

## BOYUT KÜÇÜLTME TEKNOLOJİSİNDEKİ GELİŞMELİM

### DEVELOPMENTS IN COMMUNTION TECHNOLOGY

Ar.Gör. İsmail YILDIRIM» Prof.Br» Yatçım KÂYZAZ  
*İTÜ Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama A.B. Dalı,  
80626 Maslak-İstanbul*

#### ÖZET

Boyut küçültme, cevher hazırlama endüstrisinde en pahalı proseslerden biridir. Bir cevher hazırlama tesisinde boyut küçültme maliyeti, toplam tesis maliyeti içinde % 50-60'lara kadar çıkabilmektedir. Maliyetlerin bu düzeyde yüksek olmasının nedeni; malzemenin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ve üründe istenen nihai boyutla ilgili olmakla birlikte, malzemeyi kırarak olan araçların uygun niteliklerde olup olmadıktan ve doğru seçilip seçilmedikleriyle de doğrudan ilişkilidir. Bu bildiride boyut küçültme teknolojisinde, değişik alanlarda ihtiyaç duyulan malzemelerin boyut küçültmelerinde kullanılan konvansiyonel ve son yıllarda geliştirilmiş kinci ve öğütücülerin özellikleri ve uygulamaları anlatılmaktadır.

#### ABSTRACT

Communion is the most energy extensive process in mineral processing. The size reduction cost can be as high as 50-60 % of the total operating costs. Although the reason for such high costs can be attributed to factors such as physical, chemical and mineralogical properties of the material and the required final size, the selection of the equipment to be used in such a process is important as well. In this paper, the effect of material properties on size reduction are discussed along with the latest developments in crusher and grinding equipment.

## i. GİMİŞ

Boyut küçültme, yani katı maddelerin az veya çok sayıda parçalara ayrılması işlemi genellikle îane boyutuna bağlı olarak KIRMA ve ÖĞÜTME olarak ikiye ayrılmaktadır. Ufalanan malzemenin tane iriliğine göre de, ayrıca "iri ve ince kırma" ile "iri ve ince öğütme" den de bahsedebilmektedir.

Katılarda boyut küçültme minerallerin zenginleştirilmesi, malzemenin maden, kimya, çimento, seramik veya yapı sanayi kollarında kullanılması hedefine yönelik yapılmakta ve mekanik bir işlem sonucu, belirli tane iriliğinde mal elde ederken, tanelerin hacminin küçültülüp *yüzey* alanlarının büyütülmesi gerçekleştirilmektedir. Kullanım alanlarına göre belirli tane boyutlarında ve değişik tane şekilli malzemelerin eldesi için yapılan boyut küçültmede etkili olan kuvvetler katıların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin yanısıra yüzey enerjileri ile ilgilidir. Nitekim E.G. Blanc'a göre (1964) kopma yalnızca mekanik bir olay olmayıp aynı zamanda kinetik bir olaydır. U.N. Bhrany'ye göre (1960) ise boyut küçültme öğütme zamanı ile orantılıdır.

## 2. BOYUT KÜÇÜLTME TEOMİLEM

Genellikle kayaçların boyutlarının küçültülmesinde etkili olan kuvvetleri, kayaçların yapısal ve kayaçların kopma (kırılma) özellikleri şeklinde üç grup halinde incelemek mümkündür.

### 2.1. Kayaçların Yapısal Özellikleri

Bir kayacın kopma ve tartmasında etkili olan belli başlı mineralojik ve petrografik faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir.

- Alterasyon derecesi ve çatlakların büyüklüğü,
- Kayacı meydana getiren minerallerin yapısı,
- Minerallerin şekil ve boyutları,
- Minerallerarast veya mineral içi mikroçatlaklar,
- Kayaçlar içindeki minerallerin homojen veya heterojen dağılımları,
- Minerallerin anizotropisi, minerallerin veya çatlakların oryantasyonu.

### 2.2. Kayaçların Deformasyon Özellikleri

Kayaçların mekanik deformasyonunun etüdünde en başta, bu materyallerin yük altında dayanıklılık ölçümü gelmektedir.

Kayaçlar *içki* çeşitli tip deformasyon özelliklerinden bahsedilebilir.

- a) Elastik deformasyon,
- b) Viskoelastik deformasyon,
- c) Plastik ve permanent deformasyon,
- d) Viskoz ve viskoplastik deformasyon,
- e) Non-lineer deformasyon.

Genellikle bu deformasyonlar, değişik tipleri ile aynı anda meydana gelmektedirler.

### 2.3. Kayaçların Kopma (Kırılma) Özellikleri

Kayaçların kopma işlemi mekanik deformasyonu izleyen ikinci kademedir. Kopma olayı, deformasyonun belirli bir limit değere erişmesinden sonra meydana gelmektedir. Kopma tipleri çok sayıda olmakla beraber en önemlileri frajil yani kırılmalı kopma, makaslama kopması ve plastik deformasyon kopmasıdır.

Cisimler üzerine etki eden basman hızı, basınçların, üç yönlü uygulaması ve cisimlerin sıcaklığı, katı maddelerin kırılması işlemine etki eden fiziksel parametrelerdir.

### 2.4. Boyut Küçültme Kanunları

Kaya mekaniği konusunda daha önce yapılmış çalışmalar boyut küçültme probleminin kompleks yapısına ışık tutmakla beraber henüz kabul edilebilir pratik bir uygulama bulunmamıştır.

Boyut küçültme işleminde harcanan enerji miktarları bilinen klasik kanunlarla hesaplanmaktadır.

