limanında, alıcı tarafından seçilen geminin doğrultusunda (örneğin bir rıhtımda veya bir mavnada) bırakarak teslim etmektedir. Mallar gemi rıhtımında ise yükleme yerine getirerek, gemi açıkta demirli ise mavnalarla geminin yanına kadar götürülerek teslim edilmektedir. Mallara ilişkin hasar ve masraflar, mallar gemi doğrultusunda bırakıldığı zaman alıcıya geçmekte ve alıcı bu andan itibaren bütün masraflara katlanmaktadır.

Gemide Masrafsız / Free On Board (FOB)

Ülkemizde en çok kullanılan bu teslim şeklinde; satıcı malları belirlenen yükleme limanında alıcı tarafından seçilen gemide teslim etmektedir. Mallara ilişkin hasar ve masraflar mallar gemide bulunduğunda alıcıya geçmekte ve alıcı bu andan itibaren bütün masraflara katlanmaktadır.

Masraflar ve Navlun / Cost And Freıgh (CFR)

Bu teslim şeklinde satıcı malları gemide teslim etmekte veya zaten bu şekilde teslim edilmiş malları tedarik etmektedir. Mallara ilişkin hasar ve masraflar mallar gemide bulunduğunda alıcıya geçmektedir. Satıcı, malların belirlenen varış limanına getirilmesi için taşıma sözleşmesi yapmakta ve masraflar ile navlunu ödemektedir.

Masraflar, Sigorta ve Navlun / Cost, Insurance And Frelght (CIF)

Masraflar ve navlun teslim şekline ilave olarak bu teslim şeklinde satıcı ayrıca alıcının yolculuk sırasında mallara ilişkin ziyan ve hasar riskine karşılık bir sigorta sözleşmesi yapmaktadır.

Taşıma Ödenmiş Olarak / Carrıage Paıd To (CPT)

Bu teslim şeklinde satıcı malları bizzat kendisinin seçtiği ve anlaşma yaptığı taşıyıcıya, malların ihracı ile ilgili gümrük işlemleri yapılmış, belirtilen varış yerine gönderilmesi için gereken taşıma sözleşmesi imzalanmış ve taşıma masrafları ödenmiş olarak teslim etmektedir. Satıcı, hasarı ve masrafları kendisine ait olmak üzere malların ihracı için gerekli her türlü ihraç iznini veya diğer resmi izinleri almakta ve malların ihracı için gerekli gümrük işlemlerini tamamlamaktadır.

Taşıma ve Sigorta Ödenmiş Olarak / Carrıage And Insuraed Paıd To (CIP)

Bu teslim şeklinde satıcı malları kendisinin seçtiği bir taşıyıcı veya diğer bir kişiye belirlenen yerde teslim etmekte ve satıcı, malların belirtilen varış noktasına getirilmesi için gereken taşıma sözleşmesini imzalamakta, taşıma masraflarını ödemektedir. Satıcı, malların belirlenen varış limanına getirilmesi için taşıma sözleşmesi imzalamakta ve masraflar ile navlunu ödemektedir. Satıcı ayrıca alıcının yolculuk sırasında mallara ilişkin ziyan ve hasar riskine karşılık bir sigorta sözleşmesi yapmaktadır.

Terminalde Teslim / Delıvered At Termınal (DAT)

Bu teslim şeklinde, satıcı malları belirlenen varma yerinde veya limanında belirlenen terminalde gelen taşıma aracından boşaltılmış bir şekilde, alıcının tasarrufuna bırakarak teslim etmektedir. Terminal terimi; rıhtım, depo, konteyner sahası veya yol, demir yolu veya hava kargo istasyonu gibi üstü açık veya kapalı olabilecek herhangi bir yeri kapsamaktadır.

Belirlenen Yerde Teslim / Delıvered At Place (DAP)

Bu teslim şeklinde satıcı malları, belirlenen varma yerinde gelen taşıma aracından boşaltmadan, alıcının tasarrufuna bırakarak teslim etmektedir. Satıcı, malların varma yerine getirilmesine ilişkin tüm hasar ve masrafları üstlenmektedir.

Gümrük Vergileri Ödenmiş Olarak / Delıvered Duty Paıd (DDP)

Bu teslim şeklinde, satıcı malları ithalat için gümrüklenmiş olarak ve belirlenen varma yerinde taşıma aracında boşaltılmaya hazır şekilde alıcının tasarrufuna bırakarak teslim etmektedir. Satıcı, malların belirlenen varma yerine getirilmesine ilişkin tüm hasar vemasrafları üstlenir. Malların sadece ihracatı değil, ithali için de gümrükleme işlemlerini yapmakla, ihracat ve ithalat için gerekli her türlü harcı ödemekle ve tüm gümrük formalitelerini yerine getirmekle yükümlüdür. Satıcı için azami yükümlülük söz konusudur.

