

YATAY KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMEN: ISAMILL

Öner Yusuf TORAMAN, Serkan ÇAYIRLI*, Bilge ÖKSÜZOĞLU

Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye

ÖZET

Mount Isa Mines ve Netzsch GmbH şirketleri Almanya’da boya endüstrisinde kullanılan yatay Netzsch karıştırmalı değirmenlerden Isamill’i geliştirmişlerdir. Isamill mineral endüstrisinde kullanılan yüksek hızlı karıştırmalı değirmendir. Yüksek kapasiteye sahip olması (100 t/s), çok ince ürün boyutu oluşturması ($d_{80}=7$ μm), düşük maliyetli doğal öğütücü ortam kullanması ve yüksek enerji etkinliği sağlaması Isamill’in önemli avantajlarıdır. Yapılan çalışmalarda Isamill’in bilyalı değirmenlere göre % 75’ten daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Isamill genellikle baz metaller (bakır, kurşun, çinko ve nikel), endüstriyel uygulamalar ve altın prosesi için kullanılmakta olup, konsantrelerin yeniden öğütülmesinde, ince/çok ince öğütmede ve primer öğütmede uygun bir seçenek olmaktadır. Bu derlemede; yatay karıştırmalı bilyalı değirmenler hakkında (ISAMILL) güncel bilgiler ve teknolojiler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yatay karıştırmalı değirmen, Isamill, ince/çok ince öğütme, ürün boyutu

HORIZONTAL STIRRED BALL MILL: ISAMILL

ABSTRACT

Mount Isa Mines and Netzsch GmbH companies have developed Isamill from Netzsch horizontal stirred mills which are used in the paint industry in Germany. Isamill is a high-speed stirred mill used in mineral industry. The significant advantages of the Isamill include: high capacity (100 t/h), creating a very fine product size ($d_{80}=7$ μm), the ability to use low-cost natural grinding media and high energy efficiency. According to the studies carried out, Isamill offers more than 75% energy saving compared to conventional ball mills. It is usually used for base metals (copper, lead, zinc and nickel), industrial applications and gold process and a suitable choice for, fine/ultra-fine grinding, re-grinding of concentrates and primary grinding. In this review, recent information and technologies about horizontal stirred ball mills is presented.

Keywords: Horizontal stirred mill, Isamill, fine/ultra-fine grinding, product size

1. GİRİŞ

Bir cevher hazırlama tesisindeki en önemli süreçlerden birisini mineral tanelerinin serbestleşmesini sağlamak için uygulanacak boyut küçültme (kıırma ve öğütme) işlemleri oluşturmaktadır. Bu işlemler için gerekli enerji ise, işletme maliyetlerinin yaklaşık %70’ini oluşturmaktadır. Kıırma işlemi sonrası öğütülecek cevherin tane boyutu esas alındığında 4 öğütme aşamasından söz edilebilir. Bunlar;

- Ürünün % 80’inin 75 μm altına geçtiği “klasik öğütme”,
- 75-30 μm boyutunda daha ince tane üretmek için gerçekleştirilen “yeniden öğütme”,
- 30-10 μm aralığında ürün elde etmek için uygulanan ve oldukça yeni bir alan olan “ince (fine) öğütme”
- 10 μm altı ürün için gerçekleştirilen “çok ince (ultra fine) öğütme”

Gerek “ince/çok ince” olarak adlandırılan boyutlardaki endüstriyel mineral ihtiyacındaki artış, gerekse yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesi sonucu serbestleşme tane boyutu çok ince olan düşük tenörlü yatakların ve

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 42 33; e-mail: scayirli@nigde.edu.tr

ekonomik değeri olan tesis atıklarının yeniden işleme gerekliliği, ince ve çok ince öğütme aşamasını son derece önemli kılmaktadır [1].

