

YÜKSEK BASINÇLI MERDANELİ DEĞİRMENLER

High Pressure Grinding Rolls

Namık A.AYDOĞAN^m
Levent ERGÜNⁿ

ÖZET

Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerin (YBMD) çimento öğütme devrelerinde kullanılmasıyla özgül enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılmaktadır. Çimento endüstrisindeki başarı ekipmanın mineral endüstrisinde de kullanımını gündeme getirmiştir. Bu yazıda, YBMD'ler hakkında temel bilgiler verilerek avantaj ve dezavantajları tartışılmaktadır. Ayrıca, çimento endüstrisinde kullanılan devre türleri sunulmakta ve ekipmanın mineral endüstrisindeki uygulamaları konusunda da bilgiler verilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Öğütme, Çimento Öğütme.Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmen, Enerji Tasarrufu

ABSTRACT

With the introduction of high pressure grinding rolls (HPGR) in cement grinding circuits, energy consumption has been reduced significantly. The successful applications in cement industry led to promising applications of HPGR in mineral industry. In this paper, principles, advantages and disadvantages of HPGR operation are discussed. Circuit configurations in cement grinding as well as mineral industry applications are also described.

Keywords: Grinding, Cement Grinding, High Pressure Grinding Rolls, Energy Saving

1. GİRİŞ

Yığın halindeki malzemeyi ezerek ufalama fikri ilk defa Carey (1934) tarafından ortaya atılmıştır. Carey'in görüşleri daha sonra Rumpf vd. (1965) tarafından tekrar irdelenmiş ve Schönert (1979) kırılğan malzemelerin ufalanmasında enerjinin verimli kullanımı açısından en etkili yöntemin malzeme yığınının karşılıklı iki levha arasında yüksek basınçlar altında sıkıştırılması olduğunu göstermiştir.

Schönert vd. (1984) bu prensibe dayanarak yüksek kapasitede çalışmanın en etkin yolunun tanelerin oluşturduğu yatağın ters yönde dönen iki merdane tarafından sıkıştırılması olduğunu belirtmektedir. Bu görüşe dayanılarak, Schönert tarafından geliştirilmiş olan yüksek basınçlı merdaneli değirmenler (YBMD) 1985'ten bu yana endüstride kullanılmaktadır.

Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler ters yönde dönen iki merdaneye sahip olup merdanelerden birisi sabit bir yatağa oturtulmuşken diğeri hidrolik bir sistem aracılığıyla sabit merdaneye doğru itilmektedir.

Basınç, taoyut küçültme işlemi kontrol eden en önemli parametredir. YBMD'nin hidrolik basınç birimleri, merdaneler arasından geçen malzeme yatağı üzerinde 50 MPa'dan daha yüksek basınç yaratabilmektedir. Sıkıştırılmış malzeme yatağının yığın yoğunluğu, malzemenin mutlak yoğunluğunun %70'i veya üzerine ulaşmaktadır. Malzeme, ekipmanı sıkıştırılmış bir kek formunda terk etmekte ve çoğu öğütme devresinde bu kek dağıtılıp sınıflandırılmaktadır.

Kekin dağıtılması için harcanan enerji gözönüne alındığında bile özgül öğütme enerjisi bilva.li değirmenlerde harcananın yarısı kadar olmaktadır (Schönert vd., 1984). Ayrıca YBMD'nin malzemeyi mineral faz sınırlarından kırması daha iyi serbestleşme sağlamakta ve mikro çatlaklı yapı özellikle liç işlemlerinde verimi arttırmaktadır. YBMD ürünüde yüksek oranda mikro çatlakların oluşması standart Bond iş indeksinin de azalmasına neden olduğundan bir sonraki öğütme işlemi için de önemli avantaj sağlamaktadır (Battersby vd., 1993).

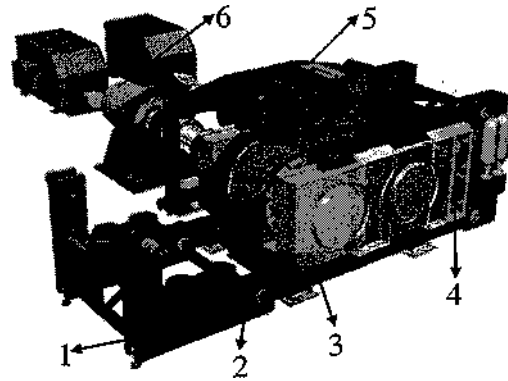
Günümüzde daha çok çimento sanayinde kullanılan YBMD'ler, mineral endüstrisinde de özellikle üçüncül kırıcıların, çubuklu değirmenlerin ve yarı otojen değirmenlerin yerini alma potansiyeline sahiptir. Uygulama alanları Çizelge 1 'de verilmektedir.

Çizelge 1. YBMD'lerin Endüstriyel Kullanım Alanları (Sergeant, 1995)

Uygulama alanları	%
Klinker	62,8
Kireçtaşı	18,5
Cüruf	7,7
Cevher	6,8
Diğer	4,2

2. EKİPMANIN TEMEL BİLEŞENLERİ

YBMD'lerin altı temel bileşeni Şekil 1'de verilmektedir.



1. Çerçeve
2. Merdaneler ve astarlar
3. Merdane yatak hazneleri
4. Basınç birimleri
5. Besleme birimi
6. Tahrik birimi

Şekil 1. Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerin genel görünümü

2.1. Çerçeve

YBMD'ler oluşturmakta oldukları yüksek basınçlardan ve mekanik vibrasyondan dolayı güçlü bir temele monte edilmiş, birbirlerine civatalarla bağlı kirişlerden oluşturulmuş sağlam bir çerçeveye oturtulmuştur.

Özellikle hareketli merdanelerin rahatlıkla kayabilmesi için merdane yatak hazneleri alt ve üst çerçeveye bir ray sistemiyle bağlanmıştır.

