

ÇİMENTO DEĞİRMENLERİNDE BİLYA BOYUT OPTİMİZASYONU

Harun KOÇAK

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş. 40100 Kırşehir TÜRKİYE

Prof. Hakan Benzer, Dr. Namik Aydoğan

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü 06800 Beytepe Ankara TÜRKİYE

ÖZET

Bilya boyu dağılımı bilyalı değirmen uygulamalarında önemli bir parametredir. Bunun dizaynına bağlı olarak performans önemli bir şekilde etkilenebilir. Performans değerlendirmesi devredeki şüpheli noktaları bulmak için önemli bir aşamadır. Eğer model yapıları doğruysa simülasyon devre performansını arttırmak için en iyi yoldur. Sınama ve yanılma devrenin ve materyalin en iyi tane boyunu bulmak için kullanılan pahalı ve zaman kaybettirici bir yöntemdir. Bundan dolayı model yapıları simülasyonları çalıştırmak için geliştirilmiştir. Tane boyu dağılımı için mevcut model yapılarının kullanımı endüstriyel anlamda %15 ila %20 arasında bir kazanç sağlanabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilyalı öğütme, Bilya Boyu, Modelleme, Performans Değerlendirmesi

1.GİRİŞ

Tamburlu değirmenler ince öğütmeye ihtiyaç duyan çimento sanayisine yarar sağlamak için geliştirilmiştir. Tamburlu değirmenler 1890'larda çimento sanayisinde kullanılmaya başlandı. Büyük ve ağır yapılarından dolayı, çimento sanayisinde kullanılan tumbling değirmenlerin yerini bilyalı ve tüp değirmenler (uzun tamburlu değirmen) aldı. Bu gelişmelerden sonra, çimento yapım işlemi havalı ayırıcı kile birlikte kısa değirmen kullanılan kapalı devreler veya uzun değirmenli açık devrelerden oluştu. Daha sonra, kısa ve boru tip değirmenler ayırıcı bölme başlığı ile iki bölüme ayrıldı. 1920'lerde ve 1930'larda, çimento öğütme işlemi için kullanılan çoklu kamaralı değirmenler için çeşitli kombinasyonlar denendi (Lynch ve Rowland, 2005).

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Işıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr

Tüp değirmenlerde parçaların kırılmasından 1-2% oranında enerji açığa çıkar, kalan enerji ısı olarak sona erer, bunun için ortam yükü, bilya astarı ve diyafram önemli hale geldi. Çalışmalar gösteriyor ki, iyi dizayn etkisine karşı kötü dizayn spesifik enerji kazanımında 5-10% oranında etkili olabilmektedir: değirmen veriminde benzer artışlar mümkündür (Duda, 1985).

Öğütme çimento üretiminde kullanılan pahalı bir yöntemdir ve ayırıcıların çalışma koşulları, değirmene doğru hava akışı ve değirmen bölgelerindeki bilya boyları gibi farklı değişkenler kuru öğütme hatlarının verimini ve üretkenliğini etkileyebilmektedir. Türkiyedeki çimento fabrikalarını da kapsayan bir inceleme son derece geniş bilya boyu dağılımının farklı fabrikalarda aynı öğütme karakterindeki aynı tip malzemeleri öğütmek için kullanıldığını göstermektedir. Tesisten tesise enerji tüketiminde (kwh/t) büyük farklılıklar sergilendiği de gözlenmiştir.

Geleneksel bilya boyutu seçimi , kullanılması gereken en büyük bilya boyutunu bulmamızı sağlayan Bond eşitliğine dayanmaktadır. Seçimi sağlayan parametreler: besleme boyu, değirmen tipi, özgül ağırlık, iş indeksi,kritik hız ve değirmen çapıdır. En büyük boyuttan itibaren , bilya boyutlarının dağılımı ampirik formülün kullanımı ile tanımlanabilir. Bu yaklaşım yaygın bir endüstriyel yaklaşım olarak kabul edilmiştir ve bu nedenle geçerliliğini yıllardır kaybetmemiştir (Gupta ve Yan, 2006).

Matematiksel modelleme farklı koşullarda işletilen devre koşullarının verilerini bir araya getirmeyi gerektirmektedir, bundan dolayı geliştirilen modeller tam boyutlu operasyonlar hakkında başarıyla bilgi verebilmektedir. Literatürde modelleme ve simülasyon teknikleri yaş eleme operasyon karakteristiğinin kırılma/tahliye oranı ile mükemmel karışım modeline dayanan model parametrelerini kullanarak yaş öğütme sistemlerini optimize etmek için başarıyla uygulanmıştır.