Öte yandan, ince öğütme için konvansiyonel (bilyalı/çubuklu) değirmenlerin çok düşük hızlarda çalışması bu değirmenlerin kullanımında problemler oluşturmaktadır. Bu öğütücülerde değirmen hızı değirmenin merkezkaç hızından (kritik hız) daha düşük olmak zorundadır aksi halde tüm şarj (öğütücü ortam ve malzeme) değirmen gövdesiyle birlikte dönecek ve öğünme işlemi tam manasıyla gerçekleşmeyecektir. Düşük değirmen hızları ise değirmende düşük güç yoğunluğu ile sonuçlanmaktadır. İnce öğütme uygulamaları için düşük güç yoğunlukları ise mineral endüstrisinin gerektirdiği yüksek üretim kapasitelerini karşılayamamaktadır. Bilyalı değirmenlerdeki enerji tüketimi malzemenin 75 µm altı ürün haline öğütülmesi için hızla yükselirken, 30 µm altı öğütmede bilyalı değirmen kullanımı artık ekonomik olmaktan çıkmaktadır. Ayrıca, bilyalı değirmenlerde bilya şarjının etkinliği için 20 mm'den daha büyük öğütücü ortamının kullanılması gerekmektedir. Bu ise, mineral tanelerinin 20 µm'den daha ince boyuta öğütülmesi için oldukça büyüktür [2].

Sonuç olarak, daha düşük enerji tüketimi ile artan kapasiteyi sağlayacak ve farklı öğütme problemlerinin üstesinden gelebilecek değirmenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak üzere, son yıllarda çeşitli araştırma enstitüleri, üniversiteler ve özel şirketler tarafından farklı değirmenler geliştirilmektedir.

Bu derlemede, yatay karıştırmalı değirmen Isamill'in geliştirilme süreci, teknik özellikleri ve uygulamaları hakkında bilgi verilmektedir.

2. KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENLER

Mineral endüstrisinde çok ince öğütmede kullanılan karıştırmalı bilyalı değirmenler (Tablo 1) öğütücü ortam şarjının bir shaft etrafına monte edilmiş çubuk, disk veya spiral vasıtasıyla silindirik bir hazne içerisinde shafta verilen dönme hareketi ile hareket ettirilmesi ve malzeme ile öğütücü ortam (bilya) arasındaki sürtünme ve aşınma ile ufalanmanın gerçekleştirilmesi prensibine dayanmaktadır [3]. Temel tasarımı 1920'lere kadar uzanan bu değirmenler, ilk kez 1960'larda kaolinin öğütülmesinde kullanılmıştır [4]. Bu değirmenler şu anda konvansiyonel bilyalı değirmenlerden daha yüksek enerji yoğunluklarına sahiptir ve sürekli öğütmede öğütücü ortamın nihai üründen ayrılması sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Yüksek verimli karıştırmalı bilyalı değirmenlerindeki aşağıda belirtilen son gelişmeler koloidal gevrek tanelerin çok ince tane boyutlarına öğütülmesini sağlamaktadır:

- Çok ince tane üretimi için 0,10 mm'nin altında çok küçük bilyaların kullanılması [5],
- Bilyaların öğütülmüş üründen ayrılması için yeni tasarımların geliştirilmesi [6] ve
- Merkezkaç ve titreşim gibi ilave kuvvetlerin uygulaması [7].

Karıştırmalı değirmenler çok kontrollü proses parametrelerine sahiptir. Minimum enerji tüketimi ve maksimum kapasite elde etmek için proses parametrelerinin optimize edilmesi gerekir. Öğütmeyi yaklaşık 44 parametrenin etkilediği tespit edilmiştir [9]. Bunlar, tasarım ve işlem parametreleri olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır.

Tablo 1. Mineral endüstrisinde en yaygın kullanılan karıştırmalı değirmenler [8]

Değirmen Türü	Üretici Firma	Ülke
Sala Agitated Mill (SAM)	Metso Group	İngiltere
Tower Mill / Vertimill	Metso Group	İngiltere
Svedala Detritor	Metso Group	İngiltere
IsaMill	Netzsch	Almanya
MaxxMill	Maschinenfabrik	Almanya
ATR-Mill	Alpine AG	Almanya
ANI-Metprotech Mill	Metprotech	Avustralya

2.1. Tasarım Parametreleri

Tasarım parametreleri grubunda;

- değirmenin boy/çap oranı,
- karıştırıcı tipi,
- karıştırıcı konumu ve sayısı,

- karıştırıcı şaft üzerinde bulunan disk veya çubukların boyutları ve
- şaft üzerindeki konumları vb.

değişkenler bulunmaktadır. Tasarımdaki bu değişiklikler değirmen içindeki akış karakterini değiştirmekte ve böylece bilya hareketini düzenlemektedir. Karıştırmalı değirmenler öğütme haznesi ve karıştırıcı geometrisine göre ise;

- “diskli” karıştırmalı değirmen
- “pinli” karıştırmalı değirmen
- “halkalı” karıştırmalı değirmen

olmak üzere üç farklı tasarıma sahiptir [4, 10]. Bunlardan en basit karıştırıcı geometrisine sahip olanı diskli olanıdır.