2.2. Merdane Yatakları

Her iki merdane de iki ucundan bir hazne içerisine oturtulmuş rulman sistemine bağlıdır. Sabit merdane, yatak haznelerinin oturtulduğu ray sistemi içinde belirli bir noktaya sabitlenmişken hareketli merdanenin bağlı olduğu yatak hazneleri ise ray sisteminde doğrusal olarak hareket edebilmektedir. Besleme malzemesi üzerinde yaratılacak basınç, hareketli merdane yatak haznesinin hidrolik basınç pistonları tarafından itilmesiyle sağlanmaktadır. Hareketli merdanenin her iki ucunun sabit merdaneye göre konumunu da düzenleyen rulman yataklar, toz girişini ve yağ sızıntılarını önleyecek koruma sistemine sahiptir.

2.3. Basınç Sistemi

Basınç birimlerinin temel görevi hareketli merdane vasıtasıyla besleme malzemesi üzerinde basınç yaratmaktır. Sistemin temel parçaları şunlardır:

- Hidrolik silindirler
- Pistonlar
- Nitrojen tüpler
- Güvenlik supapları

Öğütülecek malzeme üzerine hareketli merdane vasıtasıyla iletilecek olan kuvvet merdaneye hidrolik silindirlerle kazandırılmaktadır. Hareketli merdane yataklarının herbirinde tek ya da ikişer hidrolik silindir bulunmakta olup beslemedeki değişikliklere ve çalışılmak istenen basınç ve-veya merdaneler arası açıklık değerlerine göre merdanenin ileri geri hareketini sağlamaktadırlar. Ayrıca hareketli merdane yatakları önüne konan pabuçlar merdanelerin birbirlerine temasını önlemektedir.

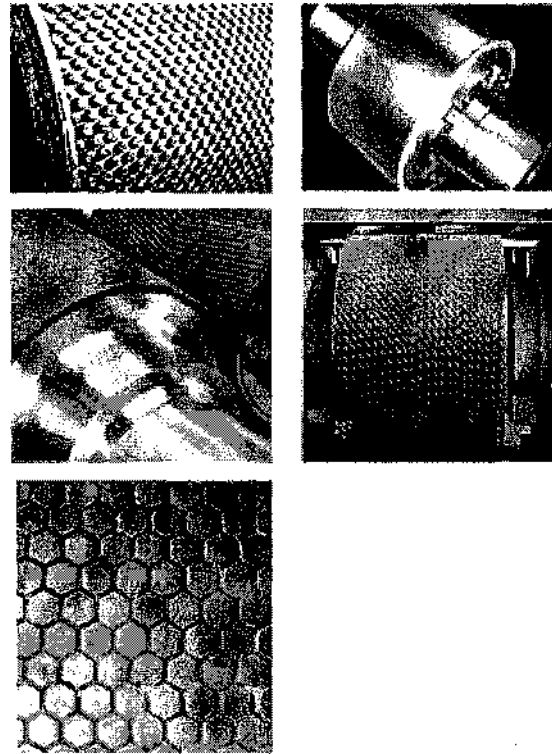
Basınç sisteminin temel parçalarından bir diğeri olan nitrojen tüpler ise basınç sistemine ayarlanabilir ölçülerde esneklik sağlamaktadır. Hidrolik silindirlerde belirli basınç değerlerinin üstüne çıkıldığı durumlarda devreye girmekte ve sistemde oluşan fazla basıncı üzerinde toplayarak sistemin hasar görmesini engellemektedir.

2.4. Merdaneler ve Astar Tipleri

Sistemin sürekliliğini sağlamak ve servis ömrünün uzatılması açısından merdane yüzeylerindeki aşınmalardan kaynaklı duraklamaların azaltılması oldukça önemlidir. Merdane yüzeylerinin aşınma hızı sadece imal

edildikleri malzemeye bağlı olmayıp yüzey profiline de bağlıdır (Bock ve Kalksteinwerke, 1998). Ayrıca besleme malzemesinin sertliği ve tane boyu dağılımı ve malzeme üzerinde yaratılan basınç, astarların aşınması üzerine etkili olan diğer parametrelerdir. Üretici firmaların astarlardaki aşınma için verdikleri aralık 0,1 ile 0,25 g/t arasında değişmektedir. Pürüzlü merdane yüzeyleri aşınmayı azalttığı gibi besleme boyut dağılımına bağlı olarak kavrama açısını arttırmak suretiyle kapasitede de bir artış sağlamaktadır (Schönert ve Lubjuhn, 1993). Farklı merdane yüzey profil örnekleri Şekil 2'de verilmektedir.

Kullanım amaçlarına göre merdane boy, çap ve çizgisel hızları değişmektedir. Merdane boyu ve çizgisel hızı YBMD'in daha çok kapasitesini etkileyen parametreler olurken merdane çapı besleme malzemesi boyut dağılımına uygun kavrama açısının oluşturulması üzerinde etkili olan bir parametredir.



Şekil 2. Farklı merdane yüzey profilleri

2.5. Besleme Sistemi

YBMD'ler boşularak beslendikleri için merdaneler arası boşluğa kadar malzeme akışı bozulmadan ve kesilmeden devam etmelidir. Bu

konuda karşılaşılan en önemli sorun malzemenin merdaneler arasında sıkışması esnasında taneler arasındaki havanın yukarıya doğru hareket ederek malzeme kolonunu parçalamasıdır (Mehra, 1998). Bu sorunun üstesinden gelebilmek için farklı besleme birimleri tasarlanmıştır.

2.6. Tahrik Birimi

Boyutlarına bağlı olarak YBMD'lerde 100-4000 kW aralığında değişen sabit ya da değişken hızlı motorlar kullanılmaktadır. Motorlardan elde edilen tork merdanelere seyyar dişli sistemleri, kaplinler ve şaftlar vasıtasıyla iletilmektedir.

Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerin tasarım parametreleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmen Tasarım Parametreleri

Parametre	Minimum	Maksimum
Merdane Çapı (mm)	750	2500
Merdane Boyu (mm)	260	1800
Merdane Çizgisel Hızı (m/sn)	0.5	2.0
Özgül Öğütme Kuvveti (kN/m ²)	2000	8500
Motor Gücü (kW)	100	4000

Özgül öğütme kuvveti : hidrolik silindirlere yaratılan kuvvetin merdane çapı ve boyuna oranı (Schönert ve Lubjuhn, 1993).

3. ÖĞÜTME MEKANİZMASI ve KAPASİTE

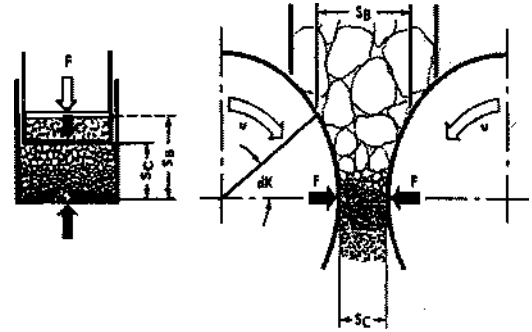
3.1. Öğütme Mekanizması

Schönert (1979) bir malzemenin öğütme ekipmanlarındaki kırılma özelliklerini belirleyen parametreleri şöyle sıralamaktadır:

- Uygulanan kuvvetin büyüklüğü
- Kuvvetin temas ettiği yüzey alanı
- Yükleme hızı
- Yüklemenin yapıma şekli ve tane üzerine kaç noktadan yapıldığı
- Malzeme üzerinde yapılan iş (kuvvet x yerdeğiştirme)
- Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri

Merdaneli değirmenler, özellikle ufalama için kullanılan kuvvetin büyüklüğü ve yüklemenin

yapılma şekli açısından diğer kırma ekipmanlarına göre avantajlı bir kırma mekanizmasına sahiptir. YBMD'nin kendine özgü kırma mekanizması tanelerden oluşmuş bir yatağın yüksek basınçlar altında ezilmesi biçimindedir. Merdaneli değirmenlerde meydana gelen ufalama işlemi bir silindir kap içerisinde malzeme yatağının piston presle ezilmesiyle kesikli olarak temsil edilebilmektedir (Schönert ve Knobloch, 1984). Otte (1988) bu benzerliği şöyle açıklamaktadır (Şekil 3): Silindir bir hücre içerisinde S_b yüksekliğine sahip malzeme yatağı pistonla sıkıştırılmaya başlanır. Yük altındaki malzeme yatağının yüksekliği S_c 'ye kadar düşer. Basınç yükseldikçe taneler yataktaki boşluklara doğru sıkıştırılır ve böylece kırılma gerçekleşir. Eğer basınç değerleri yeterince yüksekse silindir hücre içerisindeki malzeme kek formuna gelmektedir.



Şekil 3. Silindir hücre ve merdaneler arasında tane yatağı kırma işlemi

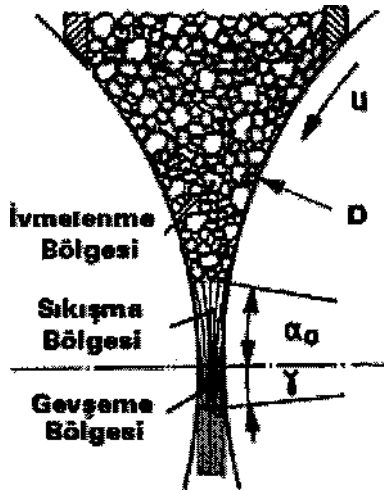
Yük, malzeme üzerine öğütme ekipmanı ile doğrudan temasla aktarılabilineceği gibi merdaneli değirmenlerde olduğu gibi komşu taneler yardımıyla da aktarılabilir. Yatak oluşturmuş bir malzeme yığını yük altına sokulursa taneler arası etkileşimden dolayı gözönüne alınan bir tane, etrafındaki diğer tanelerle temas ettiği her noktadan yük altına girmektedir. Bu şekilde yapılan boyut küçültme işlemine tane yatağı kırma ya da taneler arası kırma adı verilmektedir. Boğularak beslenen konik ve çeneli kırıcılarda da böylesi bir ufalama işlemi gerçekleşmektedir. Merdaneli değirmenlerin bunlardan en büyük farkı yatağa uygulanan basıncın çok yüksek olmasıdır.

Sergeant (1995) yüksek basınç altında çok eksenli kırılmanın tek eksenli kırılmaya göre avantajlarını şöyle sıralamaktadır:

Yüksek enerji kullanma kapasitesi
Daha ince ürün elde edilebilmesi
Üründe mikro çatlaklar oluşturmamasından dolayı bir sonraki öğütme işleminde enerji tüketimini düşürmesi
Kübik malzeme üretmesi

- Gerilimi mineral fazlarında yoğunlaştırdığından daha yüksek serbestleşme sağlaması

Schönert ve Lubjuhn (1993) merdaneler arası boşluğu ivmelenme, sıkışma ve gevşeme bölgeleri olmak üzere üç bölgeye ayırmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Merdaneler arası boşlukta oluşan bölgelerin şematik görünümü

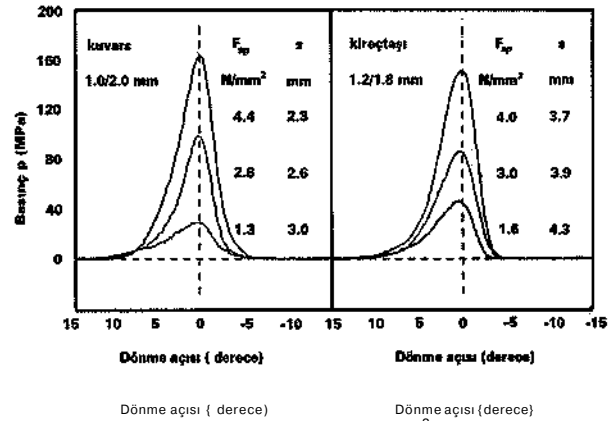
En üstteki ivmelenme bölgesi beslemenin merdane üzerine temas ettiği noktaya belirlenmiş yatay düzlem ile sıkışma açısının (α) belirlediği düzlem arasında uzanmaktadır. Bu bölgede öğütülmeye başlanan malzeme, ivmelenecek merdane hızına yakın bir hıza ulaşarak sıkışma bölgesine girmektedir. Tanelerin ivmelenmesini sağlayan kuvvetler, malzemeyle merdane yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvveti ve malzeme üzerine etkiyen yerçekimi kuvvetidir. Bu kuvvetler ne kadar büyük olursa malzemenin sıkışma bölgesine giriş hızı da o kadar büyük olmaktadır. Bu da ekipmanın kapasitesini doğrudan etkilemektedir.