4.2.6. Sevkiyat Raporları

Ürün sevkiyatlarında; taşınan ürün, taşıma türü, taşıma miktarı gibi bilgileri içeren raporlar hazırlanmaktadır (Tablo 4.1). Bu raporlar; siparişi alınıp sevk edilen stokları, teslim tarihlerine göre sıralı olarak listelemektedir. Raporda alınan sipariş raporuna ek olarak yer alan bilgiler şunlardır:

Sipariş Numarası ve Tarihi: Siparişin yapıldığı numarası ve tarih belirtilir.

Müşteri Bilgileri: Siparişi veren müşteriye ait bilgiler belirtilir.

İrsaliye No. ve Tarih: Siparişin teslim edildiği irsaliye numarası ve tarihi belirtilir.

Fatura No. ve Tarih: Siparişe ilişkin kesilen faturanın numarası ve tarihi belirtilir.

Açıklamalar: Hareket için girilmiş bir açıklama varsa belirtilir.

Miktar: sipariş hareketi için faturalanan stok miktarı belirtilir.

Birim Fiyat: Stokun faturadaki birim fiyatı belirtilir.

Döviz Cinsi: Stokun faturadaki döviz cinsi belirtilir.

Tutarı: Stokun faturadaki toplam tutarı belirtilir.

Nakil Bilgisi: Nakliye işlemini yapan araç ile ilgili bilgiler belirtilir.

Teslimat Bilgisi: Siparişin teslim yeri ile ilgili bilgiler belirtilir.

Tablo 4.1: Flotasyon İşlemi İçin Değişkenlerin Sınıflandırılması

Sipariş Veren	Malı Teslim Alan	Ülke Tanımı	Sevkiyat Noktası	Incoter-ms	Teslim Limanı	Teslimat Tarihi	Sipariş No.	Teslimat No.
ABC MİNİNG CO	ABC MİNİNG CO	İngiltere	İzmir Limanı	CIF	LIVERPOOL	18.06.2022	AB22L-V123A	10052368

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun ifadelerle tamamlayınız.

1. Ürünü direkt içerisine alan ilk, asıl, iç ambalaja ..... denir.

2. Ürünlerin güvenli ve hasarsız bir şekilde taşınması amacıyla üretilmiş, uluslararası standartlara sahip taşıma araçlarına ..... denir.

3. Satıcının malları belirlenen yükleme limanında, alıcı tarafından seçilen gemide teslim ettiği taşımacılık türüne ..... denir.

B) Aşağıdaki soruları dikkatle okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. **Aşağıdakilerden hangisi yükleme aracı değildir?**

A) Loder B) Rampa C) Forklift

D) Reach Steacker E) Kamyon

2. **Güvenli ve düşük maliyetli olması nedeniyle dünyada en çok tercih edilen taşıma yöntemi aşağıdakilerden hangisidir?**

A) Kara yolu taşımacılığı

B) Demir yolu taşımacılığı

C) Deniz yolu taşımacılığı

D) Hava yolu taşımacılığı

E) Nehir yolu taşımacılığı

3. **Aşağıdakilerden hangisi izin verilen yüklü ağırlığı 3.500 kilogramdan fazla olan, yük taşıma amacıyla üretilen motorlu araçtır?**

A) Kamyon B) Forklift C) Lokomotif

D) Bant konveyör E) Romörk

C) Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. **Paketleme işlemi nedir? Paketleme işleminde kullanılan yöntemler neden farklılık gösterir? Kısaca açıklayınız.**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. **Kombine taşımacılık nedir? Kısaca açıklayınız.**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. **Paketleme işlemi sırasında karşılaşılabilecek iş kazaları nelerdir? Kısaca açıklayınız.**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. **Yükleme ve sevkiyat işlemlerinde karşılaşılabilecek iş kazaları nelerdir? Kısaca açıklayınız.**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

A-BÖLÜMÜ

1. serbestleşme
2. eleme
3. numune
4. kurutma
5. bant konveyör
6. artık malzemelerin
7. kıymetli mineraller
8. cevher
9. atık
10. flokülasyon

B-BÖLÜMÜ

1. D
2. B
3. A
4. E
5. C

2. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

A-BÖLÜMÜ

1. kırma
2. kırma oranının
3. primer, sekonder ve tersiyer
4. devreden
5. öğütme
6. yaş/ kuru
7. otojen öğütme
8. %30
9. elek yüzeyi
10. sabit veya hareketli.
11. konsantrasyon oranı
12. bilyeli değirmen