Bu kanunların en eskisi P. Ritter von Monger (1867)'in boyut küçültme kanunudur. Bu kanun göre, boyut küçültmeden sonra meydana gelen yeni yüzeylerin toplamı harcanan güç (iş) ile doğrudan orantılıdır, (d) çaplı partiküllerden meydana gelen bir tonluk miktarın yüzey alanı  $1/d$  Me ton başına harcanan enerji ise  $1/d - 1/D$  Me orantılıdır. Burada D parçanın % 80'inin geçtiği orijinal ilk boyutu, d ise boyut küçültmeden sonraki parçanın % 80'inin geçtiği nihai boyuttur. Bu kanun tercihan, ince boyutlu tanelerin boyut küçültmesinde uygulanabilmektedir (Çimento eldesinde kullanılan taneler için, A. JoiseL 1964).

İkinci boyut küçültme kanunu F. Kek kanunudur (1885). Buna göre, boyut küçültmede harcanan enerji (iş), boyutu küçültülen tanelerin hacim küçültmeleri ile orantılıdır. Bu kanun tercihan büyük boyutlu tanelerin boyut küçültmesinde kullanılmaktadır.

Üçüncü boyut küçültme kanunu F.C. Bond kanunudur. Bu kanuna göre boyut küçültme işlemlerinde harcanan enerji  $(1/\sqrt{d} - 1/\sqrt{D})$  ile orantılıdır.

## 3. BOYUT KÜÇÜLTME ARAÇLARI

Kırılmalı, kotikasör, değirmen adı verilen boyut küçültme araçları, tane üzerine uygulanan kuvvetin etkisi ve şekline göre değişik gruplara ayrılmaktadır.

Diskontinü ezme ve basınc kuvveti prensibi ile çalışan kınalar:

Â- Çeneli ve dönel kırıcılar ile kontinü, devamlı ezme ve basınç kuvveti ile çalışan kırıcılar (Silindirik kırıcılar, merdaneler),

B- Sürtünme kuvveti prensibi ile çalışan kırıcılar (Değirmen tipi öğütücüler ve titreşimli öğütücüler),

C- Darbe, vurma (şok) kuvveti prensibi ile çalışan kırıcılar (İmpakt kınalar, çekiçli öğütücüler, jet öğütücüler),

D- Ezme, basınç, sürtünme ve darbe kuvvetlerinin karışımı ile çalışan kınalar (Bilyalı, çubuklu veya otojen değirmenler).

### 3.1. Ezme ve Basınç Hareketi ile Kırma Yapan Kırıcı Araçlar

Bu araçlarda çene hızlan cihazın tipine bağlı olarak 0.1 ile 8.0 m/s arasında değişmektedir. Kırma işleminin sürekli veya süreksiz olmasına göre sınıflandırılırlar.

#### 3.1.1. Diskontinü (Siretaiz) Hareketli Kırıcı»

Bu kınalarda kırılacak tane üzerine yapılan basınç hareketinin sayısı dakikada 200-300 dür. Hareketli çenenin genliği kırılan materyalin elastisite modülüne bağlı olarak değişir.

#### A- Çeneli Kınalar (Jaw Crusher)

Bu kınalarda V şeklinde karşılıklı yerleştirilmiş biri sabit diğeri hareketli İH çene mevcuttur. Hareketli çene hareketini, ekzantrik mil ile bağlı ekzantrik kol ve dayanak kollarından veya direkt olarak ekzantrik milden almaktadır.

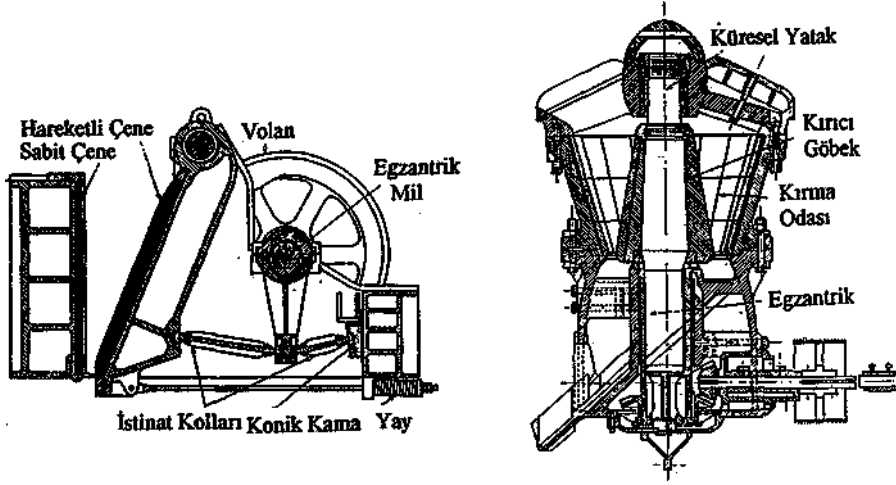
Bu tip çeneli kınalara Blake tipi iki dayanak kollu çeneli kırıcı, tek dayanak kollu çeneli kırıcı ve Dodge tipi alttan mafsallı çeneli kırıcı örnek olarak gösterilebilir. Şekil 1'de bir çeneli kırıcının şematik görünümü sunulmaktadır.

Boyut küçültme oranları 4:1 'dir. Küçük çeneli kırıcılar orta sertlikteki bir materyal için 6:1 BKO'da ton başına saatte 1.0~1.1 kWh enerji harcarken, aynı boyut küçültme oranı için büyük konkasörler 0.26 ila 0.3 kWh harcamaktadırlar.

#### B- Dönel (Konili) Kınalar (Gyrator Crushers)

Bu tip kınalarda kırıcıya konkavlarla kaplı kesik koni şeklinde sabit bir dış gövde ve bunun içinde eksantrik bir mekanizma ile dönen bir göbek bulunmaktadır. Genellikle konili kırıcıların üç tipi bulunmaktadır. Şekil 2'de bir konili kırıcının şematik görünümü verilmektedir.