İvmelenme bölgesinin bitiminde sıkışma bölgesi başlamakta ve sıkıştırılmış yatak kırma işlemi bu bölgede gerçekleşmektedir. Sıkışma bölgesi tam olarak kavrama (sıkışma) açısının belirlediği düzlemle merdanelerin birbirine en yakın olduğu

düzlem arasındaki bölge olarak tanımlanmaktadır.

Malzeme en yüksek basınca, sıkışma bölgesinin çıkışında maruz kalmakta ve bu noktadan sonra üzerine etkiyen normal kuvvet azalmaya başlamaktadır. Sıkışma bölgesinin bittiği nokta ile normal kuvvetin sıfır olduğu noktanın arasında kalan bölge, gevşeme bölgesi olarak tanımlanmaktadır.

Schönert ve Lubjuhn (1993) tarafından, sıkışma (α) ve gevşeme (γ) açıları ve merdaneler arasındaki basınç diagramı merdane yüzeyindeki basınç ölçümleriyle deneysel olarak belirlenmiştir (Şekil 5).



F_{sp} = özgül öğütme kuvveti (N/mm²)
s = merdaneler arası açıklık (mm)

Şekil 5. Merdane merkezindeki ortalama basınç diagramı

Bu parametreler aynı zamanda YBMD'den elde edilecek ürünün tane boyunu belirleyen temel işlem parametreleridir.

3.2. Kapasite

Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerde kapasiteyi belirleyen temel faktörler, merdanelerin çizgisel hızı, merdane boyu, merdaneler arası açıklık ve sıkıştırılmış malzemenin yığın yoğunluğudur. Merdaneler ile malzeme arasında bir kayma olmadığı düşünülürse teorik olarak kapasite aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$M = 3600u * L * s * p_s \quad (1)$$

Burada;

- M : Kapasite (t/s)
u : Merdanenin çizgisel hızı (m/sn)
L : Merdane uzunluğu (m)
s : Merdanelerin birbirlerine en yakın oldukları mesafe (m)
 p_s : Kek yoğunluğu (t/m)

4. YBMD DEVRE TÜRLERİ

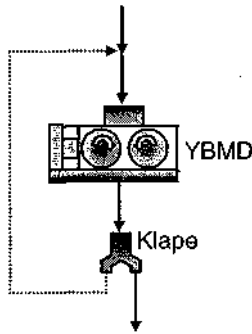
YBMD'lerin, öğütülen malzemeye ve öğütme amacına göre farklı devre tasarımlarıyla karşılaşılmaktadır. Karşılaşılan devre tasarımlarına göre sistemde aşağıda sıralanmış olan ek üniteler yer alabilmektedir.

Kurutucu
Nemlendirici
Dağıtıcı
Stoklama

4.1. Çimento Sanayinde Uygulanan Devre Türleri

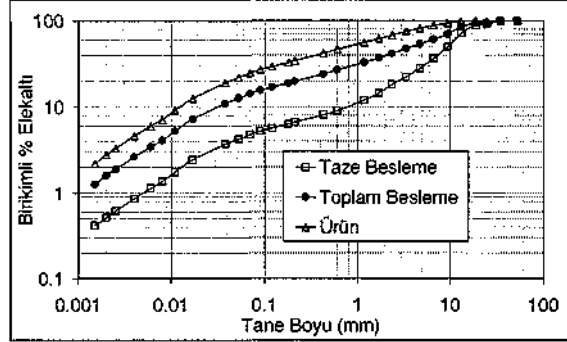
4.1.1. Açık Devre Ön Öğütme

Bu devre tasarımında YBMD açık devre ön öğütme ekipmanı olarak kullanılmaktadır. Açık devre YBMD'nin ürünü, bir sonraki öğütme ekipmanının ki bu genelde bilyalı değirmendir, beslemesi olmaktadır. YBMD beslemesinin iri ve dar dağılımlı olduğu durumlarda merdaneler arasında malzeme yatağı oluşturmakta zorluk çekilmekte ve bu da öğütme performansını düşürdüğü gibi önemli mekanik sorunlar da yaratmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için YBMD ürününün bir kısmı tekrar beslenmektedir. Devrenin basitleştirilmiş akım şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Açık devre

Bu devre türüne örnek olarak yapılmış çalışmada elde edilen tane boyutu dağılımları Şekil 7'de ve YBMD'ye ait tasarım ve işlem parametreleri ise Çizelge 3'te verilmektedir (Aydoğan, 2002).



