

Makale Gönderim Tarihi: 19.03.2021

Yayına Kabul Tarihi: 02.06.2021

Çimento Öğütme Devrelerinde Kapalı Devre Bilyalı Değirmen Özelinde Performans Değerlendirme Çalışmaları

*Performance Evaluation Studies Of Closed Circuit Ball Mill In Cement Grinding Circuits*Hakan Benzer^{1*}, Hakan Dünder¹, Okay Altun¹¹ Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü 06800 Beytepe Ankara* sorumlu yazar: benzer@hacettepe.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5614-5175

Özet

Çimento ve hammadde öğütme devrelerinin performanslarının incelenmesi devrelerin kontrol-lerinin sağlanabilmesi için en etkili yöntemdir. Devre performanslarının ölçülebilmesi amacıyla devre kararlı durumda çalışırken numune alınması, bu numunelerin tane boyu dağılımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu veriler kullanılarak madde denkliği çalışmaları yürütülmekte, elde edilen sonuçlar ile de devrenin genel ve ekipmanların ayrı ayrı performanslarının değerlendirilmesi yapılmaktadır. makalede performans değerlendirme çalışmalarında izlenen yol tanıtılmakta ve bazı işlem değişkenlerinin performans üzerine etkileri tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: öğütme, çimento, bilyalı değirmen, kapalı devre

Abstract

Examining the performance of cement and raw material grinding circuits is the most effective method to control the circuits. In order to measure the performance of the circuit, it is necessary to take samples while the circuit is running at steady state and determine the particle size distribution of these samples. Mass balance studies are carried out using these data, and the results obtained are evaluated with the overall performance of the circuit and the equipment separately. In this article, the path followed in performance evaluation studies is introduced and the effects of some process variables on performance are discussed.

Keywords: grinding, cement, ball mill, closed circuit

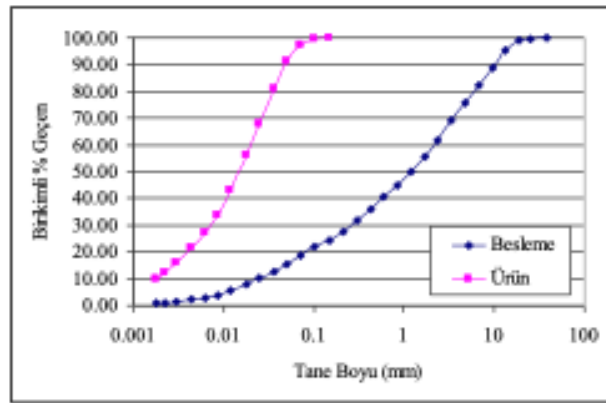
1. Giriş

Dünyada farklı endüstrilerde öğütme birim işleminden yararlanılmaktadır ve günümüzde tüm dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin %5 kadarı öğütmede harcanmaktadır. Yalnızca çimento endüstrisi göz önüne alındığında bu rakam %2'dir (Norholm, 1995). Öğütme, çimento endüstrisinin en fazla enerji tüketen birim işlemidir ve tipik bir çimento fabrikasında harcanan toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %60'luk bir kısmını oluşturmaktadır (Fujimoto, 1993). Öğütme etkinliğindeki küçük bir artışın sağlayacağı ekonomik değer oldukça fazla olmaktadır.

Çimento sanayiinde çimento öğütme sistemlerinde öğütme etkinliğine etki eden çeşitli faktörler vardır. Bunlar; değirmenin geometrik özellikleri, bilya boyu, bilya doldurma oranı, ara bölme ızgara tasarımı, havalandırma hızı, astar tasarımı, besleme malzemesinin kırılma ve öğütülebilirlik özellikleri, besleme tane boyu dağılımı, aşınma hızı, öğütme kimyasalları, ön kırma sistemi tasarım ve işletme değişkenleri, havalı sınıflandırıcı tasarım ve işletme değişkenleridir. Bu faktörlerin biri veya birkaçının öğütmeye etkisi hem nicel hem de nitel olarak ortaya çıkmaktadır (Gouda, 1981, Benzer, 2001 a,b).

Öğütme devrelerinin performansının ölçülmesi ve devrede yer alan ekipmanların performanslarını izlenmesi işletme performansını arttıran önemli etkenlerdendir. Devredeki ani performans değişimlerinin zamanında tespiti ve bunlara zamanında müdahale, koruyucu bakıma yardımcı olmak gibi nedenlerden ötürü devre performanslarının belirli zaman aralıklarında izlenmesi gerekmektedir.