- Oynar millerli konili kırıcı (Gates tipi),
- Sabit millerli konili kırıcı (Telsmith tipi),
- Symons konili kırıcısı.



Şekil 1. Blake Tipi Çeneli Kmcı.

Şekil 2. Konili Kinci Şematik Görünüşü.

Gates ve Telsmith konili kırıcılarında göbek dönüş hızı 200 devir/dakikadır. Boyut küçültme oranları genellikle 6:1'dir. Harcadıkları enerji 0.22 ile 0.90 kWh/ton'dur. Symons tipi konili kırıcıların boyut küçültme oranları ortalama olarak 12:1'dir. Bazen bu oran 20:1'e çıkabilir. Kırıcı göbek dönüş hızı 250 devir/dakika olup salınım genişliği Gates ve Telsmith'e göre beş kat daha büyüktür. Bu tip kırıcı nemli ve ince boyut oranı yüksek malzemelere karşı çok hassastır.

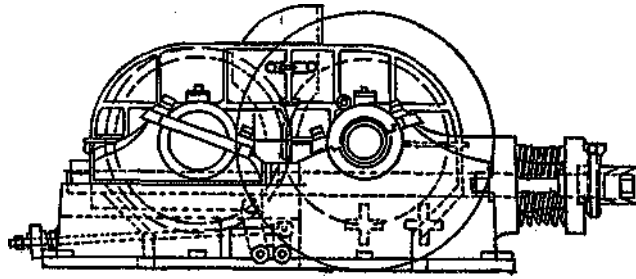
Genellikle çeneli kırıcılar maksimum parça boyutu yüksek malzemeler için uygundur. Ancak, kırma kapasitesi yüksek istendiğinde dönel kırıcılar daha avantajlıdır.

### 3.1.2. Kantini (SİreHİ) Hareketli Kırıcılar

Bu kırıcılar, birbirine göre ters yönde dönen iki silindirik yüzeyden oluşmuşlardır. Silindirik yüzeyleri düz, dişli veya kanallı olabilmektedir.

Bu kırıcılarda (D) merdane çapı ve (d) kırılacak malzemenin boyutu arasında sabit bir oran mevcuttur. Seki 3'de merdaneli kırıcının bir kesiti görülmektedir.

Sert malzemelerde BKO=2:1 ile 3:1 için  $D > 22d$ ,  
BKO=4:1 için  $D > 26d$  olmalıdır.



Seki 3. Bir Merdane!! Kırıcının Kesit Görünüşü.

### 3.2. Sürtünme Kuvveti (Hareketli) İle Kırma Yapan Kına Araçlar

Bu cihazlarda prensip, kırılacak materyali kaygan ve kuvvetli, biri sabit diğeri hareketli veya ikisi de hareketli olan farklı hızlarla dönen yüzeyler arasından geçirerek sürtünme kuvveti ile kırılmaktadır. "Sürtünme ve kopma kuvveti" ile birlikte bu cihazlarda "ezilme kuvveti" de önemli rol oynar. Değirmenler, titreşimli tüp öğütücüler, santrifüj öğütücüler bu tip boyut küçültücülere örnek olarak verilebilir.

### 3.3. Darbe, Vurma Kuvveti İle Kırma Yapan Kırıcı Araçlar

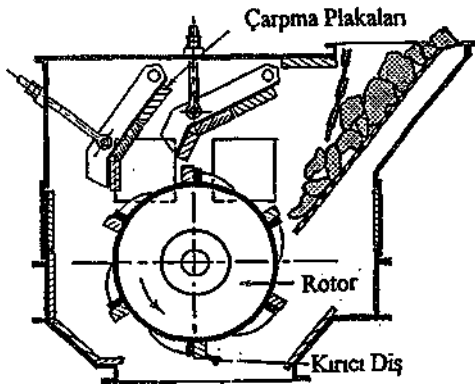
Bu araçlarla yapılan öğütmede kinetik enerji önemli rol oynamaktadır. Bu öğütücüler içinde bulunan bilya, çubuk veya cevherin kendi iri parçasının kinetik enerjisi bir şok veya bir deformasyon enerjisine dönüşür ve malzemeyi kırarlar.

#### A- Şoklu, Darbeli Kırıcılar (İmpakt Kırıcılar)

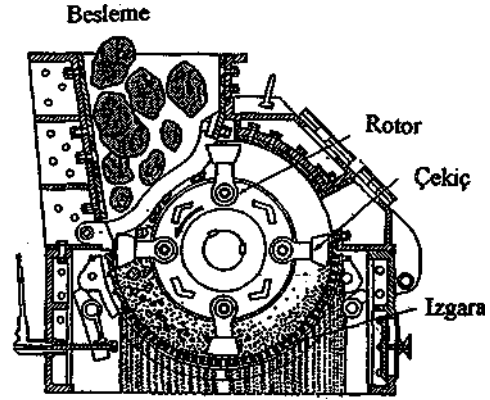
Bu tip kırıcılarda iki veya altı dişli bir silindirik kına göbek mevcuttur. Aynı bir göbek hızı için, şoklu kırıcıda boyut küçültme oranı azaldıkça kapasite artmaktadır. Belirli bir kapasite için, boyut küçültme oranı, hız artmasıyla yükselmektedir. Şoklu impekt kırıcılarda BKO 100:1 olabilmektedir. Ancak, kırılan malzemenin yumuşak veya orta sertlikte olması gerekmektedir. Bu tip kırıcılar üç kademeli kırmayı bir kademede gerçekleştirebilirler. Bir impekt kırıcının görünüşü Şekil 4'de sunulmaktadır.