Bu değirmenlerde enerji aktarımı ise diskli ve halkalı karıştırıcılarda “çekme” kuvveti ile pinli karıştırıcıda ise “yer değiştirme” kuvveti ile karıştırıcıdan bilya ya da ürün üzerine aktarılmaktadır. Pinli karıştırıcıda oluşan güç yoğunluğu diskli karıştırıcıdan daha fazla iken en büyük güç yoğunluğu halkalı karıştırıcıda elde edilmektedir [2].

2.2. İşlem Parametreleri

Öğütme performansını etkileyen işlem parametreleri;

- bilya şekli ve türü,
- karıştırma hızı,
- bilya yoğunluğu,
- bilya çapı ve şarj oranı,
- pülp yoğunluğu ve
- viskozitedir [1, 11, 12]. Aşağıda bunlardan bazıları açıklanmaktadır.

2.2.1. Karıştırma Hızı

Karıştırmalı değirmenlerde öğütme santrifüj kuvvete bağlıdır:

$$F=R.m.\omega^2 \quad (1)$$

Burada;

F: santrifüj kuvveti ($g.cm.sn^{-2}$)

R: dönme yarıçapı (cm)

m: cismin kütlesi (g)

ω : açısal dönme hızı ($radyan.sn^{-1}$)

Karıştırmalı değirmenlerde karıştırma hızının artmasıyla elde edilen ürünün tane boyutu küçülmekte ve değirmenin harcadığı güç artmaktadır. Böylece değirmenin birim hacminde harcanan özgül enerji miktarında bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda istenen ürün tane boyutuna daha kısa sürede ulaşılmakta ve değirmen kapasitesinde artış gerçekleşmektedir. Buna karşın yüksek hızlarda endüstriyel ölçekte tasarımdaki güçlükler nedeniyle optimum bir hız seçimi gerekmektedir [13].

Karıştırmalı bilyalı değirmenlerinin değirmen türüne göre karıştırma hızları değişmektedir. Tower mill (3 m/s), Detritor (11 m/s), Isamill ise (19-22 m/s) karıştırma hızlarında çalışmaktadır.

2.2.2. Bilya Şarj Oranı

Kullanılan bilya boyutu karıştırmalı değirmenlerdeki en önemli parametredir. Bilya boyutu besleme malındaki en iri taneyi kırabilmek için yeterince büyük olmalıdır. Karıştırmalı değirmenlerde bilya boyutu besleme malı d_{80} boyutunun 20-30 katı olmalıdır. Ortam boyutu 1 mm'den 4 mm'ye arttıkça tüketilen enerji miktarı yaklaşık 6 kat artmaktadır [14]. Bilya olarak küçük bilya kullanıldığında elde edilen tane boyutunun incelendiği görülmektedir [15]. Belli bir boyuttan daha küçük bilya kullanıldığında ise besleme malındaki iri taneler öğütülememektedir. Bilya boyutu ile tane boyutu arasındaki optimum oranın 7:1 ile 20:1 aralığında olması gerekmektedir. İri bilya kullanılması durumunda düşük karıştırma hızının, ince bilya kullanılması durumunda ise yüksek karıştırma

hızının öğütme üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir [16]. Düşük karıştırma hızı ve iri besleme malı kullanıldığı zaman bilyaların yoğunluğu azaldıkça (cam, otojen malzeme vb.) yüksek yoğunluklu bilyalara (çelik, demir vb.) oranla öğütme etkinliği azalmaktadır. Bunun nedeni karıştırmalı bilyalı değirmenlerde basma kuvvetinin makaslama kuvveti kadar etkin olmasıdır [13, 17]. Konvansiyonel öğütmelerde şarj oranı yaklaşık % 40 iken karıştırmalı değirmenlerde değirmen iç hacminin % 70-85'i kadar olması daha iyi öğütme enerjisi sağlamaktadır. Aşırı bilya şarjı, dik karıştırmalı değirmenlerde üstten taşmaya, yatay değirmenlerde ise karıştırıcıda aşınmaya neden olabilmektedir. Tablo 2'de çeşitli değirmenlerde kullanılan bilya özellikleri verilmektedir.