Tipik bir öğütme devresinde temel olarak malzemelerin boyut dağılımlarında değişiklik meydana gelmektedir. Şekil 1'de görüldüğü üzere belirli bir boyut dağılımında devreye beslenen malzeme devreyi belirli bir boyut dağılımına sahip olarak terk etmektedir. Sistem içerisinde beslemeden ürün kademesine kadar olan aşamalarda gözlenen tane boyu dağılımları bu iki eğrinin arasında kalmaktadır. Öğütme devrelerinin performanslarının belirlenebilmesi için izlenecek en önemli analitik yöntem tane boyu dağılımlarının belirlenmesidir. Tane boyu dağılımlarının belirlenmesi ile birlikte devre etrafındaki madde denkleğinin sağlanarak performansların değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.



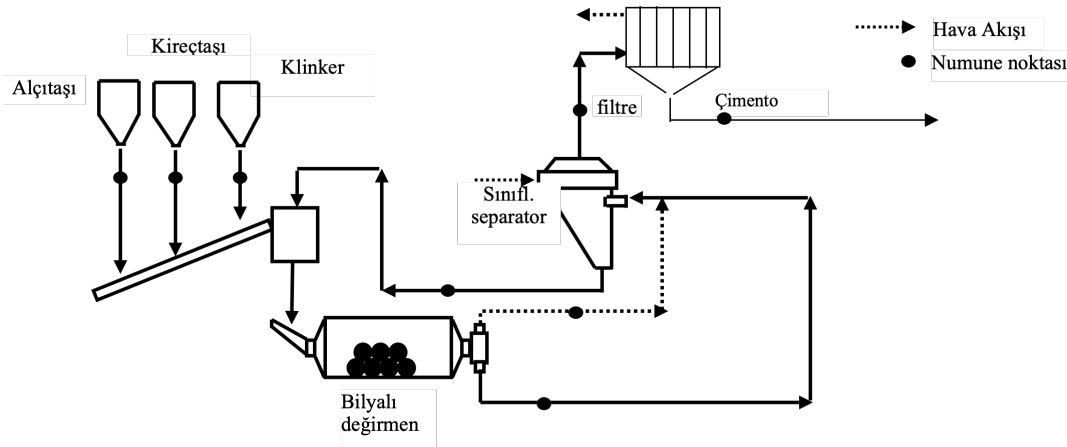
Şekil 1. Bir öğütme devresinde meydana gelen tane boyu dağılımı değişimi

Tane boyu dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla pek çok teknik bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlisi eleme yöntemidir. Ancak tipik bir çimento öğütme devresinde malzemenin büyük bir kısmının ince fraksiyonlarda olması nedeniyle elek analizi dışındaki tekniklere de ihtiyaç duyulmaktadır. Pek çok uygulamada elek analizi ile diğer tekniklerin birleşimi kullanılmaktadır.

Öğütme devrelerinde performansın izlenebilmesi amacıyla devrelerden numuneler alınmakta, bu numunelerin tane boyu dağılımları belirlenmekte ve bu veriler kullanılarak performans değerlendirme çalışmaları yürütülmektedir. Bu makale kapsamında genel bir performans değerlendirme çalışması sırasında takip edilen yol anlatılmakta ve bazı işlem değişkenlerinin performans üzerine etkileri tartışılmaktadır.

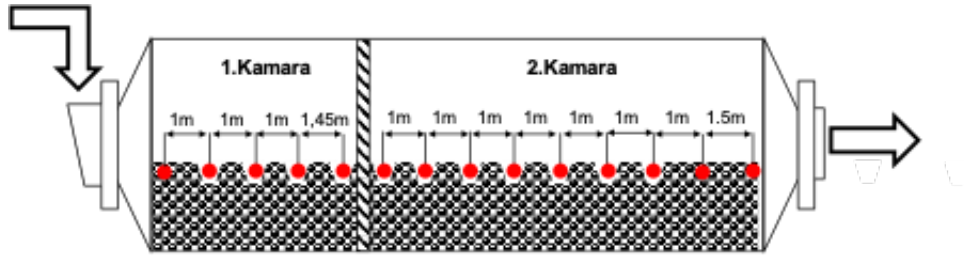
2. Numune Alma Çalışmaları

Bir çimento öğütme devresinin performansının değerlendirilmesi için öncelikli olarak öğütme devresinden ve değirmen içerisinden numunelerin toplanması gerekmektedir. Numune alma işlemi, devrenin dengede olduğu koşulun sağlanmasının ardından başlamalıdır. Devrenin kararlı koşulda çalışıp çalışmadığı değirmen çıkış elevatörünün gücü, silo sevk pompasının gücü, değirmen güç değeri, gibi işlem değişkenlerinin eğrilerinin takip edilmesi ile belirlenmektedir. Tipik bir çimento öğütme devresine ait akım şeması ve numune alma noktaları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2 Tipik bir çimento öğütme devresi ve numune alma noktaları