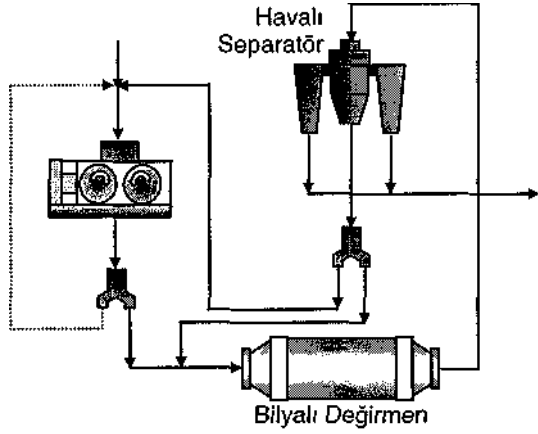
Şekil 7. Açık devre çalışan bir YBMD'nin etrafında oluşan tane boyut dağılımları

Çizelge 3. Örnek Açık Devredeki YBMD'ye Ait Tasarım ve İşlem Parametreleri

Merdane Çapı (mm)	1200
Merdane Uzunluğu (mm)	550
Merdanenin Çizgisel Hızı (m/sn)	1.48
Taze Besleme (t/s)	71.51
Toplam Besleme (t/s)	136
Merdaneler Arası Açıklık (mm)	13.5
Çalışma Basıncı (bar)	134
Toplam Motor Gücü (kW)	600

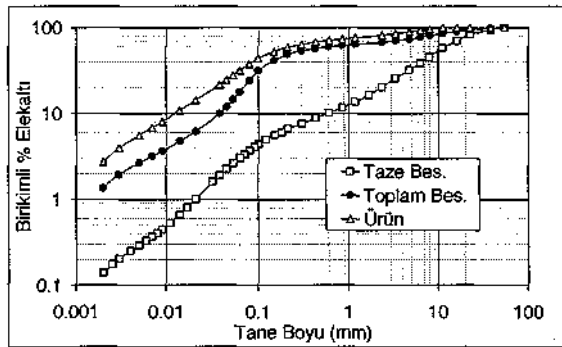
4.1.2. Hibrit Öğütme

Hibrit devre tasarımlarında bilyalı değirmen çıkışının sınıflandırılması sonucunda elde edilen iri tane boyulu akışın bir kısmı YBMD'ye diğer kısmı ise bilyalı değirmene geri beslenmektedir. YBMD'ye beslenen sınıflandırıcı alt akımının merdaneler arasında istenilen özelliklerde bir yatağı oluşturamaması durumunda YBMD çıkışının bir kısmı da geri beslenebilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Hibrit devre

Bu devre tasarımına örnek tane boyutu dağılımları Şekil 9'da ve YBMD'ye ait tasarım ve işlem parametreleri ise Çizelge 4'te verilmektedir (Aydoğan, 2002).



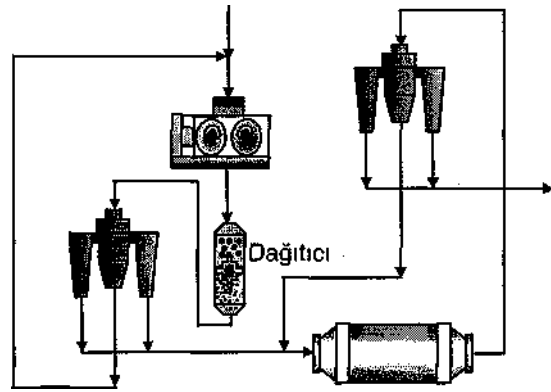
Şekil 9. Hibrit devre çalışan YBMD'nin etrafında oluşan tane boyutu dağılımları

Çizelge 4. Örnek Hibrit Devredeki YBMD'ye Ait Tasarım ve İşlem Parametreleri

Merdane Çapı (mm)	1400
Merdane Uzunluğu (mm)	540
Merdanenin Çizgisel Hızı (m/sn)	1.58
Taze Besleme (t/s)	85
Toplam Besleme (t/s)	251
Merdaneler Arası Açıklık (mm)	25
Çalışma Basıncı (bar)	127
Toplam Motor Gücü (kW)	460

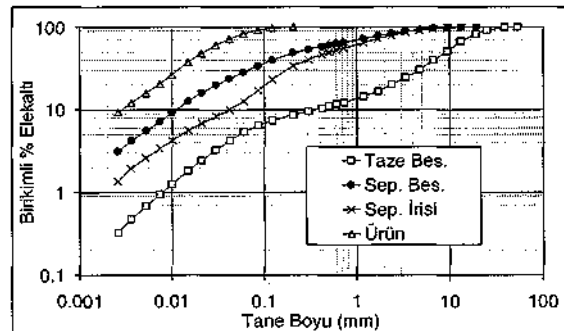
4.1.3. Kapalı Devre Ön Öğütme

YBMD'nin bir sınıflandırıcıyla kapalı devre çalıştırıldıktan sonra devre ürününün biyalı değirmene beslendiği devre tasarımıdır. Bu tür devrelerde YBMD çıkışının dinamik sınıflandırıcılara beslenebilmesi için kekin (YBMD çıkışı öğütülmüş malzeme) dağıtılması gerekmektedir. Kimi öğütme devrelerinde ise dinamik separatörler yerine V-separatörler kullanılmaktadır. V-separatör kullanılan devrelerde sınıflandırıcının çalışma prensibi gereği dağıtıcı kullanılmamaktadır (Şekil 10). Çimento öğütme devrelerinde kullanılan sınıflandırıcılar Duda (1985) tarafından detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 10. Kapalı devre ön öğütme

Bu devre türüne örnek olarak yapılmış çalışmada elde edilen YBMD etrafındaki tane boyu dağılımları Şekil 11'de ve YBMD'ye ait tasarım ve işlem parametreleri ise Çizelge 5'te verilmektedir (Aydoğan, 2002).