#### B- Çekiçli Öğütücüler

Bu öğütücülerde kırıcı göbek mili hızı 20-60 m/s'dir. Çekiçler mafsallarla göbeğe bağlanmışlardır. Çekiçli kırıcının alt tarafında bir ızgara veya elek bulunur. Boyut küçültme oranları 20:1 ile 30:1 arasında olabilmektedir. Bu cihazların en büyük sakıncası; sert, aşındırıcı ve ıslak malzeme ile tıkanmalarıdır (Şekil 5).



Şekil 4. İmpakt Kırıcı.



Şekil 5. Çekiçli Kırıcı.

### C- Jet Akışı veya Havalı öğütücüler

Bu öğütücülerde, yüksek derecelerde ısıtılmış gaz akımları veya basınçlı hava akımları, bir boru yardımıyla öğütme haznesine (300 m/s) hızla enjekte edilerek, bir şekilde meydana gelen süpersonik hızlarla, mikron mertebesinde süper incelikte taneler elde edilir.

### 3.4, Sürtünme, Darbe ve **Ezme** Kuvveti İle Kırma Yapan Kinci Araçlar

Bu tip araçlara en iyi örnek bilyalı, çubuklu ve otojen değirmenler verilebilir. Bu değirmenlerde kritik dönüş hızı:

$$N_k = 420 / \sqrt{D}$$

Burada;  $N_k$ =Kritik Hız (d7d), D=Değirmen çapı (cm) ile ifade edilir. Bu değirmenlerde dönüş hızı (N), kritik hızın % 70 ile % 80'i (bilyalı değirmenlerde) veya % 60 ile % 70'i (çubuklu değirmenlerde) olabilmektedir.

öğütücü ortam şarj miktarı, kuru öğütme, değirmen iç hacminin % 35 ile 45'i, yaş öğütme ise % 40 ile % 50'si arasındadır. Bilyalı değirmenlerde harcanan güç aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$W = KPM$$

W:Güç, enerji (PS),  
P: öğütücü ortam şarjı (ton),  
D: Değirmen iç çapı (m),  
K: Şarj ortamına göre değişen sabite

Çizelge 1'de şarj edilen ortamı yoğunluğu ve öğütücü ortam şarj miktarının fonksiyonu olarak K sabiteleri verilmektedir.

Çizelge 1. E.C. Blanc'» Göre K Değerleri

öptücü Ortam Cinsi	öptücü Ortam Yoğunluğu	öptücü Ortam Şarj Oran				
		%10	%20	%30	%40	%50
ÇAKIL	1.6	13.3	12.3	11.0	9.5	7.8
İRİBİLYA	4.5	11.9	11.0	9.9	8.5	7.0
ÇUBUK	5.2	10.5	9.5	8.7	7.5	6.2

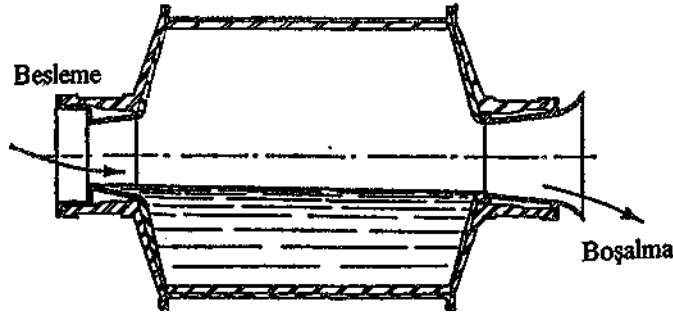
### 3.4.1. Öğütücü Değirmen Tipleri

Değirmenlerde yaş öğütmelerde meydana gelen aşınma kuru öğütmeye nazaran 7-8 kat daha fazladır. Mekanik bakımdan farklı tipte değirmenler geliştirilmiş ve günümüzde kullanılmaktadır.

Â- Bilyalı ve delikli plakalı Krupp değirmeni,

- B- Bilyalı ve silindirik gövdeli, Izgaralı Marcy,
- C- Silindirik Hardinge değirmeni,
- D- Tüp şeklinde silindirik uzun ve bölmeli değirmenler,

Endüstriyel çaplı bir öğütme işleminde pülpteki sıvı/katı oranı büyük rol oynamaktadır. Yaş öğütmede katı oranı pülp içindeki kan miktarının pülp miktarına olan oranı şeklinde ifade edilir. Devreden yük bilyalı değirmenlerde (% 400), çubuklu değirmenlerde ise maksimum (%150) olabilmektedir. Bir Allis Chalmer değirmeninin kesit görünüşü Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Serbest Göbekten Taşmalı Allis Chalmer Değirmen.

#### 4. Boyat Küçültme Maliyetleri

Bir Cevher Hazırlama tesisinde maliyetlerin % 50'sini boyut küçültme işlemleri meydana getirir.

##### 4.1. Harcanan Güç (kWh/ton)

Tane boyutu incelidikçe harcanacak güç artar. B.C. Bianc'ın bulduğu (1964), harcanan spesifik güçler (kWh/ton) Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Çeşitli Boyut Küçültme İşlemlerinde Harcanan Spesifik Güçler

Boyut Küçültme	Kayaç	Harcanan Güç, kWh/ton
İRİKIRMÂ	Yumuşak	0.15-0.25
	Orta Sert	0.25-0.50
	Sert	0.50-0.75
İNCE KIRMA	Yumuşak	0.75-1.25
	Orta Sert	1.25-2.00
	Sert	2.00-3.00
İRİ ÖĞÜTME	Yumuşak	3.00-5.00
	Orta Sert	5.00-7.00
	Sert	7.00-10.00
İNCE ÖĞÜTME	Yumuşak	10.00-17.00
	Orta Sert	17.00-25.00
	Sert	25.00-40.00



#### 4.2. Aşındırma

Kırma işlemlerinde 50:1 boyut küçültme oranında manganezli çelik plakaların aşındırması, kalker cevheri için (10 g/ton), kuvars için (50 g/ton) dur. öğütme işlemlerinde bu aşındırma daha da fazlaşır. Çelik bilyalardaki aşınma, kalker için (250 g/ton), kuvarsit için (2500 g/ton)dur. Baa özel hallerde bu aşındırma miktarı (4000 ile 5000 g/ton)'a bile erişebilir.