Numune alma işlemi devrenin fiziksel olarak numune alınabilecek tüm akışlarını kapsmalıdır. Öğütme devresinden numune alma işlemi sistem çalışırken havalı bantlardan gerçekleştirilmektedir. Hammadde ve değirmen içi numuneleri ise ani duruş (crash stop) sonrasında alınmaktadır. Değirmen içi numuneleri merkez eksen boyunca belirli aralıklarla alınmaktadır. Değirmen içi numune alma noktalarının sayısı değirmen eksen uzunluğuna göre değişim göstermektedir. 2 kamaralı bir değirmen için örnek numune alma noktaları Şekil 3'de gösterilmektedir. Değirmen içi numune alma işlemi dışında, gözlem yapılarak ve ek ölçümler alınarak değirmen performansını değerlendirmeye yönelik veriler elde edilmektedir.



Şekil 3. Değirmen içerişi numune alma noktaları

3. Madde Denkliği Çalışmaları

Örnekleme çalışmaları sırasında, sistemin dinamik yapısından, fiziksel koşullardan, ölçüm hatalarından ve insan faktöründen kaynaklanan bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Madde denkliği, ham verilerin istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak, devre etrafındaki akışların en iyi şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır.

Çimento öğütme devrelerinden alınan devre etrafı numunelerinin tane boyu dağılımları ve kontrol odasında kaydedilen tonaj değerleri kullanılarak madde denkliği çalışmaları yürütülmektedir. Madde denkliği sonucunda öğütme devresi tane boyu dağılımları istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak düzeltilmekte ve bu değerler kullanılarak devredeki tüm kolların akış değerleri (tonajları) hesaplanmaktadır.

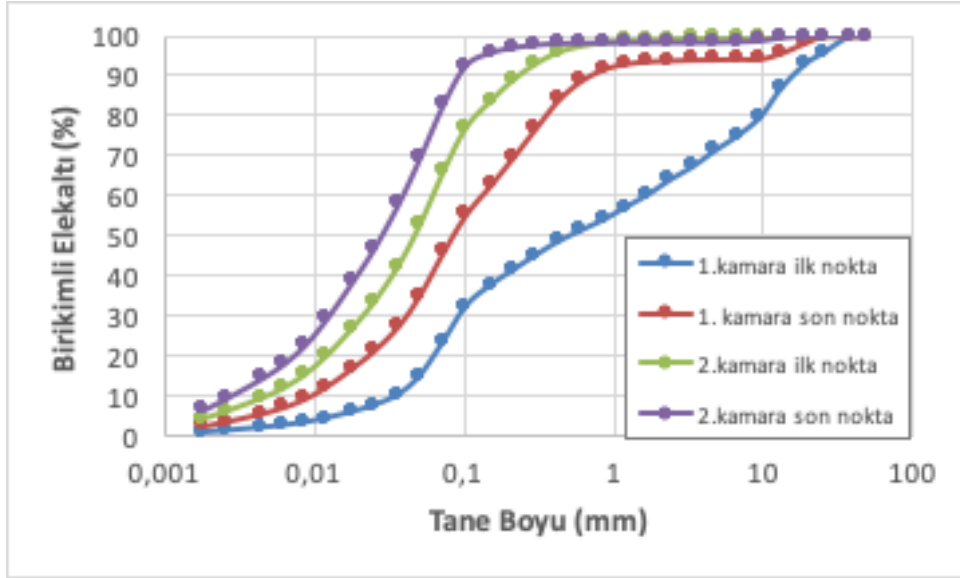
Madde denkliği sonucunda düzeltilen tane boyu dağılımları ve hesaplanan devre etrafı akış değerlerinin yanı sıra, örneklemenin fiziksel koşullar sebebiyle yapılamadığı değirmen girişi, değirmen çıkışı ve toplam besleme gibi akışlar da bu çalışma ile hesaplanabilmektedir.

Hatalarından arındırılan veriler sonraki aşama olan performans değerlendirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Böylelikle devrede bulunan bilyalı değirmen, separatör, filtre vb ekipmanların verimlilikleri ile ilgili değerlendirmelerde bulunabilmektedir.