Farklı araştırmacılar (Austin et al, 1975;1984; Zhang, 1988;1992; Benzer, 2000;2001; Slanewski, 1985; Viswanathan, 1988; Ozer, 2006) çimento öğütme devrelerinin optimizasyonu ve simülasyonu için popülasyon denge modeline dayanan (PBM) çimento değirmeni matematiksel modellemeleri üzerinde çalışmışlardır. Bununla birlikte günümüzde ölçekli endüstriyel verilere dayanan parçaların kırılma ve tahliye oran fonksiyonları gibi kuru öğütme devrelerinin öğütme model parametreleri ve operasyon karakteristiği analizi hakkında kapsamlı bir araştırma bulunmamaktadır.

ÖĞÜTME ORTAM KALİTESİNİN ÖNEMİ

Bilya üretimi metalurjik bir operasyondur ve operasyon kalitesi üretim sürecinin kalitesiyle tanımlanır. Bir sürecin kalitesinin diğer bir sürecin kalitesi üzerine dolaylı bir etkisi vardır. Çimento endüstrisinde kullanılan bilyaların özellikleri aşağıdaki tabloda kısaca başlıklandırılmıştır.

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Kışık Holding a.ş.

www.cemas.com.tr

Çizelge 1. Çimento endüstrisinde kullanılan bilyaların teknik özellikleri

Çap (mm)	C %	Cr %	Sertlik HRC
15,17,20,25,30	2,6-3,1	12-14	60-66
35,40,50	2,2-2,7	12-14	59-65
60,70,80,90,100,110	2,0-2,5	17-19	58-64

Bilya nitelik parametreleri aşınma oranı, boyutsal tolerans, ovallık, uyumsuzluk, gating knolls ve kavite olarak sınıflandırılabilir.

Çimento endüstrisinde bilya aşınma oranı 40 gr/ton'dur. Kapalı devre uygulamalarında aşındırıcı içerik artımı olarak 3700 Blaine sağlamak bilya tüketimini arttırır, örneğin cürufllu çimentoda 150-200 gr/ton.

Öğütme ortamındaki boyut toleransı maksimum +-%5 aralığında olmalıdır. Diğer kalite öğeleri aşağıda verilen tabloda başlıklandırılmıştır.

Çizelge 2. Çimento endüstrisinde kullanılan bilya kalite parametreleri

Bilya Boyutu(mm)	Ovallık %	Bilya Boyutu (mm)	Uyumsuzluk (mm)	Bilya Boyutu(mm)	Gating Knolls and Cavity (mm)
18-30	5-8	< 25	0.25	< 25	1
40-60	9-14	25,30,40	0.25	25,30,40	1.5
70-100	15-20	50,60,70	0.4	50,60	2
		80,90,100	0.4	70, 80,90	2.5
				100	3

İlk olarak kullanılacak bilyaların özellikleri belirlenmeli daha sonra en uygun bilya boyut dağılımı dizaynı devrenin ve bilyaların daha iyi performansı için uygulanmalıdır.

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Işıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr



BİLYALI DEĞİRMEN PERFORMANSININ ÖLÇÜMÜ

Uygun bir dizayndan önce, her öğütme işi için tam bir analiz yapılmalıdır. Değirmen ölçüleri, değirmen hızı, değirmen gücü, cevher tipi, maksimum besleme boyutu, besleme boyut dağılımı, üretilen iş,doluluk hacmi ve ürün boyutu gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Ölçümler çeşitli parametreleri içermelidir, örneğin:

- Enerji tüketimi
- Kapasite
- Ürün boyutu
- Astar, öğütme ortam performansı ve ekonomi

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Kışık Holding a.ş.

www.cemas.com.tr

Tam bir analiz, devreden kapsamlı bir numune alma işlemi, numune analizi, kütle dengesi ve veri analizini içerir. Devreden numune alımı normal operasyon koşullarında, devre denge koşulunda akarken ve kritik parametrelerin dalgalanmasının en aza indirildiği koşullarda yapılmalıdır. Öğütme devresindeki tipik bir denge durumu çıktısı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1 Tipik bir devre etrafındaki kararlı hal durumu çıktısı