#### 4.3. İşçilik Maliyeti

İşçilik maliyetleri genellikle 0.07 saat/ton'dur.

#### 4.4. Kırma ve Öğütme Araçlarının Uygulanabildik Sınırları

Kırma araçlarının ve öğütücülerin kullanılabilme sınırları kırılacak maddenin sertliğine ve aşındırıcılığına, nemine, yapışkan olup olmasına ve boyut küçültme oranlarına bağlı olarak değişir.

### S. Boyut Küçültme Teknolojisindeki Gelişmeler

Cevher hazırlama tesislerinde boyut küçültmenin toplam tesis maliyeti içinde büyük payı olması, günümüzde değişik endüstri kollarında özellikle ince ve çok ince (birkaç mikron boyutlu) malzemelere ihtiyaç duyulması nedenleriyle; gerek ilk yatırım, gerek işletme maliyetleri daha düşük ve kapasiteleri daha yüksek olan aygıtların geliştirilmesini ve kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu alanda, son yıllarda büyük yatırımler kaydedilmiş ve üretici firmalar değişik alanlarda kullanılacak, değişik tipte yüksek performanslı kinci v® özellikle de öğütücüler geliştirmiş ve piyasaya sürmüşlerdir.

Bu bildiri kapsamında son yıllarda geliştirilmiş ve seramik, yapı, kimya, gıda vb. sektörlerinde kullanıma uygun çok çeşitli öğütücülerden birkaçı ile ilgili bilgi verilmektedir.

#### 5.1. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler

Bu değirmenler kaba ve ince öğütme alanında son yıllarda gelişme göstermiş ve çimento sektöründe başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, klasik bilyah değirmenlerle karıştırıldıklarında % 50'lik bir enerji tasarrufu sağlamakta; astar aşınması çok daha az, ömürleri ise bilyah değirmenlere oranla 10-20 kat daha fazla olmaktadır. Gürültü problemi en aza indirilmiştir ve işletmeleri çok kolaydır. Ayrıca kompakt yapıları nedeniyle az yer kaplamaları da diğer bir avantajdır. Bu tip değirmenlerde geçen malzeme miktarını belirleyen en önemli parametre merdane dönüş hızıdır. Öğütme kuvveti malzemedeki ince oranı belirlemektedir. Merdaneli presle max.tane boyutu 10 mikron olan malzeme üretmek mümkündür. Ayrıca bir havalı klasifikatörle kapalı devre çalıştırılması durumunda 5 mikron ( $d_{97}$ ) ürün de elde edilebilir. En pratik avantajı ise sistem optimizasyonunun çok kolay olmasıdır. Dezavantaj sayılabilecek tek nitelikleri ise, bu tip öğütücülerin yalnızca gevrek yapılı yumuşak ve ortalama sertlikteki aşındırıcı olmayan malzemelere uygulanabilmesidir.

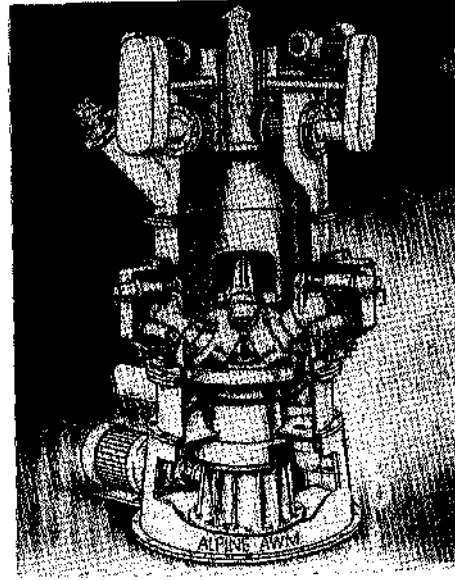
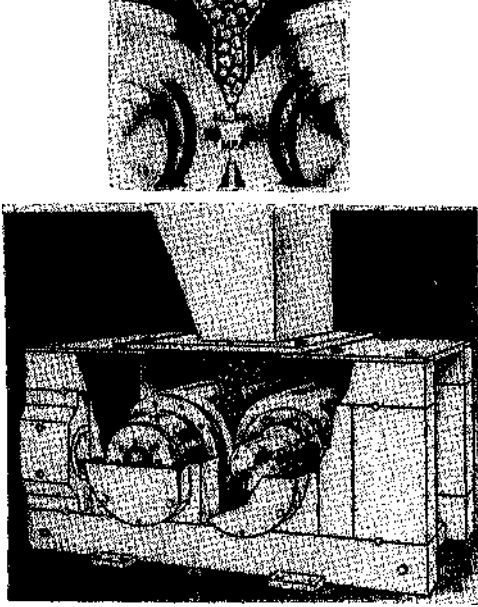
Bu değirmenlerde, öğütme taneler üzerine her yönden etki eden basınçla gerçekleştirilmektedir. Merdaneli kırıcılarla karşılaşınıldalarında temel fark, tenderin merdaneli kınalardaki gibi teker teker değil, besleme tane boyundan çok daha kalın bir tabaka halinde beslenen ürünün çok yüksek bir basınca tabi tutularak öğütülmesidir. Merdaneler arasında oluşturulan basınç 50-150 MPa mertebelerindedir. Merdaneli değirmenleri merdaneli kırıcılardan ayıran diğer önemli bir fark ise, beslenen malzemenin birim zamandaki hacmi çevresel hız ve merdaneler arasındaki boşluktan yararlanılarak hesaplanan hacimden daima daha büyük olmaktadır. Bu değirmenlerde uygulanan basınç nedeniyle taneler sıkıştırılmakta ve basınç taneler aracılığıyla aktarılarak mikroçatlaklar meydana getirmekte ve taneyi kolaylıkla ufalamaktadır. Şekil 7'de bir yüksek basınçlı merdaneli değirmen görülmektedir.