4. Devre Performansının Değerlendirilmesi

4.1. Bilyalı değirmen performansının ölçümü ve bazı işlem değişkenlerinin performans üzerine etkileri

Bir öğütme ekipmanının performansı giriş ve çıkış tane boyu dağılımları arasındaki farkın enerji ile ilişkilendirilmesi neticesinde değerlendirilmektedir. Bir diğer değişle, enerji ile boyut indirgemesi ilişkisi bilyalı değirmen performansı için en temel unsurdur. 2 kamaralı bir çimento değirmeni örnekleme sonrasında performans değerlendirme her bir kamarada yapılan işin belirlenmesi ile ortaya konulmaktadır. Şekil 4'de örneklenmiş 2 kamaralı değirmene ait boyut dağılımları gösterilmektedir. Fark edileceği üzere kamaraya giriş ve çıkışları arasında gözle görülmür bir fark bulunmaktadır. Bu farklılık kümülatif boyut dağılımlarının %80 ve %50'sinin geçtiği boyutlar ile ölçülebilmektedir. Çizelge 1'de bu değerler ve indirgeme oranları sunulmaktadır.



Şekil 4 Bilyalı değirmen değirmen kamara besleme-ürün boyut dağılımları

Çizelge 1 Bilyalı değirmen indirgeme oranları

	1. Kamara	2. Kamara
F_{80}	9.63	0.12
P_{80}	0.35	0.07
İndirgeme oranı	27.30	1.82

Bilyalı değirmenlerin çapı, boyu, kritik hızı gibi geometrik özelliklerinin yanı sıra bilya boyu, bilya doldurma oranı, astar tasarımı, ara bölme ızgara tasarımı, havalandırma hızı gibi işletme parametreleri performans üzerinde etkili olmaktadır. Çimento öğütme devrelerinde bilya doldurma oranı genellikle % 28-32 arasında değişmektedir. Bu dar aralık içerisinde doldurma oranının performans üzerine etkisinin endüstriyel olarak ölçülmesi mümkün olmamaktadır. Doldurma oranının performans üzerine etkilerinin incelendiği kesikli öğütme çalışmalarına literatürde rastlanmaktadır. (Austin vd., 1984).

4.1.1. Bilya Boyu Etkisi

Bilyalı değirmenler için verimliliği etkileyen en önemli işletme parametresi öğütücü ortam boyudur ve bu boyun belirlenmesine yönelik olarak halen kullanılmakta olan ampirik yaklaşım F.C. Bond tarafından geliştirilmiştir (Bond, 1960). Bu yaklaşım kullanılarak değirmen içerisinde kullanılması gereken maksimum bilya boyu başarıyla belirlenebilmektedir. Yapılan çalışmalarda ince bilyaların ince öğütmede iri bilyaların ise iri öğütmelerde kullanılmaları gerektiği belirlenmiştir (Austin vd., 1984). Ancak değirmen içerisindeki bilya boyu dağılımının belirlenmesine yönelik kanıtlanmış bir yaklaşım bulunmamaktadır. Uygulamada değirmen üretici firmalar tarafından değirmen boyunca bilya dağılımının belirlenebilmesine yönelik teorik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımların temelinde iki ilke yatmaktadır.

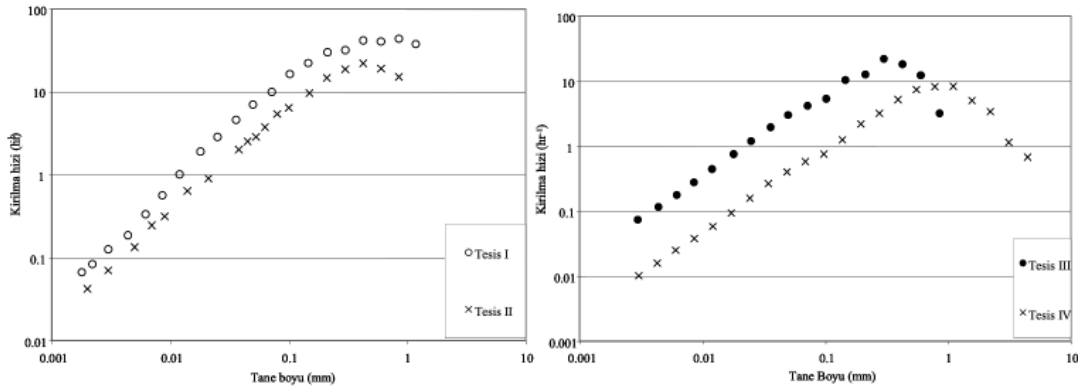
- Öğütme işleminde, ince tane üretimi değirmen boyunca üssel bir davranımla artış göstermektedir, bu nedenle bilya dağılımında aynı ilke takip edilmelidir.
- Boyut küçültme işlemi taneler incelidikçe zorlaşmaktadır. Bu nedenle ince fraksiyonlar için fazla sayıda bilya kullanmak gerekmektedir.