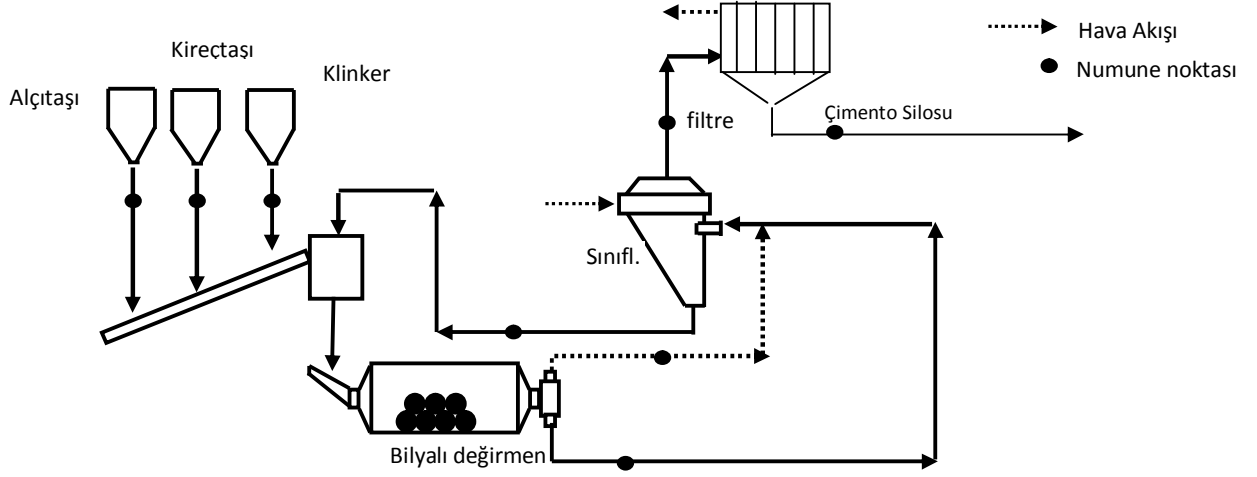
Operasyon koşulları numune alım işlemi sırasında kaydedilir. Mevcut devrelerin performansını değerlendirmek için devrelerin etrafında numune ölçümlerine ihtiyaç vardır. Tipik bir devrenin sadeleştirilmiş akım şeması ve numune alım noktaları aşağıda verilmiştir.

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Kışıklar holding a.ş.

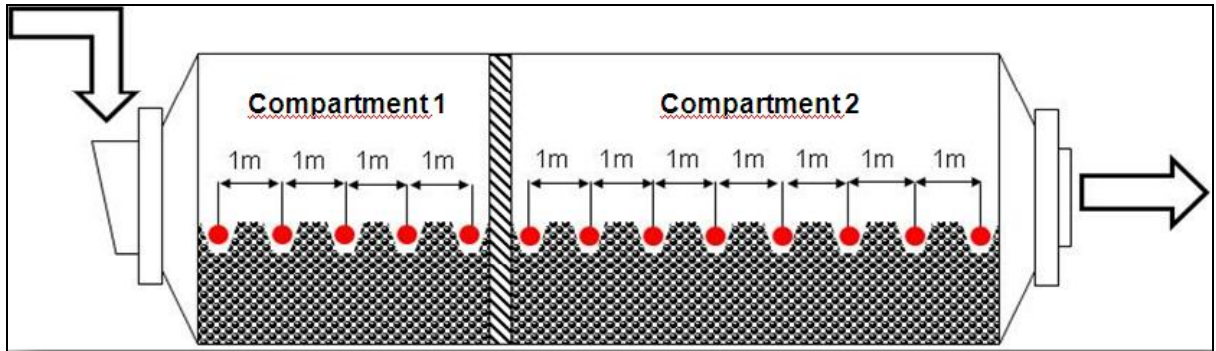
www.cemas.com.tr



Şekil 2 Tipik bir öğütme devresi ve numune alma noktaları

Numune alma işlemleri devrenin bütün akışlarını içerir, değirmen içerisinden numune alımı değirmen durdurularak yapılır. Değirmen içerisindeki numuneler merkez eksenine yaklaşık 1 metre aralıklarla alınır. Değirmen içerisindeki numune noktalarının sayısı önemlidir çünkü numuneler tane boyu küçültmesindeki değişimi takip etmek için yeterli sayıda olmalıdır. Numunelerin tane boyut dağılımı 2 mikrona kadar belirlenebilir. Kaba boyut dağılım verileri kütle dengesi sağlandıktan ve devre etrafındaki akış hızları besleme akış hızı bazında ölçüldükten sonra hesaplanır. Bu ilk girişim potansiyel tıkanıklıkları belirler. Öğütülebilirlik testi devre besleme numunesi üzerinde mevcut değirmen performansını belirlemek için uygulanır. Sınıflandırıcı performansı verimlilik eğrisi incelenerek değerlendirilir.