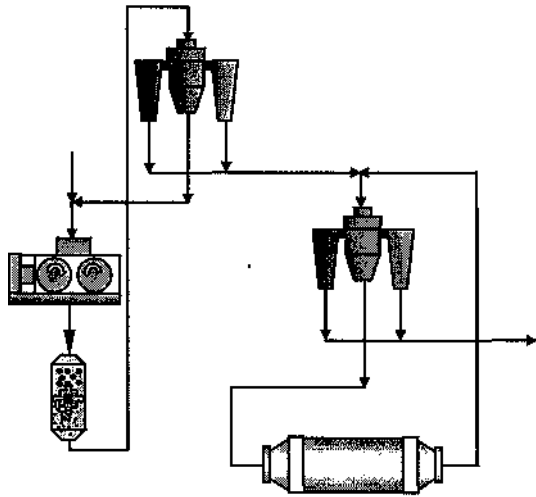
Şekil 11. Kapalı devre ön öğütme yapan bir YBMD'nin etrafında oluşan tane boyutu dağılımları

Çizelge 5. Örnek Kapalı Devredeki YBMD'ye Ait Tasarım ve İşlem Parametreleri

Merdane Çapı (mm)	1000
Merdane Uzunluğu (mm)	1450
Merdanenin Çizgisel Hızı (m/sn)	1.50
Taze Besleme (t/s)	111
Toplam Besleme (t/s)	498
Merdaneler Arası Açıklık (mm)	29
Çalışma Basıncı (bar)	117
Toplam Motor Gücü (kW)	1041

4.1.4. Yarı Son Öğütme

Yarı son öğütme devre tasarımında YBMD bir havalı sınıflandırıcıyla kapalı devre çalıştırılır. YBMD - sınıflandırıcı kapalı devre ürünü bilyalı değirmen kapalı devresinde sınıflandırıcıya beslenir. Böylelikle son ürünün bir kısmı bilyalı değirmen devresinden elde edilirken diğer kısmı ise YBMD devresinden elde edilmektedir. YBMD çıkışının sınıflandırıldığı bu devrede de dağıtıcı - dinamik sınıflandırıcı veya V-separatör kullanılmaktadır. Devrenin basitleştirilmiş akım şeması Şekil 12'de verilmektedir.

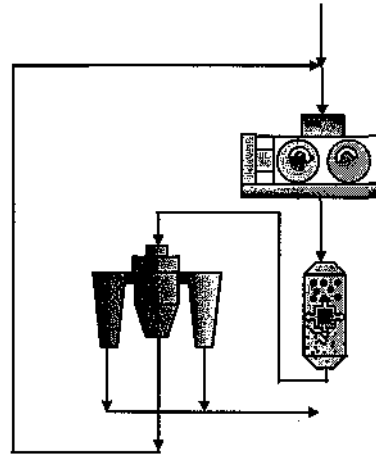


Şekil 12. Yarı son öğütme

4.1.5. Kapalı Devre Son Öğütme

Son ürünün kapalı devre YBMD'le sağlandığı devre tasarımıdır. Bu devre tasarımında elde edilecek ürün tane boyutu dağılımının dar olması betonda istenilen dayanımların elde edilmesini

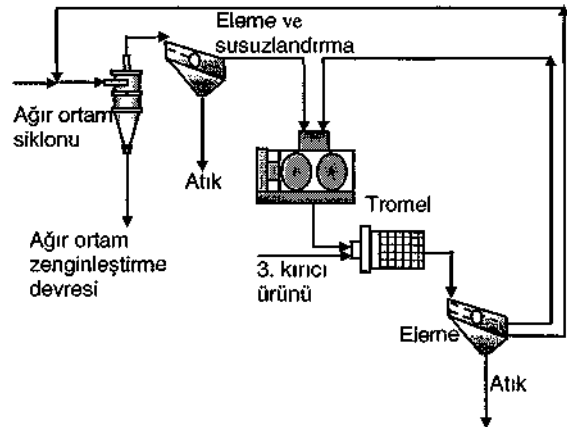
engellediğinden yaygın olarak kullanılan bir tasarım değildir (Şekil 13).



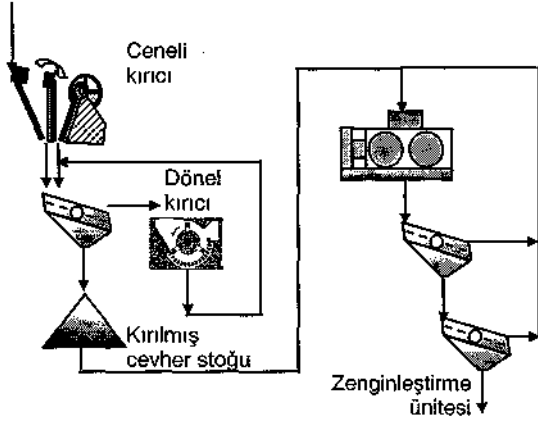
Şekil 13. Kapalı devre son öğütme

4.2. Mineral Endüstrisinde Kullanılan Devre Türleri

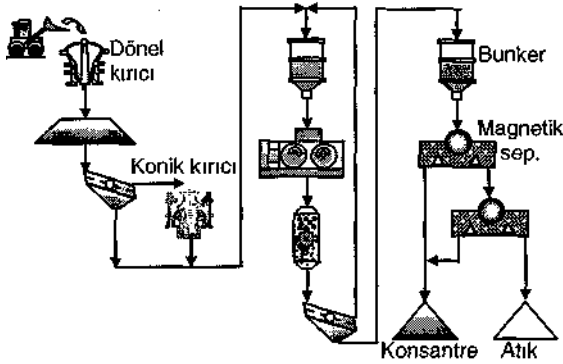
Mineral endüstrisinde YBMD'ler daha çok eleklerle kapalı devre ya da açık devre olarak kullanılmaktadırlar. Cevher hazırlama tesislerinde yaygın olarak demir, bakır ve altın cevherlerinin ve kimberlitin öğütülmesinde kullanılmaktadırlar. Aşağıdaki basitleştirilmiş akım şemaları (Şekil 14-17) YBMD'lerin kullanım alanlarını göstermek için seçilmiş örneklerdir.