B-BÖLÜMÜ

1. D
2. B
3. C
4. D
5. C
6. D
7. D
8. A
9. A
10. B
11. A

3. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

A-BÖLÜMÜ

1. cevher zenginleştirme
2. konsantre
3. kalsinasyon
4. maden ürünü

B-BÖLÜMÜ

1. C
2. E
3. B
4. C

4. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

A-BÖLÜMÜ

1. birincil ambalaj
2. konteyner
3. gemide masrafsız / Free On Board (FOB)

B-BÖLÜMÜ

1. E
2. C
3. A

KAYNAKÇA

Bayraktar, T. C. (1979). *Cevher Hazırlamada Zenginleştirme Öncesi İşlemler.* İstanbul Teknik Üniversitesi

Cevher Zenginleştirme 11 Dersi Öğretim Programı, 2020, Ankara.

Erdemir F., (2006) *Cevher Hazırlama Deneyi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü: Cevher Hazırlama Deneyi DERS NOTU*

Erdemoğlu, M. M., Sis, H. D., Bentli, İ., Birinci, M., & Uysal, T. (2018, Eylül). *Cevher Hazırlama. [Ders Notları]*. (00321)

Erdemoğlu, M. *Cevher Hazırlama Laboratuvarı İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Örnek Azaltma Ders Notu*

Hacıfazlıoğlu, H., (2007). *Alternatif Flotasyon Yöntemlerinin Tanıtılması. Madencilik*, 46(3), 23-41.

Hacıfazlıoğlu, H., (2009). *İnce ve Çok İnce Öğütme için Alternatif Değirmen Tiplerinin Tanıtılması.* Akü Fen Bilimleri Dergisi

Hacıfazlıoğlu, H., (2011). *Manyetik Ayırmadaki Son Gelişmeler Ve Alternatif Manyetik Ayırıcı Tiplerinin Tanıtılması.* Yer bilimleri dergisi İstanbul

Hacıfazlıoğlu, H., *Kırma Öğütme İşlemleri, Kırıcılar, Değirmenler, İstanbul Üniversitesi Ders Notları*

Lindgren, E., Broman, P., & Şenel, İ. (1978). Flotasyon Devreleri Düzenlenmesinde Ana İlkeler. Scientific Mining Journal,

MEB *Maden Teknolojisi Alanı Çerçeve Öğretim Programı*

Özcan, Ö., Toprak, N. A., & Göktaş, İ. (2018). *Bir Kırma Eleme Tesisi'nin Performansının Değerlendirilmesi ve Optimizasyonu.* Bilimsel Madencilik Dergisi, 57(2), 95-108

Özcan, Ö., Toprak, N. A., & Göktaş, İ. (Yıl). *Bir Kırma Eleme Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi.*

Saatçı, M., (2016, 1 Nisan). *Sınıflandırma-Klasifikasyon.* [Maden Mühendisi]. Madencilik ve Kişisel Gelişim Sitesi.

Tanriverdi, M., (2016). *Cevher hazırlama tesislerinde simülasyon programı kullanımı ve örnek bir uygulama,* Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Taşdemir, T., Öteyaka, B., & Taşdemir, A. (2006). *Jameson Flotasyon Hücresinde Önemli Çalışma Parametrelerinin Hava Tutunumu Ve Giren Hava Miktarına Etkileri,* Madencilik, Cilt 45, Sayı 4, Sayfa 11-18

TDK (Türk Dil Kurumu) 2023 Ankara TDK yayınları

Toraman Ö. Y., Çayırlı S., Öksüzoğlu B., *YATAY KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMEN*: ISAMILL. NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. 2015; 4(2): 99-106.

Toraman, Ö. Y. ve Çayırlı, S. (2018). *Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği. 5. Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi.*

Uçurum, M. (2015). Kalsit Madenciliğinin Geleceğinde Optik Ayırma Teknolojilerinin Yeri Ve Önemi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4 (1), 40-46.

*** Bu kaynakça APA-7 ye göre yapılmıştır.**

Ders materyalinin genel ağ ve görsel kaynakçasına bu karekodu okutarak ulaşabilirsiniz.

GENEL AĞ KAYNAKÇASI

http://www.marbleport.com/madencilik-kulturu/15/flotasyon

https://www.derslerikurtaranadam.com/ders-ders-notlari/MAD451-Maden-Makinalari-ders-28449

https://tdk.gov.tr/tdk/kurumsal/yazim-kilavuzu/