Tablo 2. Çeşitli değirmenlerde kullanılan bilya özellikleri [18]

Değirmen Tipi	Bilya Boyutları (m)	Bilya Sayısı (m ³)	Yüzey Alanı (m ² /m ³)
Bilyalı	0,02	95.541	120
Kule Tipi	0,012	442.341	200
Isamill	0,0010	1.146.496.815	3.600

2.2.3. Bilya Türü

Karıştırmalı değirmenlerde önemli özelliklerden biri kullanılan öğütücü ortam bilyalardır. Karıştırmalı değirmenlerde kullanılacak bilyanın seçimi aşağıdakilere bağlıdır;

- aşınma
- performans
- maliyet ve
- temin edilebilirlik

Kullanılacak bilya malzemesi ucuz ve aşınarak ortamı kirletmeyecek özelliğe sahip olmalıdır. Örneğin, çelik bilya kullanıldığında öğütmeden sonra oluşacak olan demir hidroksitlerin flotasyon seçimliliğini etkilememesi istenmektedir. Karıştırmalı değirmenlerde kullanılan bilyalar Tablo 3'te verilmiştir [15].

Tablo 3. Karıştırmalı değirmenlerde kullanılan bilya türü [2]

Öğütücü ortam türü	Boyut, mm	Değirmen
Çelik bilya	12	TowerMill
Nehir kumu	1-3/3-6	Isamill/Detritör
Ocak çakılı	3-5	Isamill
Cüruf	0,5-2,0	Isamill
Granül Pb	1-3	Isamill

2.2.4. Pülp Yoğunluğu

Karıştırmalı değirmenlerde pülp yoğunluğunun artmasıyla elde edilen ürün inceliğinin arttığı gözlenmektedir. Pülp katı oranının (PKO) ağırlıkça % 75'in üzerine çıkması tanelerin kırılma hızlarını düşürmektedir. İnce besleme tane boyutu pülpün viskozitesini arttırmakta ve öğütme performansını azaltmaktadır [12, 19]. Sülfid mineralleri için pülp yoğunluğu genellikle ağırlıkça % 55-65 oranındadır [20].

2.2.5. Öğütme Yardımcıları

Karıştırmalı değirmenlerde öğütme esnasında oluşan ince taneler pülp viskozitesinin daha da yükselmesine neden olmakta ve öğütme performansını düşürmektedir. Bu olumsuzluğu gidermek için ortama çeşitli öğütme yardımcısı kimyasallar ilave edilmektedir. Bu kimyasal reaktifler tane yüzeylerine soğurularak tanelerin yüzey yüklerini (zeta potansiyellerini) arttırmakta ve viskozitesinin düşmesini sağlamaktadırlar. Bu reaktifler, özellikle yüksek katı konsantrasyonuna sahip pülpün akıcılığını artırarak değirmenin yüksek kapasitede çalışmasına yardımcı olmaktadır [19, 21]. Yapılan çalışmalarda polimerik kimyasalların inorganik kimyasallara göre

öğütmede daha etkili olduğu görülmüştür. Polikarboksilik asit gibi polimerik kimyasalların küçük miktarlarında uygun bir pulp viskozitesi ayarlandığında etkili bir boyut küçültme ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

3. YATAY KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMEN: ISAMILL

Konvansiyonel bilyalı değirmenler, düşük enerji verimliliği, düşük güç şiddeti ve yüksek bilya tüketimlerinden dolayı 25 mikronun altında ekonomik bir öğütme sağlayamamaktadırlar. Ayrıca, bu değirmenlerde kullanılan çelik bilyalar flotasyon performansına ciddi şekilde zarar vermektedir. Pigment, mürekkep, ilaç ve gıda gibi ürünlerin elde edilmesinde küçük ölçekli değirmenler, yüksek maliyetli bilya ve sıklıkla “kesikli” öğütme işlemi uygulanmaktayken, artan rekabetle birlikte yerini kesintisiz çalışan ve yüksek tonajlı mineral endüstrisine bırakmıştır.