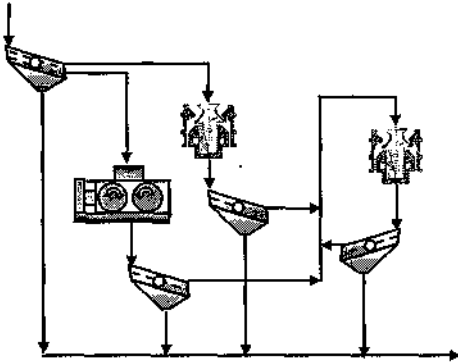
Şekil 14. Kimberlit tekrar öğütme devresi (KHD catalogue)



Şekil 15. Altın cevheri öğütme devresi (KHD catalogue)



Şekil 16. Demir zenginleştirme tesisi (KHD catalogue)



Şekil 17. Bakır cevheri öğütme devresi Thompsen (1997)

5. YBMD'LERİN AVANTAJLARI

5.1. Enerji Tasarrufu

Schönert (1988) laboratuvar koşullarında, kapalı devre YBMD'nin bilyalı değirmenlere göre sağladığı enerji tasarrufunun %40-50 olduğunu

göstermiş ve bu enerji tasarrufunun endüstriyel boyutlarda %20-35 olacağını öngörmüştür. Patzelt (1992), var olan kapalı devre bilyalı değirmen öğütme devresini farklı merdaneli değirmen devre konfigürasyonlarıyla karşılaştırmış (Çizelge 6) ve sonuç olarak öğütme devresinin tasarımına bağlı olarak kapasitede %30-200 arası artış ve enerji harcamasında ise %10-50 arasında bir azalma sağlandığını belirtmiştir (Feige, 1993). YBMD'lerde öğütmenin esas olarak malzeme yatağında gerçekleşmesi enerji kaybını azaltmaktadır. Aktarılan ortamla çalışan değirmenlerde enerjinin büyük bir bölümü, öğütücü ortamın birbiriyle ve astarla çarpışmasında harcanmaktadır. Bu da enerji kullanma veriminde oluşan farkı ortaya koymaktadır.

Wüstner (1986), mevcut bir çimento devresini yarı-son devre tasarımına çevirerek iki devre arasında yapmış olduğu karşılaştırmada yarı-son devre tasarımının özgül ufalama enerjisinin %30 daha az olduğunu belirtmektedir.

Bleifuss vd. (1997), YBMD ve çubuklu değirmen ürünlerinin bilyalı değirmen beslemesi olarak kullanılması durumunda bilyalının harcayacağı enerjilerin karşılaştırılması amacıyla bilyalı değirmen beslemelerine yapılan Bond iş indeksi sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Dört farklı takonit numunesi ile yapılan deneylerin sonucunda (Çizelge 7) YBMD ürününün iş indeksi değerinin yaklaşık olarak %10 daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

Çizelge 6. Farklı Merdaneli Değirmen Devre Konfigürasyonlarının Kapalı Devre Bilyalı Değirmenle Karşılaştırılması (Patzelt, 1992)

Devre Tasarımı	Kapasite Artışı (%)	Enerji Tasarrufu (%)
Açık devre ön öğütme	30-40	10-20
Hibrit öğütme	70-80	10-30
Kapalı devre ön öğütme	100-200	30-40
Kapalı devre son öğütme	-	35-50

Çizelge 7. Takonitik Demir Cevheri İçin 75 μ m Ayrım Boyutunda Bond İş İndeksi Değerleri (kWh/t) (Bleifuss vd. ,1997)

Numune No	Merdaneli Değirmen Çıkışı	Çubuklu Değirmen Çıkışı
1	13,6	14,8
2	17,2	19,3
3	15,7	17,4
4	14,4	16,1
Ortalama	15,2	16,9

YBMD ürününün bilyalı değirmen beslemesi olarak kullanılması durumunda, bilyalı değirmen beslemesi konvansiyonel yöntemlere göre daha ince olmakta ve ayrıca besleme mikro çatlaklar içerdiğinden bilyalı değirmenin ton başına harcayacağı enerji de düşmektedir.

5.2. Cevher Zenginleştirme İşlemlerinde Sağladığı Avantajlar

Kullanımları cevher hazırlama tesislerinde de artan YBMD'ler daha çok çubuklu ve yarı otojen değirmenlerin yerini almaktadır. Öğütme devrelerinde sağladıkları avantajların yanı sıra liç edilebilirlikte ve serbestleşme verimlerinde önemli ölçülerde avantajlar sağlamaktadır.

Esna-Ashari ve Kellerwessel (1989) YBMD ürününde oluşan mikro çatlakların altın liçinde, özellikle iri tane boyutlarında, verimi arttırdığını göstermiş ve siyanür çözeltilsinin beslemedeki mikro çatlaklar sayesinde tanelerin içine kolaylıkla nüfus edebildiğini bu sayede hem altın veriminin yükseldiğini hem de liç hızının arttığını bildirmişlerdir. Esna-Ashari ve Kellerwessel'nin elde ettiği sonuçlar Çizelge 8'de görülmektedir.

YBMD bakır cevherlerinde ilk defa 1995'te Cyprus Sierrita şirketi tarafından kullanılmıştır. YBMD'nin bu tesisteki performansını değerlendirmek amacıyla Thompsen (1997) ekipmanın devreye alınmasıyla ortaya çıkan farkları değerlendirmiştir. Bu çalışma kapsamında flotasyon veriminin ince tane boyutlarında aynı kaldığını yani mikro çatlaklı yapının flotasyon üzerinde bir etkisinin olmadığını gözlemlenmiştir.

Çizelge 8. Çeşitli Tane Boyutu Aralığındaki Altın Verimlerinin Farklı Öğütme Devreleri İçin Karşılaştırılması (Esna-Ashari ve Kellerwessel,1989)

Tane Boyu (mm)	% Verim	
	Konvansiyonel	Merdaneli Değirmen
+1,0	33,1	32,7
-1,0+0,5	28,8	96,4
-0,5+0,25	46,2	97,4
-0,25+0,125	93,5	98,5
-0,125+0,063	99,1	99,1
-0,063	98,9	99,0

6. YBMD'LERİN DEZAVANTAJLARI

YBMD'ler çalışma prensipleri gereği bazı dezavantajlara sahiptir. Malzemenin ufalanabilmesi için kullanılan yüksek seviyeli basınçlar ekipmanda sıklıkla mekanik sorunlara ve ayrıca öğütülen malzemeye de bağlı olarak merdane yüzeylerinde hızlı bir aşınmaya yol açmaktadır. Bunlarda ekipmanın bakım süresini düşürmektedir.