Şekil 3'te değirmen içerisindeki numune alma noktaları belirtilmiştir.



Şekil 3 Değirmen içerisindeki numune alma noktaları

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

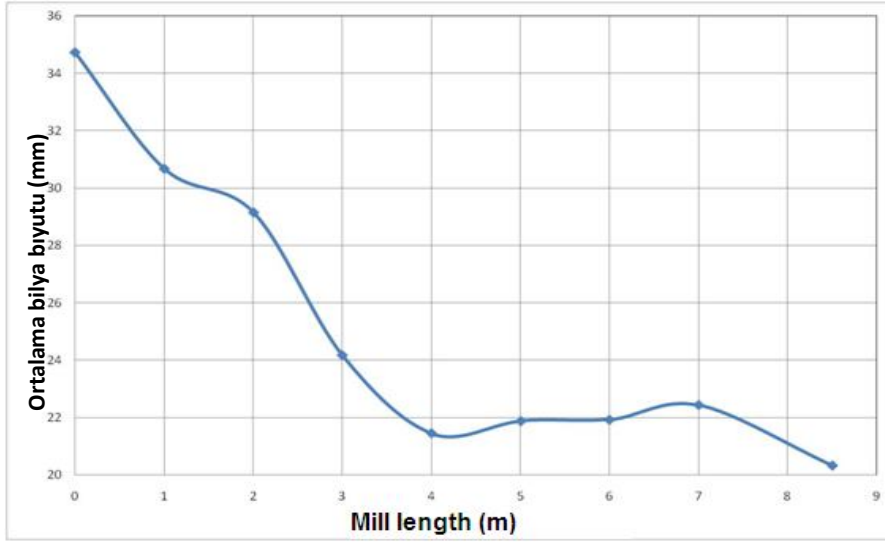
A subsidiary of  Kışıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr

Bilya boyutu dağılımına bağlı olarak değirmen performansı

Bilyalı değirmen performansı tane boyu dağılımından etkilenmektedir. Takip eden paragraflarda iyi ve kötü durum çalışmaları, bilya boyut konfigürasyonunun birim üretimi nasıl etkileyebileceği daha önce yapılan çalışmaların bir parçası olarak sunulacak.

İlk durumda verilerin toplanması, değirmen eksenı boyunca iyi performans elde etmenin astar etkisine bağılı olarak değirmen eksenin farklı noktalarında uygun bilya dağılımını elde etmeyle olabileceğini belirtmektedir (Slegten, 1973). Şekil 4 değirmen eksenı boyunca olan bilya boyut dağılımını göstermektedir. Değirmen eksenı boyunca malzemelerin küçülmesi daha küçük bilya boyut dağılımını gerektirmektedir buna bağılı olarak sistemli tane boyut dağılımıyla öğütme performansı artmaktadır (Figure 5).



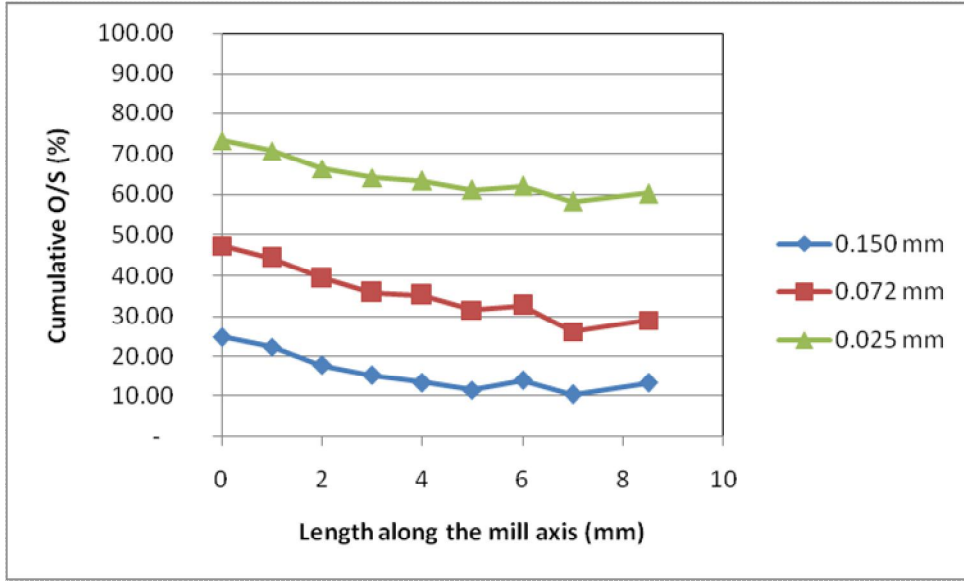
Şekil 4 Değirmen eksenı boyunca bilya boyut dağılımı