Mount Isa Mines, karıştırmalı öğütmede 50 yılın üzerinde tecrübeye sahip Alman *Netzsch-Feinmahltechnik GmbH* ile yürüttüğü ortak çalışma ile büyük ölçekli, sürekli çalışan ve sağlam bir ekipman olan Isamill’i ortaya çıkarmıştır. Değirmenin ucuz ve doğal öğütücü ortam (kum, izabe cürufu, cevher taneleri) kullanımını ve açık devre çalışmasını mümkün kılmıştır. Bunlar işletme maliyeti ve öğütme devresinin basitliği açısından oldukça önemlidir. İlk $M_{10.000}$ Isamill 2003 yılında Güney Afrika’da kurulmuş ve Magotteaux 2005 yılında Isamill için KERAMAX-MT1 seramik öğütücü ortamı geliştirmiştir (Şekil 1). Bu tarihten itibaren ise 3 MW’lık $M_{10.000}$ modeli en yaygın Isamill olmuştur. Çok ince öğütme uygulamalarında kullanılan kurulu güç, yeniden öğütme ve kaba öğütme uygulamalarına hızlı bir geçiş sağlamıştır.



Şekil 1. Birincil öğütme ve çok ince öğütme uygulamaları için M_{1000} , M_{3000} ve $M_{10.000}$ Isamill modelleri [22].

1994 tarihinde Mount Isa’da kurulan ilk M_{3000} Isamill’den başlayarak, Isamill™ değirmenleri günümüzde tüm dünyada birçok önemli madencilik endüstrisinde çalışmaktadır (Tablo 4 ve 5).

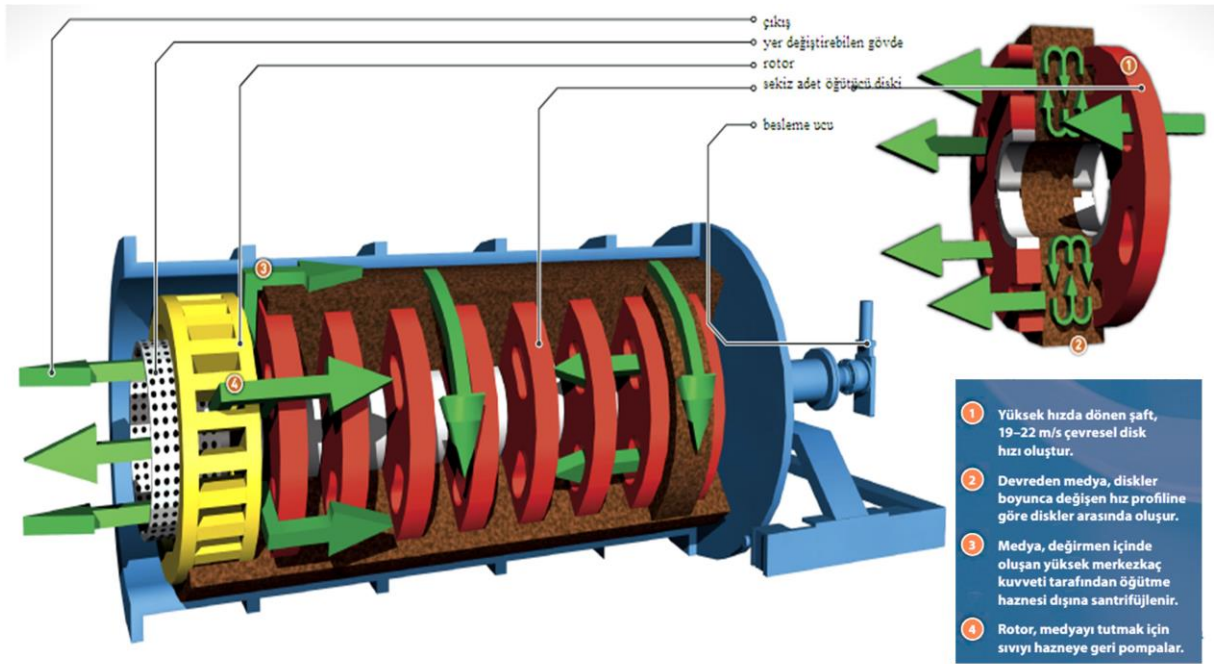
Tablo 4. Isamill™ gelişimi [2]