Yukarıda da özetlendiği üzere bilya boyu dağılımının belirlenmesinin teorik yaklaşımdan kurtarılıp değişen koşullar için en uygun bilya dağılımının belirlenebilmesi için en etkili yöntem farklı bilya boyu dağılımları için kırılma hızlarının belirlenmesidir. Bu amaçla devre etrafından ve değirmen içerisinden alınan numunelerin boyut analizleri kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar farklı dağılıma sahip bilya boylarının değirmen içerisinde farklı kırılma hızları verdiklerini göstermektedir. Şekil 5’de farklı çimento öğütme devrelerinde farklı bilya dağılımında çalışan değirmenler için değişen kırılma hızlarına bir örnek sunulmaktadır. Yapılan çalışmalar ile bilya boyu dağılımı ile kırılma hızı değişimi arasında bir ilişki kurulmaktadır ve elde edilen veriler kullanılarak simülasyon çalışmaları ile besleme tane boyu dağılımına bağlı olarak uygun bilya boyu dağılımı belirlenebilmektedir.

Farklı tesislere ait bilya boyu aralığı ve ortalama bilya boyu değişimi Çizelge 2’de sunulmaktadır.

Çizelge 2 Farklı tesislerde kullanılan bilya boyu aralığı

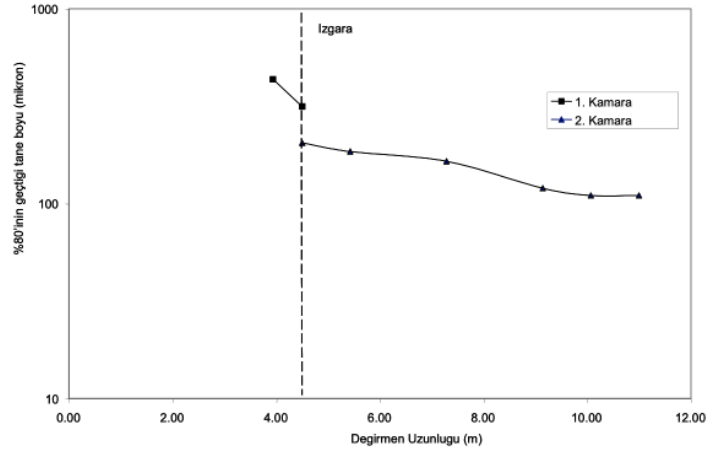
	Tesis I	Tesis II	Tesis III	Tesis IV
Bilya Aralığı (mm)	25-15	30-20	20-15	50-17
Ortalama Bilya (mm)	18.8	24.5	17.6	28



Şekil 5. Aynı özelliklerde fakat farklı bilya boyu dağılımına sahip tesislerde kırılma hızının değişimi

4.1.2. Ara Bölme Izgarası Tasarımı

Değirmenler içerisinde iki kamarada kullanılmakta olan ara bölme ızgaralarının ana işlevi iki farklı kamarada yer alan bilya dağılımlarının birbirlerine karışmalarını engellemektir. Ancak uygulamaların pek çoğunda ara bölme ızgarasında bir sınıflandırma meydana gelmektedir ve ikinci kamaraya geçmesi gereken malzemeler birinci kamarada kalmaktadır (Özer vd. 2002). Şekil 6’da ara bölme ızgarasının her iki tarafından alınan numunelerin % 80’inin geçtiği tane boyu değişimi gösterilmektedir. İkinci kamaraya ince dağılımda malzeme geçmesine rağmen birinci kamaradaki doluluk oranının artmasına bağlı olarak değirmenin birinci kamarasında verimsizliğe neden olmaktadır. Ara bölme ızgarasının seçimi yapılırken kırılma ve taşınma hızına bağlı olarak en uygun açık alan yüzdesine sahip uygun tasarımı ızgaranın kullanılması gerekmektedir. Bu sayede değirmen içerisinde malzeme taşınımı kesintisiz sürdürülebilirken ikinci kamarada yer alan bilya boyu dağılımına uygun besleme malzemesi de hazırlanabilmektedir.



Şekil 6. Ara bölme ızgarası etrafında sınıflandırma etkisi (Lynch vd, 2000)

4.1.3. Değirmenlerde Hava Hızı

Değirmen içerisinden geçirilmekte olan havanın üç farklı kullanım amacı bulunmaktadır.

- Yeterli inceliğe ulaşmış taneciklerin anında değirmen içerisinden uzaklaştırılması
- Çimentonun değirmen içerisinde soğutulması
- Hammadde ve/veya katkılardaki nemin uçurulmasıdır.