### S.2. Doner Çanaklı Merdaneli (Valsli) Değirmenler

Bu tip değirmenlerle mineral ve diğer gevrek yapılı malzemelerin ince öğütmeleri yapılabilmektedir. Başlıca kağıt, plastik, yapı, seramik olmak üzere pekçok endüstriyel alanda uygulanmaktadır. Bu değirmenlerde ayarlar yaparak, nihai üründe istenen tane boyutunu elde etmek kolaydır. Enerji sarfiyatları azdır ve malzemelerin az Fe ile kontaminasyonu sağlanabilmektedir. Değirmene ürün, bir hava akımına bağlı ve hızı ayarlanabilen bir besleme ünitesi ile beslenmektedir. Bu tip değirmenlerin en önemli avantajları yüksek kapasiteleri, düşük enerji sarfiyatları sürekli ve stabil çalışınlabilmeleridir. Bu öğütücülerle malzemeyi d<sub>97</sub>=İO-63 mikrona öğütmek mümkündür. Mika, talk, kireçtaşı, mermer, dolomit, olivin vb. mineraller öğütülebilir. Kapasiteleri makusa tipine bağlı olarak 1-10 ton olabilmektedir. Turboplex havali separatörlerle çalışınlmaları ile nihai üründe istenen tane boyutuna ulaşmayı kolaylaştırır. Değirmenin en belirleyici yapısal özellikleri, içe doğru eğimli çanak, 3 adet vals ve vals-etek-püskürtme ringinin uygun geometrisidir. Valslere gelen kuvvet hidrolik bir tertibatla iletildiği için sessiz ve titreşimsiz bir çalışma ortamı sağlanır. Çanaklar ve valsler aşınmaya dayanıklı olması amacıyla sert dökümden imal edilmişlerdir. Aşındıcılığı fazla olan malzemelerin üretilmesi durumunda ise astarlar aşınmaya dayanıklı segmanlarla kaplanmaktadır. Şekil 8'de Alpine tipi bir döner çanaklı valsli değirmen görülmektedir.

### S.3. Kanştırmalı Diş ey (Kule) Değirmeni (Tower/Vertimill)

Aktarılan ortam ile çalışan değirmenlerde ince boyutta öğütme hem enerji tüketimine, hem de gürültüye neden olmaktadır. Kanştırma tipi değirmenlerde ise enerji tüketimi bopt küçüldükçe daha da azalmakta ve gürültü az olmaktadır. Kanştırma!! tip değirmenlerin, diğer aktarılan ortamları çalışan değirmenlerin yerlerine geçememelerinin en büyük nedeni aşınmaların çok fazla olmasıdır. Özellikle aşındıcılığı yüksek olan minerallerin öğütülmesinde bunların kullanımı mümkün olamamaktadır. Aşınma probleminin çözülmesi ve çok ince malzemelere gün geçtikçe artan talep nedeniyle kanştırmalı tip değirmenlerin kullanımının gündeme gelmesine neden olmuştur.

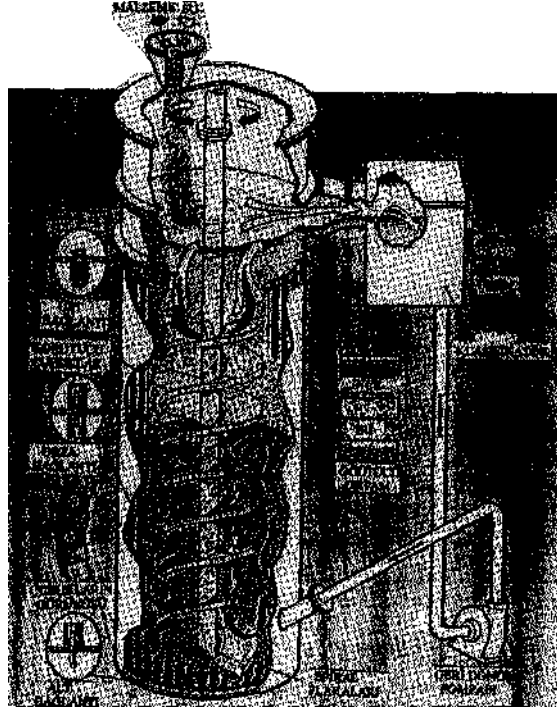


Şekil 7. Yüksek basınçlı merdanen" değirmen. Şekil 8. Döner Çanaklı Valsli Değirmen.

Bir kanştormah tip değirmen olan düşey değirmende (vertimill), öğütme ortamı olarak çelik bilya, seramik bilya ve çakıl veya mineral kökenli abrasif bir malzemedan yapılmış granulier kuBamlabifanektedir. Âna şafta monte edilmiş bir spiral ile öğütme ortamının ajitasyonu sağlanır, öğütme genellikle yaş olarak yapılmaktadır. Pülp değirmen tepesinden beslenmekte, »celmiş pülpün yukanya doğru hareketi bir pompa "rasıtasıyla sağlanmaktadır. Pompa, değirmenin üst kısımlarında klasifikasyona neden olacak belirlenmiş bir besleme mızraı sağlayacak şekilde seçilir, öğütme sırasında küçük taneler yukarı doğru çıkarken, iri taneler öğütücü ortamın içine düşer, öğütme ortamı spiral kanadan vasıtasıyla yükselir ve spiral ile değirmen gövdesinden aşağıya düşer. Öğütücü ortam zonu 1.8-2 m civarındadır, öğütme sırasında, değirmen gövdesinin aşağı kısımları ortam tarafından tamamen doldurulmuştur. Şekil 9'da Alpine düşey değirmeni görülmektedir.