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Kışıklar holding a.ş.

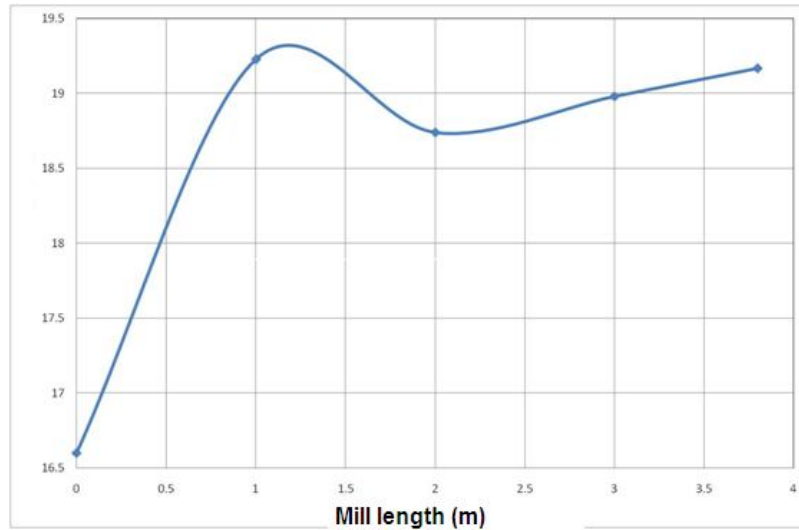
www.cemas.com.tr



Şekil 5 Değirmen eksenini boyunca % kazanımdaki değışiklik

Analizler bilya boyut dağılımındaki sistematik değışimlerin değirmen eksenini boyunca sistematik boyut küçültme işlemini sağladığını göstermektedir. Boyut küçültme işlemindeki bu sistematik değışim öğütme devresinin normal bir durumu olarak görülmektedir ama bu sistemde kullanılan bilyalar için optimum tane boyut dağılımını gerekli değildir anlamına gelmez.

İkinci durumda çalışmalar verimsiz bilya boyutunun bilyalı değirmen performansını değirmen eksenini boyunca olumsuz etkilediğini belirtmektedir. Şekil 6 ve şekil 7 sırasıyla bilya boyut dağılımındaki değışim ve değirmen eksenini boyunca boyut küçültmeyi göstermektedir.



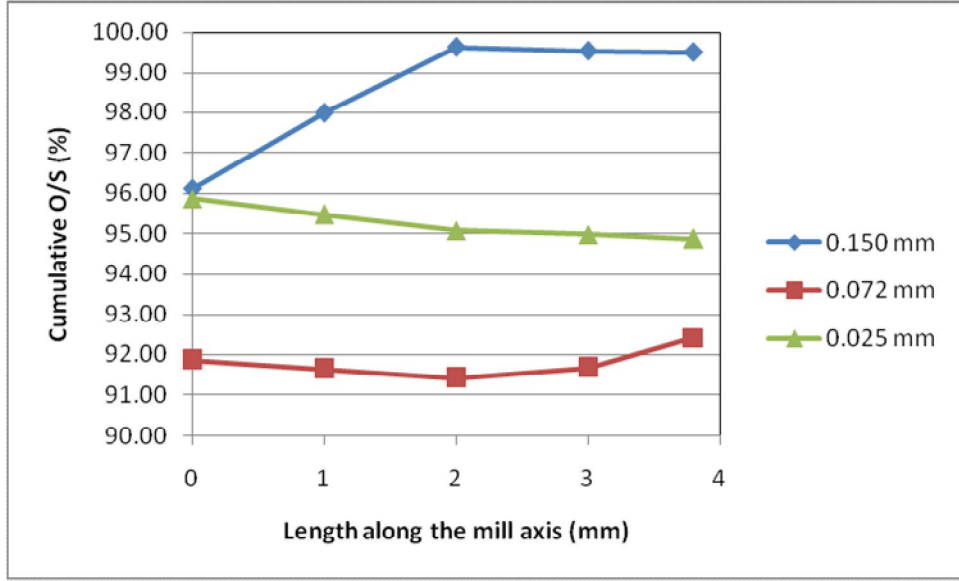
ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  **İşıklar holding a.ş.**