Değirmen içerisinde hava akışı, hava hızı(m/s) ile ifade edilmektedir. Kapalı devre öğütme sistemlerinde hava hızı 1-1.5 m/s, açık devre öğütme sistemlerinde ise 0.6-1 m/s arasında değişmektedir (Duda, 1985).

Çimento tesislerinde kullanılan bilyalı değirmenler içerisinde havalandırmanın sağlanabilmesi amacıyla emiş yapılan havanın taşıdığı malzeme miktarı kütle denkliği çalışmaları ile belirlenebilmektedir. Farklı çimento öğütme devrelerinden elde edilen bulgular etkili bir havalandırmanın sağlandığı koşulda değirmen besleme miktarının (taze besleme + devreden yük) %7.5-10'unun hava ile taşınan akışta yer aldığını göstermektedir. Etkili havalandırma ile değirmende taşınma hızı maksimize edilmektedir. Şekil 7'de sunulan fotoğrafta yetersiz taşınma hızına (havalandırma hızının yanı sıra çıkış ızgarasının tasarımı ve açık alan durumu da taşınma hızı üzerinde önemli bir parametredir) bağlı olarak değirmen içerisindeki malzeme birikimi gösterilmektedir. Bu uygulamada bilyalar üzerinde yaklaşık 10 cm derinliğinde bir malzeme birikmesi görülmektedir. Normal öğütme koşullarında etkin öğütme koşullarının yaratılabilmesi için bilyalar arası boşluğun % 90-%110'u malzeme ile dolu olması gerekmektedir. Aksi takdirde fotoğrafta örneği görüldüğü şekilde değirmen içerisinde çoğunlukla kırılma hızını düşüren yastıklanma etkisine sebep olabilecek bir birikme ile karşılaşılabilir. Bu etki ile bilya tarafından taneciğe aktarılan darbe etkisi azaldığından öğütme kinetiğinde önemli azalmalar gözlemlenmektedir (Austin vd., 1984).

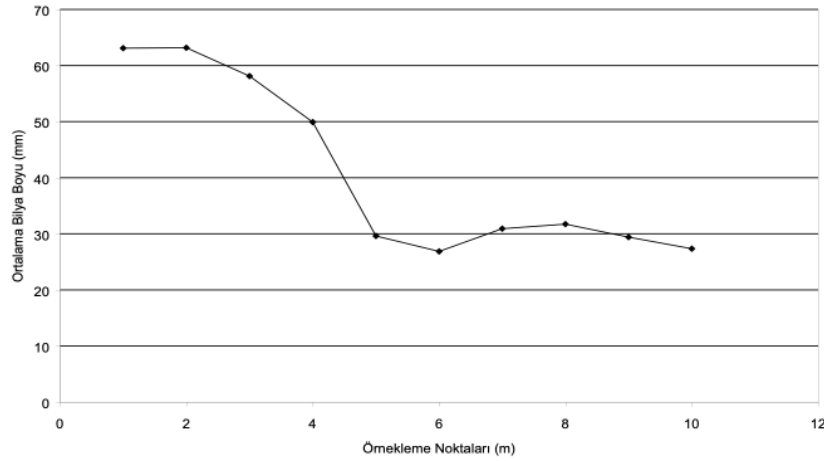


Şekil 7 Ani duruş sonrası değirmen içerisinde yetersiz havalandırmaya bağlı olarak biriken malzeme

Değirmenden hava ile taşınan malzemeler uygulamalarda ya ürün silosuna yada separatör beslemesine verilmektedir. Bu malzemelerin ürün silosuna gönderildiği durumda genellikle separatör incesinden alınan dağılım ile tane boyu karşılaştırması yapılmaktadır. Ancak bazı uygulamalarda üretilen ürün tipine bağlı olarak hava ile taşınan malzemeler boyut dağılımı olarak ürün özelliklerini karşılamasına rağmen dayanım kalite kriterleri gereği yeterli performansı sağlayamamaktadır. Özellikle kalker katkılı çimento öğütülmesinde kalkerin klinkere nazaran daha yüksek bir kırılma hızına sahip olması nedeniyle hava akımındaki tanelerin oransal olarak ağırlığı kalker şeklinde olmaktadır. Böyle bir durumda elde edilen bu ürünün çıkış silosuna sevk edilmesi kalitenin bozulmasına neden olabilmektedir.