Kapalı devre çalışan YBMD'lerde karşılaşılan en önemli dezavantaj, öğütülmüş malzemenin değirmeni kek halinde terk etmesinden kaynaklı sınıflandırma sorunudur. Kekin verimli bir şekilde dağıtılamaması, istenilen inceliğe ulaşmış malzemenin sınıflandırıcının iri akışına gelmesine neden olmaktadır.

Malzemenin merdaneler arasında yüksek basınçlara maruz kalmasından dolayı beslemedeki su ve taneler arasındaki hava sıkıştırılmış malzeme yatağının parçalanmasına neden olabilmektedir. Öğütme verimini düşürecek olan bu etkiyi azaltmak için beslemenin nem içeriğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

7. SONUÇ

YBMD'lerin kırma mekanizmalarından kaynaklanan bir çok avantajı bulunmaktadır. Malzeme yatağı üzerine aktarılan kuvvet doğrudan uygulandığından ve taneler arasındaki etkileşim enerjinin büyük bir bölümünün kırma işlemine harcanmasını sağlamaktadır. YBMD ürününün yüksek oranda mikro çatlak içermesi liç işlemlerinin verimini arttırdığı gibi malzemenin daha sonraki boyut küçültme işlemlerinde öğütülebilirliğini de arttırmakta bu da enerji tassarufu sağlamaktadır.

Ekipmanın mevcut tesislere kolaylıkla adapte edilebilmesi önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Ekipmanın sağlamış olduğu bu temel avantajlar nedeniyle özellikle çimento sanayinde olmak üzere cevher hazırlama tesislerinde de kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Çimento öğütme devrelerindeki farklı devre türlerine bakıldığında genel olarak yapılan işin YBMD tarafından yapılan kısmı arttırıldıkça öğütme devresinin verimi artmaktadır.

YBMD'lerin en önemli dezavantajı yüksek basınçlarda çalıştırılması nedeniyle ortaya çıkan mekanik sorunlar ve aşınma olarak görünmektedir.

KAYNAKLAR

Aydoğan, N.A., 2002; "Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenlerin Matematiksel Modellemesi", Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi.

Battersby, M.J., Kellerwessel, H. and Oberhauser, G., 1993; "High Pressure Particle Bed Comminution of Ores and Minerals", Proceedings of the XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney, Australia, 23-28 May, 1403-1407.

Bleifuss, R. L., Goetzman, H. E., Benner, B. R. and Zhong, S., 1997; "Evaluation of a High Pressure Roller Press for Taconite Comminution", (Editors: I. S. Kawatra), Comminution Practice, SME, Denver, Chapter 18, 127-135.

Bock, K., Kalksteinwerke, R., 1998; "Utilisation of Roller Presses", World Cement, November, 66-71.

Carey, W.F., 1934; "Trans Inst. Chem. Engrs. 12,179/85.

Duda, W.H., 1985; "Cement - Data - Book" International Process Engineering in Cement Industry, French and European Pubns; ISBN: 0828802041, 3. edition 1.

Esna - Ashari, M. and Kellerwessel, H., 1989; "Interparticle Crushing of Old Ore in Roller Presses Improves Leaching", Randol Gold Forum 88, 141-146.

Feige, F., 1993; "Current State of Development in High Compression", ZKG, (11), 586-595.

KHD Humboldt Wedag Catalogue, "Roller Presses - Crushing and Grinding for Ore and Minerals Processing", 1-30

Mehra, S. M., 1998; "Slag Grinding by Roller Press - Major Issues", International Journal of Mineral Processing, (53), 87-97.

Otte, O., 1988; "Polycom High Pressure Grinding Principles and Industrial Application", The AusIMM Cobar Branch, Third Mill Operators' Conference, Cobar NSW, 131-136.

Patzelt, N., 1992; "High Pressure Grinding Rolles, a Survey of Experience", IEEE Cement Industry Technical Conference, Dallas/Texas, 180.

Rumpf, H., Schönert, K., v.d. Ohe, W., 1965; "Technische Feinzerkleinerung mit Einzelkornbeanspruchung Zwischen Zwei Flachen, Chemie-Ing.-Technik, 37, (3), 259-264.

Schönert, K., 1979; "Aspects of the Physics of Breakage Relevant to Comminution", Fourth Tewksbury Symposium, University of Melbourne, 3.1-3.30.

Schönert, K., und Knobloch, O., 1984; "Energetische Aspekte des Zerkleinerns Spröder Stoffe", Zement-Kalk-Gips 37, (11), 563-568.

Schönert, K., 1988; "A First Survey of Grinding with High - Compression Roller Mills", International Journal of Mineral Processing, (22), 401-408.

Schönert, K., and Lubjuhn, U., 1993; "Angle of Compression and Throughput in High - Pressure Grinding", ZKG, (2), 34-39.

Sergeant, P. J., 1995; "The High - Compression Roller Mill - An Overview, Colloquium, Interactions Between Comminution and Downstream Processing", Mintek, Randburg, 1-15.

Thompson, L. G., 1997; "Operational Performance of Grinding Rolls at Cyprus Sierrita Corporation", (Editors: I. S. Kawatra), Comminution Practice, SME, Denver, Chapter 15, 107-110.

Wustner, H., 1986; "Energy - Saving with the Roller Press Comminution Process", World Cement, April, 94-96.

**Türkiye'nin İlk
CE Belgeli
Patlayıcı Madde
Üreticisi**



ORICA-NITRO

PATLAYICI MAD. SAN. ve TİC. A.Ş.

Genel Müdürlük
Hülya Sokak No.45, 06700
Gaziosmanpaşa / ANKARA
Tel : 0.312 - 446 16 00 PBX

Fabrika
Lalahan - Odabaşı Köyü Ekimcik
Mevki 06730 Elmadağ/ANKARA
Tel : 0.312 - 865 19 63 PBX