www.cemas.com.tr

Şekil 6 Değirmen içerisindeki bilya boyut dağılımındaki değişim



Şekil 7 Değirmen eksenine boyunca % kazanım değişimi

Şekil 7 değirmen eksenine boyunca boyut dağılımındaki rasgele değişimi göstermektedir. Bu durum çalışmaları uygun bilya boyut dağılımının sistemde kullanılmadığını ve öğütme koşullarının farklı bilya boyut dağılımı seçenekleriyle geliştirilebileceğini işaret etmektedir.

Bu iki pratik durum çalışmaları verilen mineral ve işletme koşulları için optimum bilya boyut dağılımının eksiksiz olarak tespit edilmesi gerektiğini göstermektedir. Denemen ve yanılma uygulamaları genellikle pahalı ve zaman kaybettiricidir.

UYGUN TANE BOYUT DAĞILIMININ BELİRLENMESİ- MODELLEME VE SİMÜLASYON

Simülasyon eğer üretim modelleri ve model parametreleri laboratuvarda veya işletmede doğru tanımlanırsa üretim teknolojisindeki önemli bir araçtır. Günümüzde bu uygulama öğütme devrelerinin optimizasyonu için sıklıkla kullanılmaktadır. Kütle denkliği çalışmalarından sağlanan veriler model ayarlama çalışmalarında kullanılmaktadır.

Başarılı bir numune alımından sağlanan devre verileri dışında, besleme malzemesinin kırılma karakteristiği de simülasyon çalışmaları için gereklidir. Laboratuvar ölçeğindeki testler kırılma dağılım bilgisini oluşturmak için uygulanmıştır (Genç, 2009). Bilyalı değirmen çalışmalarında Hacettepe

CEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Işıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr

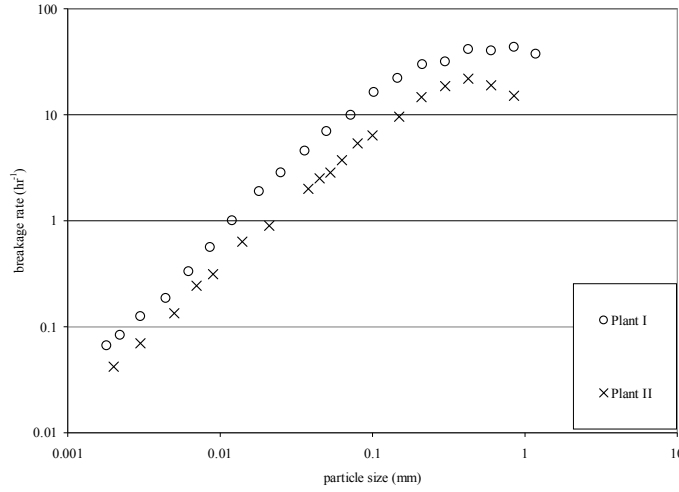
Üniversitesi tarafından geliştirilen modeller kullanılmaktadır (Lynch 2000, Benzer 2001). Model parametreleri doğrusal olmayan regresyon tekniği ile tanımlanmıştır.

Model yapıları mükemmel karışım yaklaşımını kullanarak değirmenlerin parçalar halinde modellenmesini sağlamaktadır.

$$f_i - r_i \frac{p_i}{d_i} + \sum_{j=1}^i a_{ij} \cdot r_j \cdot \frac{p_j}{d_j} - p_i = 0$$

Bu formül model parametrelerinin iki serisini içermektedir, örneğin kırılma fonksiyonu (a_{ij}) ve kırılma/tahliye hızı (r_i/d_i) fonksiyonu.