4.1.4 Astar Tasarımı

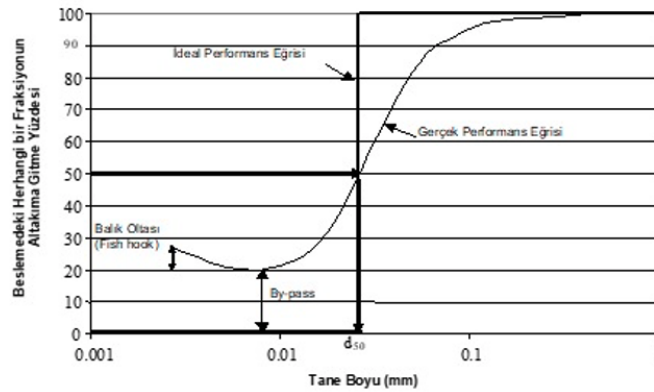
Değirmen içerisinde çok farklı tasarıma sahip astar plakalar kullanılmaktadır. Yaratılmak istenilen kırma mekanizmasına (darbe veya aşınma) bağlı olarak uygulamada farklı tasarımlar kullanılmaktadır. Farklı tasarımdaki astar plakalar kullanıldıkları yere göre etkin öğütme koşulları yaratabilmektedirler. Sınıflandırıcı astarlar gibi bazı özel astar plaka uygulamaları ile %7-10'lara varan kapasite artışları olduğu üretici firmalar tarafından bildirilmektedir. Halihazırda pekçok tesiste uygulama alanı bulmuş olan sınıflandırıcı astar uygulaması ile değirmenin giriş ucunda iri bilyalar, çıkış ucunda ise ince bilyalar yer almaktadır. Şekil 8'de sınıflandırıcı astar plakası olan bir değirmen içerisinden alınan bilya boyu dağılımının değirmen uzunluğu boyunca değişimi sunulmaktadır. Şekilden'de izlenebileceği üzere iri bilyalar değirmenin giriş ucunda yer almakta ince öğütme için gerekli bilyalarda çıkış ucunda ağırlık kazanmaktadır. Bu uygulama sayesinde bu değirmenin içerisinde iki farklı kırılma hızının elde edildiği iki farklı bölge oluşmaktadır. Bu etki nedeniyle performans olumlu olarak etkilenmekte ve değirmen içerisinde istenilen öğütme inceliğine ulaşılabildiği görülmektedir. Ayrıca değirmen içerisinde farklı bölgelerde bilya kontrolü astarlar vasıtasıyla yapıldığı için taşınma hızına olumsuz etki edebilecek ara bölme ızgarası gibi bir ekipmana ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak bu astar tipi uygulamasının yapılabilmesi için kullanılan bilya boyu dağılımının geniş bir aralıkta seçilmesi gerekmektedir (Örneğin 50-17 mm).



Şekil 8 Değirmen Boyunca Ortalama Bilya Boyu Dağılımı (tıpık bir tesis ölçümü)

4.2. Separatör Performansı ve Bazı İşlem Değişkenlerinin Performans Üzerine Etkisi

Öğütme devrelerinde işlemin verimliliğini belirleyici ve sistemin kontrolünde ana unsur havalı separatörlerdir. Havalı separatörlerdeki performans bozukluğu öğütme devrelerinde doğrudan verimsizlik olarak kendini göstermekte ve özgül enerji tüketiminde artışa sebebiyet vermektedir. Bu nedenle sınıflandırıcı performanslarının izlenmesi ve performansı etkileyen parametrelerin belirlenmesi çok önem arz etmektedir. Sınıflandırıcıların, boyut ayırımı yönünden, performansları değerlendirilirken verimlilik eğrileri (performans eğrisi) kullanılmaktadır. Tipik bir separatör verimlilik eğrisi Şekil 9'da verilmektedir.



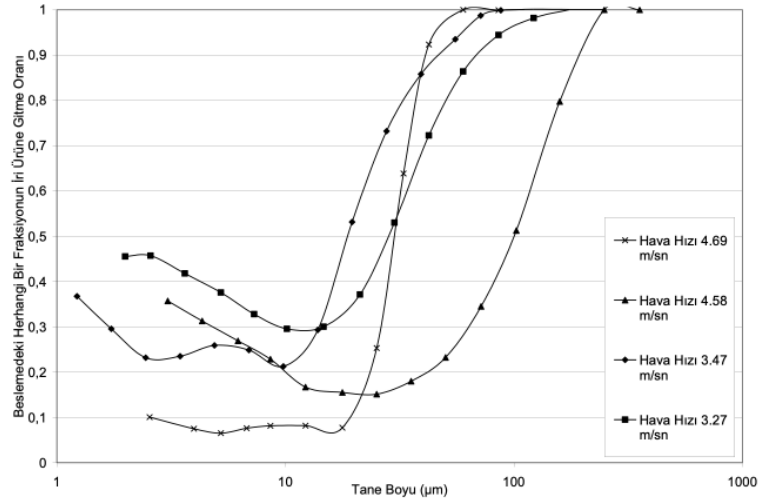
Şekil 9 Tipik bir etkinlik (performans) eğrisi ve parametreleri (Altun vd 2014) (By-pass: Separatöre giren beslemede sınıflandırmaya uğramadan iri tütüne kaçan malzeme miktarı, Balık Oltası: İnce tanelerin irilere yapışması sonucu iri tütüne kaçan ince malzeme miktarı, d50: Ayırım boyu)