öğütme işlemi, öğütülecek malzemenin öğütme ortamı ve kendi taneleri arasındaki sürtünme ve aşınma ile parçalanması prensibine dayanmaktadır. Öğütme etkinliği, öğütülecek materyal ile öğütücü ortamarıdaki nisbeten yüksek olan basınç ile arthnkr. Değirmene beslenen maksimum tane boyutu 10 rnm'ye olabilmektedir. Elde edilen ürünün boyutu ise 70 mikrondan daha küçüktür. Kapasiteleri 50 ton/saat'in üstündedir.

Yine kanştormsü büyalı değirmen sınıfından değişik firmaların geliştirdiği modeller kullanıma sunulmuştur. Bunların bazıları Sala kanştumah değirmen, Drais kanştormalı bilyak değirmen, Pitt değirmenidir. Bunlarda da temel prensip vertimill'deki gibidir. Birtakım ppısal farklılıklar sözkonusudur.



Şekil 9. Düşey (Kule) Değirmen.

#### 5=4 Jet Değirmeliler

Bu tip değirmenlerde, öğütülecek malzemenin çok yüksek basınçlı hava ile birlikte veya öğütülecek malzemenin değirmen gövdesinde basınçlı hava ile teması sonucu tanelerin birbirlerine ve değirmen cidarına çarpmaları sonucu parçalanması prensibi ile çalışırlar. Taneler darbe ve aşınma ile ufalanırlar. Bu tip değirmenlere örnek olarak Jet-Q-Mixer, Alpine akışkan yataklı jet değirmen, daha çok kimya ve ilaç sektörlerinde kullanılan spiral jet değirmen verilebilir. Jet değirmenler genellikle bir seperatörie kapalı devre çalıştırılır ve seperatör alt akımı değirmene geri gönderilir.

##### 5.4.1. Jet-0-Mixer

Fluid Energy Processing and Equipement Co. tarafından geliştirilen bu değirmene, malzeme çok yüksek hızlı (süpersonik) hava jeti ile birlikte beslenir. Öğütülen ince malzeme hava akımı ile değirmenin üst bölümünde bulunan ayarlanabilir kanatçıklarla donatılmış bir ince malzeme kamarasından değirmen dışına çekilir. İstenen tane boyutundan büyük malzeme ise tekrar öğütme kamarasına geri döner (Şekil 10).

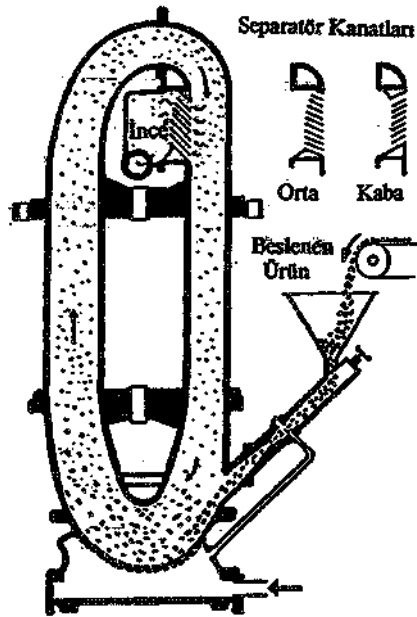
##### 5.4.2. Alpine Akışkan Yataklı Jet Değirmen

Bu değirmenlerde malzeme, değirmenin üst bölümünde bulunan besleme hızı ayarlanabilir besleme silosundan yapılmaktadır. Değirmen girişindeki hava kapağı, değirmene atmosferden kontrolsüz hava girişini önler. Kompresörden öğütme bölgesine

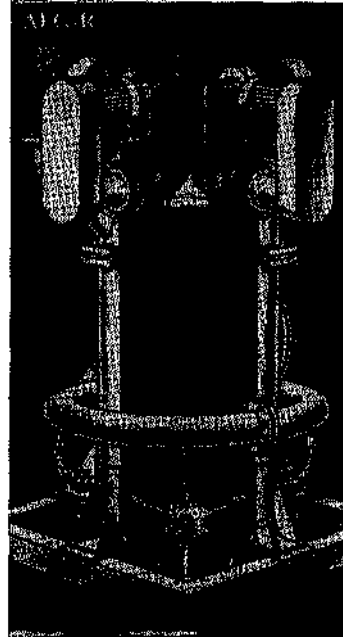
püskürtülen hava, malzemeyi akışkanlaştırır. Hava ile hız kazanan tanecikler birbirleriyle çarpışmaya başlayarak, sadece ürün yatağında öğünürler. Böylece öğünme esnasında hiçbir aşınma olmadığından, ürün kontaminasyonu da önlenmiş olmaktadır, öğütülmüş olan malzeme değirmen havası ile bir separatöre verilir. Arzulanan kesme boyutuna ayarlanmış olan separator alt akımı değirmene geri verilir. Üst akım ise nihai ürün olarak alınır. Değirmen için gerekli olan havanın sağlanması proses gaz distribütörü aracılığıyla yapılmaktadır (Şekil 11).