Tane boyu dağılımı kırılma oranları üzerinde oldukça etkilidir ama bazı durumlarda tahliye hızının iyileştirilmesi üzerinde etki yaratabilmektedir. Performans değerlendirmesi ve numune alma çalışmaları kararlı bir sistemin kırılma oranını hesaplamada gereklidir. Ayrıca, kırılma özellikleri açısından malzeme karakterizasyonu tamamlanmalıdır. Aşağıda verilen şekilde iki farklı bilya boyut dağılımının kırılma oran dağılımı örneklendirilmiştir. Bu numuneler endüstriyel değirmenlerden alınmıştır. 1. devrenin öğütme oranı 2. Devrenin öğütme oranından daha fazladır, bu nedenle 1. devreden daha yüksek öğütme performansı almak mümkündür.



Şekil 8 İki farklı bilya boyut dağılımındaki kırılma oranları

Bilya boyut dağılımı farklı bilya boyut dağılımları ve farklı kırılma oranlarına ulaşabilmek için kırılma oranları ile ilişkilendirilmiştir. Optimum bilya boyut dağılımı ile öğütme oranını arttırırken tüketilen enerjiyi en aza indirmek mümkündür. Amaç yük tarafından yapılan işi ve darbe enerjisini arttırmaktır.

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Kışıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr

Devre simülasyonları potansiyel bozukluğun devre performansı üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılmaktadır. Önceden tanımlanmış kırılma oranları ürün boyut dağılımını ve popülasyon tonajını bulmak için kullanılan simülasyonları çalıştırmak için kullanılabilir. Farklı bilya boyut dağılımları bilinen malzeme inceliğindeki farklı üretim oranlarını sağlar.

Aşağıda verilen çalışma durumunda çimento devresindeki performans değerlendirme çalışmaları verimsiz performansı belirtmektedir. Bununla birlikte simülasyon çalışmalarının uygulanmasıyla optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmalarının sonucuyla değirmendeki bilya boyut dağılımı değişimine bağlı olarak değişen değirmen motorunun özgül enerji sarfiyatını düşürmek mümkündür. Bu değişikliklere ek olarak yeni öğütme koşullarına dayanan devre etrafındaki sınıflandırıcı parametreleri gibi operasyon parametrelerini optimize etmek gerekir.

Değirmenin ikinci kamarasındaki bilya boyut dağılımı çizelge 3'te verilmiştir. Değirmen içerisindeki bilya boyut dağılımının değişimi ile , ikinci kamaradaki kırılma oranının artışı şekil 9'da verilmiştir. Simülasyon çalışmalarının uygulanmasının sonucu olarak üretimdeki özgül enerji tüketimi 15% oranında azalmıştır.

Tablo 3 Değişimden önceki ve sonraki bilya boyut dağılımı

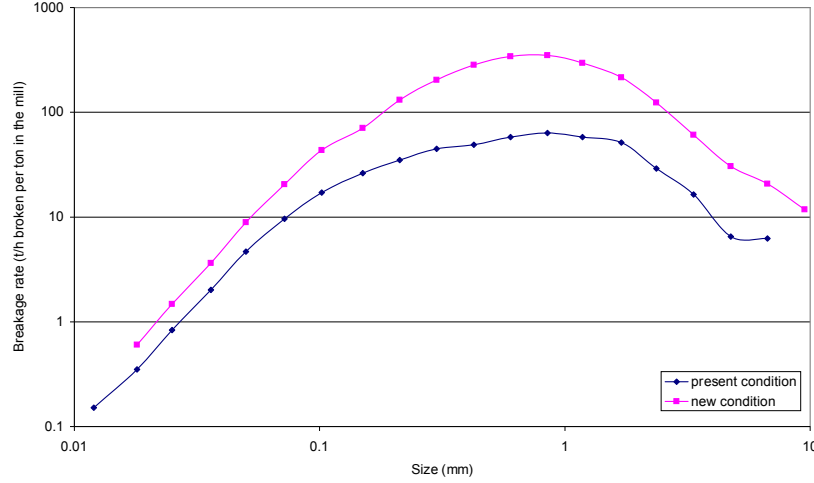
Önce			Sonra		
Bilya Boyutu (mm)		Gerekli ağırlık(ton)	Bilya Boyutu (mm)		Gerekli ağırlık (ton)
40	22%	28.16	25	29%	37.12
30	30%	38.4	20	21%	26.88
25	26%	33.28	17	50%	64
20	22%	28.16	Total	100%	128
Total	100%	128			

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Kışıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr



Şekil 9 değirmendeki mevcut bilya dağılımındaki ve önerilen yeni bilya boyut dağılımındaki kırılma oranları arasındaki değişim

Yeni bilya boyut dağılımının uygulanmasıyla enerji sarfiyatındaki düşüş 17% olarak belirlenmiştir. Yeni bilya boyut dağılımı değirmen performansını etkilememektedir ama, aynı koşullarda değirmenin üretim kapasitesini 115 ton/saat'ten 150 ton/saat'e çıkarmıştır. Enerji sarfiyatı 34,48 kWh/t'dan 26,66 kWh/t' a düşmüştür.