Yıl	Gelişim
1989	Netzsch 075 değirmen ile inert öğütmenin flotasyon için faydası gösterilmiştir.
1989-1992	MIM’dan Prof.Bill Johnson, Netzsch ile birlikte yatay değirmen gelişimi üzerinde çalışmıştır.
1992	<i>McArthur River</i> madeninde 100 litrelik Netzsch değirmeni ile başarılı test yapılmıştır.
1993-1994	<i>Mount Isa Mines</i> ’de 3000 litrelik kapasiteye ölçek büyütülmüştür.
1998	<i>MRM</i> ve <i>Mount Isa Mines</i> ’de 2 tesiste 14 x M_{3000} Isamill kurulmuştur.
1999	Isamill teknolojisi ticarileştirilmiştir.
2003	$M_{10.000}$ Isamill’e ölçek büyütülerek <i>Angola Platinum WLTRP</i> ’de kurulmuştur.
2005	Magotteaux’un Keramax MT1 seramik bilya ilk kez kullanılmıştır.
2009	8 MW’lık $M_{50.000}$ Isamill geliştirilmektedir.
2011	127 MW kurulu güç ile 74 adet Isamill devreye alınmıştır.

Isamill değirmenlerin en önemli avantajları şu şekildedir;

- yüksek kapasiteye sahip olması (100 ton/saat),
- çok ince ürün boyutu elde edilmesi ($d_{80}=7 \mu\text{m}$),
- düşük maliyetli doğal öğütücü ortamı kullanımı ve
- yüksek enerji etkinliği

Isamill, yatay bir shaft üzerine monte edilmiş diskli shaftın çok yüksek çevresel hızda (19-22 m/sn) dönmesi ile karıştırma yapan bir değirmendir (Şekil 2). Küçük öğütücü ortam bilya kullanılarak etkin bir dönme hızına ulaşılabilmektedir. Isamill’de ayrıca elek kullanmadan, değirmen çıkışında oluşan yüksek santrifüjün etkisiyle bilya ve ürünün ayrılmasından dolayı ince bilyaların değirmen içinde kalması sağlanmaktadır. En büyük Isamill 2600 KW motor gücünde olup değirmende 1-8 mm arasında bilya kullanılmaktadır. Bilya boyutunu optimize etmek için besleme malı d_{80} boyutu 30-300 μm arasında olmalıdır. Yapılan çalışmalarda Isamill’in konvansiyonel bilyalı değirmenlere göre % 75’den daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir [2]. Tablo 6’da ise Isamill modellerinin özellikleri verilmiştir.



Şekil 2. Isamill öğütme mekanizması [23]

Tablo 5. Dünyada Isamill’in kullanıldığı çeşitli maden işletmeleri [2]

Maden	Değirmen gücü, kW	Değirmen sayısı	Uygulama	Yıl
Mount Isa, Avustralya	1120	2	Pb/Zn cevheri	1994
McArthur River, Avustralya	1120	6	Pb/Zn cevheri	1995
Mount Isa, Avustralya	1120	6	Pb/Zn cevheri	1999
KCGM, Avustralya	1120	2	Altın cevheri	2000
Lonmin, G.Afrika	1120	1	PGM	2002
Anglo Platinum, G.Afrika	2600	1	PGM	2003
Kumto madeni, Kırgızistan	2600	1	Altın cevheri	2005

3.1. Isamill Avantajları

1. Enerji verimliliği: Basit olarak öğütme verimliliği bilya boyutu ile ilişkilidir. Küçük bilya daha fazla yüzey alanına sahiptir ve yüksek orandaki bilya/tane çarpışma sıklığı bunu verimli kılmaktadır. Isamill’in uyguladığı yüksek öğütme gücü ile küçük bilyalar iri taneleri kırabilmektedir.