En büyük avantajları kontamine olmamış ürün eldesi, enerji tasarrufu, tane boyutunun tek kademede istenilen düzeye getirilmesi, tesisatın basitliği, kompakt yapı ve 200 °C'ye kadar çalışılabilir olmasıdır. Dezavantajı yönü ise konvansiyonel öğütmeye nazaran birim malzeme basma enerji sarfiyatının yüksek olmasıdır. Örneğin aşındırıcı olarak kullanılan alüminyum oksit in 5 mikrona kadar öğütülmesinde ( $d_{75}$ ) 1600 kWh/t enerji harcarlar.

Bu tip değirmenlerle talk, grafit, seramik hammaddeleri, zirkon kumu, silikatlar, korund, SiC, yüksek teknoloji seramikleri gibi Mohs sertliği 1'den 9.5'e kadar değişen materyaller öğütülebilmektedir. AFG jet değirmenleri  $d_{75}$ =5-100 mikron arlığında öğütme yapar. Öğütülmüş olan malzemede iri malzeme kaçağı olmamakta ve üst tane sınıfının keskin bir şekilde ayarlanabilmektedir. Kapasiteleri 0.1-2 t/h arasında değişmektedir.



Şekil 10. Jet-0-Mixer.



Şekil 11. AFG Akışkan Yataklı Jet Değirmen.

## S.S. Kayaçların Elektrofiziksel Yöntemlerle Parçalanması

Son 15 yıl içinde yapılan etüdler, yüksek titreşimli elektromanyetik yöntemler, lokal ısıtmalar ve şoklar yardımıyla elektrofiziksel yöntemler kullanılarak kayaçların parçalanabileceği kanıtlanmıştır. Dünyada bununla ilgili birtakım uygulamalar vardır.

### 5.5.1. Bir Kondansatörün Armatürleri Arasında Kayaçların Parçalanması

Bir kondansatörün armatürleri arasına 0.5-30 M Hertz frekans değerinde 6-14 KV gerilim uygulanmaktadır. Yapraklı bantlı kayaçlarda, eğer iletken partiküller varsa, çatlaklar meydana gelir. Düzgün strüktürlü kayaçlarda ise bir patlama olmaktadır.

### 5.5.2. Manyetik Alanla Kayaçların Parçalanması

Bu yöntem manyetik kayıpların olduğu ısınma prensibine dayanmaktadır. Burada halka şeklinde bir indüktör, 240 K Hertzlik bir frekans ve 60 kWh'lik güçlü bir jeneratör kullanılmaktadır.

### 5.5.3. Şok Çarpma ile Kayaçların Parçalanması

Elektrokimyasal bir reaksiyon ile meydana gelen şok ile kayaçlar parçalanabilmektedir. Eğer şok, termik bir işlem ile gerçekleştirilirse, buna termik şok adı verilir. Kullanılan jeneratörün frekansı (5-300 Khertz)'dir.

### 5.5.4. Diğer Mekanik Olmayan Yöntemler

Ultrason gelecekte boyut küçültmede önemli bir yer alacak gibi görünmektedir. Keza, lazer ışınları, termal şok ile aynı doğrultuda iyi sonuç vermektedir.

Bazı reaktifler, örneğin asit arilalkilsülfonik, trietanomik tuzlar vb. öğütme sırasında aglomerasyonu önleyerek, elektrik şarjlarını nötralize ederek öğütmeye yardımcı olurlar.

## 6. SONUÇ

Cevher hazırlama ve zenginleştirme teknolojisinin ana kademelerinden biri olan boyut küçültme işleminde kullanılacak ekipmanların uygun şekilde seçimi; tesis ekonomisi ve verimliliği açısından büyük önem arz etmektedir. Tesislerdeki temel işlemler yalnızca kırma ve öğütmeden ibaretse bu seçimin çok daha hassasiyetle yapılması gereklidir.

İşletmeler açısından ilk yatırım, işletme, enerji, tamir-bakım, işçilik vb. gibi tesis maliyeti düşürecek yeni teknolojilerin kullanımı; gerek işletmeciler gerekse ülkemiz cevher hazırlama endüstrisi açısından önemli bir atılım olacaktır. Bu bağlamda, boyut küçültme işleminin sıkça uygulandığı bir endüstri dah olan yapı malzemeleri, özellikle agrega sanayi kolunda uygun fana ve öğütücülerin uygun şekilde seçilmesi ve

kullanılması ile maliyetler aşağı çekilecek ve son yıllarda çok önem kazanan çevre kirlenmesinin (tozlanma, gürültü vo.) en aza indirilmesi sağlanmış olacaktır.

#### KAYNAKLAR

Alpine (1995), "*Handbook Mechanical Processing Technology*", Firma Tanıtım Katalogu.

Alpine (1996), "*Processing of Fine Mineral Powders*", February, Seminer notları.

Bayraktar T.C., (1979), "*Cevher Hazırlamada Zenginleştirme Öncesi İşlemler*", İTÜ Maden Fakültesi Yayını.

Kemal M., Çiçek T., Zorlubaş T., (1996), "İnce ve Çok İnce Öğütme", 21. Yüzyıla Girerken Türkiye Madenciligi, 20-22 Haziran, Sivas.

Blazy P., (1970), "La Volarisation Des Minerais Proses", Üniversitair de France, 108, Boulevard Saint Germain, Paris.

Taggart A.F., (1960), "Handbook of Mineral Dressing", 7. Print John Wiley and Sons Inc.

Kawatra, K.S. (1992), "Comminution Theory and Practice", Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc. Littleton, CO.

Öner, M., (1996), "*Çimento Endüstrisinde Eski Düşünceler Yeni Öğütme Teknolojilerine Dönüşüyor*", Çimento ve Beton Dünyası, TÇMB, Temmuz, Yıl:1, Sayı:2.