SONUÇ

Bilyalı değirmen operasyonları yüksek birim maliyete sahiptir ve çeşitli parametrelerden etkilenmektedir. Bilya boyut dağılımı daha iyi performans elde edilmesi için önemli bir parametredir. Mevcut operasyonlarda performans ölçümünde devre performansına bağlı olan engelleyici etkiyi anlamak için devreden numune alımı bir başlangıç noktasıdır. Daha iyi bir bilya boyut dağılımı ile tıkanıklıkların azaltılabileceği belirtilmiştir. Materyal karakterizasyonunun bitirilmesinden sonra , modelleme ve simülasyon çalışmaları hedefe ulaşmamızı sağlayan en iyi yöntemlerdir. Amaç değirmendeki kırılma oranını arttırmaktır. Bilya boyut dağılımı kırılma oranlarıyla ilişkilendirilmiştir, dolayısıyla farklı bilya boyut dağılımları için kırılma oranlarını belirlemek mümkündür. Uygun bilya boyut dağılımı ile, öğütme oranını arttırırken enerji sarfiyatını azaltmak mümkündür. Amaç maksimum baskı enerjisini ve yük tarafından yapılan işi arttırmaktır. Bu tezde çimento üretimindeki ton başına harcanan enerjinin düşmesine bağlı olarak maliyetin düşmesi gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

A. J. Lynch, C. A. Rowland, 2005, The History of Grinding, SME

Austin L. G., Luckic P. T. and Wightman D., Steady-state simulation of a cement-milling circuit,

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Işıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr

International Journal of Mineral Processing, 1975, 2, p. 127-150.

Austin L. G., Luckie P. T., Shoji K., Rogers R. S. C. and Brame K., A simulation model for an air-swept ball mill grinding coal, 1984, Powder Technology, 38, p. 255-266.

A. Gupta, D. S. Yan, 2006, Mineral Processing Design and Operation, The Netherlands: Elsevier

Benzer H., Ergün L., Lynch A.J., Öner M., Günlü A., Çelik İ., Aydoğan N., 2001, "Modelling Cement Grinding Circuits" Minerals Engineering, Nr14/11 pp1469-1482

Benzer H., Ergün L., Öner M., Lynch A.J., 2001, "Simulation of Open Circuit Clinker Grinding" Minerals Engineering, Nr.14/7 pp701-710

Lynch A. J., Öner M., Benzer H., 2000, "Simulation of Closed Cement Grinding Circuit", ZKG, No. 53/10, pp 560-564.

Genc, O.; Benzer H., 2009, "Single particle impact breakage characteristics of clinkers related to mineral composition and grindability", Minerals Engineering Volume: 22 Issue: 13 Pages: 1160-1165

Özer C.E., Ergün L., Benzer H., 2006, "Modeling of the classification behavior of the diaphragms used in multi-chamber cement mills", International Journal of Mineral Processing, Vol.80 No.1, 2006

H.Duda, W., 1985, Cement Data Book-1. Berlin.

Slanewski, A., 1985, "Optimization of tube mill power consumption with Voest-Alpine Grooved Liner Plates, ZKG International, English Translation, (12) .

Slegten, P. M., 1973, Cement mill liners segregate grinding media, Rock Products, 76 (3) .

Whiten, 1976, Ball mill simulation using small calculators, AusIMM Proc. 258 , 47– 53.

Viswanathan, K. N. (1988), "Computer simulation and optimization of ball mills/circuit", World Cement, 19 (4) , 143-148.

Zhang, Y. M., Napier-Munn, T.J., Kavetsky, A., "Application of comminution and classification modeling to grinding of cement clinker", Transactions of Institution of Mining and Metallurgy, Sect C, 1988, 97, 207-213.

ÇEMAŞ DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

ANKARA ASFALTI 12. KM 40100 KIRŞEHİR • TEL (0386) 234 80 80 • FAKS (0386) 234 83 49

A subsidiary of  Işıklar holding a.ş.

www.cemas.com.tr