2. Yüksek flotasyon/liç verimi: İnert bilya öğütme sonrası uygulanacak işlemleri geliştiren temiz ve taze mineral yüzeyleri açığa çıkarmaktadır. Dik tane boyut dağılımı, flotasyon ve liç verimlerine yarar sağlamakta ve bunun yanında malzeme taşınma özelliklerine yardımcı olmaktadır.

3. Yüksek güç-az yer kaplama: Güçlü öğütme teknolojisi (>300 kW/m³) diğer konvansiyonel öğütme teknolojilerine kıyasla daha az yer kaplar. Isamill'in öğütme hacmi eşdeğer bilyalı ya da dik değirmenin 1/10'u kadardır. Yüksek güç; kısa kalma süresi, fazla öğütmenin engellenmesi ve keskin tane boyu dağılımının sağlanması anlamına gelmektedir.

4. Açık devre konfigürasyonu: Isamill'e beslenen malzeme dahili sınıflandırıcıya ulaşmadan önce diskler arasında 8 ardışık öğütme aşamasından geçer. Tek aşamalı öğütme niteliğine sahip diğer değirmenler kapalı devre siklon devresine ve yüksek devreden yüklere ihtiyaç duyar ve Isamill kadar dik bir ürün tane boyu dağılımını üretemezler.

5. Basit ve bakım kolaylığı: Isamill'in parçaları değiştirilebilir, aşınan parçaların değişimi için bir duruş olduğunda astar 8 saatten daha kısa bir sürede değiştirilebilir.

6. Büyük ölçek: Değirmenler 75 kW ile 8 MW arasında üretilmektedir. Bu da büyük ve küçük tonajlar için verim ve proses açısından fayda sağlamaktadır.

7. Yatay tasarım: Yatay yerleşim malzeme akışını kolaylaştırır, bu durum kısa devreyi önler ve proses aksaklıklarına karşı değirmeni daha az etkilenir kılar.

8. Hatasız ölçek büyütme: Laboratuvar ve pilot sonuçları % 100 doğrulukla endüstriyel ticari boyuta uyarlanabilir. Isamill ispatlanmış doğrudan 1:1 oranında ölçek büyütme özelliği ile proje riskini azaltır [2].

Tablo 6. Isamill modellerinin özellikleri [2]

Özellik	Model				
	M ₁₀₀₀	M ₃₀₀₀	M ₅₀₀₀	M ₁₀₀₀₀	M ₅₀₀₀₀
Öğütme hazne hacmi (litre)	1000	3000	5000	10000	46000
Tahrik kapasitesi (kW)	500	1120	1500	3000	8000
Toplam yüksüz ağırlık (ton) *	13,5	25	30	62	126
Uzunluk (m)	10	16	18	22	34
Genişlik (m)	1,4	3,5	3,5	3,5	4,7
Yükseklik (m)	1,2	2,7	2,7	3,4	5,4

*Motor ve şanzıman hariç

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda karıştırmalı bilyalı değirmenlerin birçok sanayii dalında kullanımı giderek artmıştır. Madencilik endüstrisinde çok ince boyuttaki malzemeye olan ihtiyacın artmasına ve ekipman ölçeklerinin büyümesine paralel olarak karıştırmalı bilyalı değirmenler konvansiyonel değirmenlere bir alternatif oluşturmaktadır. Yatay karıştırmalı bilyalı değirmen Isamill; büyük ölçekli, sürekli çalışan ve sağlam bir ekipmandır. Değirmenin ucuz ve doğal öğütücü ortam (kum, izabe cürufu, cevher taneleri) kullanıma ve açık devre çalışmasına imkân vermesi işletme maliyeti ve devrenin basitliği açısından oldukça önemlidir. Çok ince öğütme uygulamalarında kullanılan güç, yeniden öğütme ve iri öğütme uygulamalarına çabuk adaptasyon, Isamill teknolojisinin sağlamlığını ve basitliğini yansıtmaktadır. Isamill değirmenleri günümüzde tüm dünyada birçok önemli madencilik endüstrisinde çalıştırılmaktadır.

Ülkemizde, özellikle madencilik sektöründe ince ve çok ince malzeme üreten birçok tesisin olduğu düşünüldüğünde, yatay karıştırmalı bilyalı değirmen Isamill'in sağladığı avantajlarla kullanımının giderek artması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DIKMEN, S., ERGÜN, Ş.L., "Karıştırmalı Bilyalı Değirmenler", Madencilik Dergisi, 43, 3-15, 2004.
 [2] www.isamill.com, "Isamill: Sınırları kırıyoruz" Tanıtım Kitapçığı, 12 s. (erişim tarihi 06.04.2015).
 [3] KEMAL, M., ÇİÇEK, T., "İnce ve Çok İnce Öğütme", 21. Yüzyıla Girenken Türkiye Madenciliği Sempozyumu, 97-111. Sivas, Türkiye, 1996.

- [4] KWAVE, A., "Wet Comminution in Stirred Media Mills-Research and Its Practical Application", Powder Technology, 105, 14-20, 1999.
- [5] MCLAUGHLIN, J.R., "Bead Size and Mill Efficiency", Ceramic Industry, 34-40, 1999.
- [6] BUHLER, A.G., Centrifugal Bead Mill ZR120, 2000.
- [7] SCHOLLBACH, A.E., "Influence of the Grinding Media Size on Comminution in Stirred Ball Mills with Additional Introduction of Vibrations", Aufbereitungs-Technik, 6, 259-267, 1999.
- [8] TORAMAN, Ö. Y., "Mineral Endüstrisinde, İnce ve Çok İnce Öğütmede Kullanılan Karıştırmalı Bilyalı Değirmenler", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. 30. Yıl Sempozyumu, 491-496. Adana, Türkiye, 2008.
- [9] MOLLS, H.H., HORNLE, R., DECHEMA-Monography 69, T1 2, 631-661, 1972.
- [10] ORUMWENSE, O.A., FORSSBERG, E., "Superfine and Ultrafine Grinding-a Literature Survey", Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 11, 107-127, 1992.
- [11] JANKOVIC, A., "Variables Affecting the Fine Grinding of Minerals Using Stirred Mills", Minerals Engineering, 16, 337-345, 2003.
- [12] ZHENG, J., HARIS, C. C., SAMASUNDARAN, P., "A Study on Grinding and Energy Input in Stirred Media Mills", Powder Technology, 86, 171-178, 1996.
- [13] GAO, M.W., FORSSBERG, E., "A Study on the Effect of Parameters in Stirred Ball Milling", International Journal of Mineral Processing, 37, 45-59, 1993.
- [14] GAO, M., HOLMES, R., "Developments in Fine and Ultrafine Grinding, Technologies for the Minerals Industry", http://www.iom3.org/divisions/mining_technology/fine.pdf, 2008.
- [15] LICHTER, J., DAVEY, G., Selection and Sizing of Ultrafine and Stirred Grinding Mills. In S. KAWATRA (ed.), Advances in Comminution, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2006.
- [16] YUE, J., KLEIN, B., Effects of Bead Size on Ultrafine Grinding in a Stirred Bead Mill. In S. KAWATRA (ed.), Advances in Comminution, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2006.
- [17] TÜZÜN, M.A., LOVEDAY, B.K., HINDLE, A.L., "Effect of Pin Tip Velocity, Ball Density and Ball Size on Grinding Kinetics in a Stirred Ball Mill", International Journal of Mineral Processing, 43, 179-191, 1995.
- [18] www.institute-of-materials.co.uk/divisions/mining-technology/fine.pdf (erişim tarihi 06.04.2015).
- [19] BERNHARDT, C., REINSCH, E., HUSEMANN, K., "The Influence of Suspension Properties on Ultra-Fine Grinding in Stirred Ball Mills", Powder Technology, 105, 357-361, 1999.
- [20] GAO, M., HOLMES, R., PEASE, J., "The Latest Developments in Fine and Ultrafine Grinding Technologies", XXIII International Mineral Processing Congress, 30-37. İstanbul, Turkey, 2006.
- [21] ZHENG, J., HARIS, C. C., SAMASUNDARAN, P., "The Effect of Additives of Stirred Media Milling of Limestone", Powder Technology, 91, 173-179, 1997.
- [22] RULE, C. M., "Stirred Milling-New Comminution Technology in the PGM Industry", the Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 111, 101-107, 2011.
- [23] www.xt-t.com/EN/Publications/Publications/IsaMillBrochureTR.pdf (erişim tarihi 08.06.2015).