Performans eğrisinin dik olması ayırımın iyi olduğunu, eğimin azalması ise ayırımın bozulduğunu göstermektedir. Performansın değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer kriter ise kaçak (by-pass) yapan malzeme oranıdır. By-pass ince boydaki tanelerin bir bölümünün separatör irileri ile alınmasıdır. Performans eğrisinin ulaştığı en düşük değer kaçak yapan (separatörden sınıflandırma işlemine maruz kalmadan geçen) malzeme oranının bir göstergesidir. Bu değer düşük olması da ayırımın iyi olduğunun bir göstergesidir. Kaçak yapan kısım separatör irilerinden çıkarıldıktan sonra elde edilen ve sadece sınıflandırmayı tanımlayan yeni eğriye düzeltilmiş performans eğrisi denir ve bu eğri üzerinde %50 verim değerine karşılık gelen tane boyutu değeri d_{50c} olarak adlandırılmaktadır. d_{50c} sınıflandırılmış malzemede tanelerin %50'sinin incelere %50'sinin irilere gittiği boyutu göstermekte olup, ayırma boyutu olarak da adlandırılmaktadır. Dolayısıyla d_{50c} 'nin küçülmesi separatörün daha ince bir ayırma yaptığını göster-

mehtir. Separatörlerin gerçek sınıflandırma etkilerinin incelenilmesi maksadıyla kaçaktan (by-pass) arındırılarak düzeltilmiş partiyon eğrileri çizilmektedir.

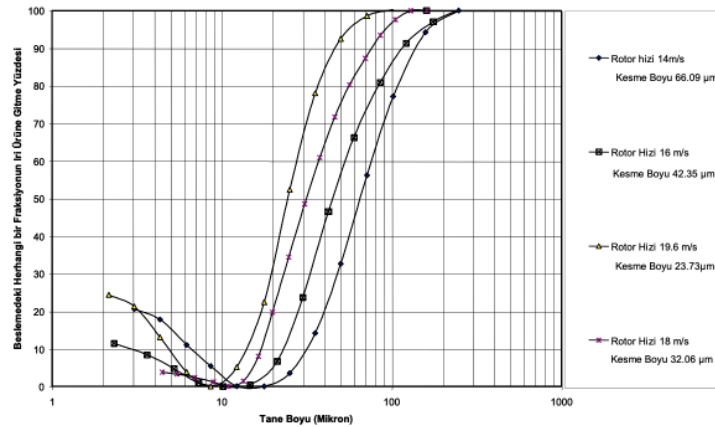
Separatör performansları işletme koşullarına göre değişim göstermektedir. Separatör performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri hava hızı, separatör rotor hızı ve besleme hızıdır (kapasite).

Havali separatörlerin çalışma performanslarında separasyon havası verimlilik üzerindeki en önemli parametrelerden bir tanesini oluşturmaktadır. Şekil 10'da verildiği üzere artan hava hızına bağlı olarak separatörlerin kaçak miktarı azalmaktadır. Ancak bu etkiye paralel olarak separatördeki ayırım boyu (d_{50}) artan hava hızına bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle separatörlerden maksimum performansın sağlanabilmesi için havalandırmanın etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Separatördeki ayırım boyunun separatör rotor hızı ile kontrol edilmesi gerekmektedir.



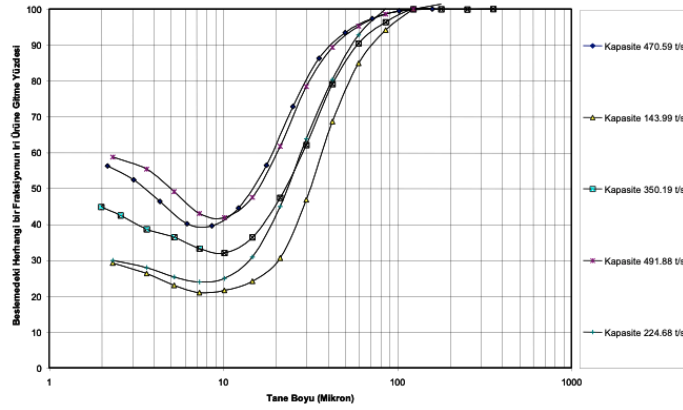
Şekil 10 Hava hızının separatör performans eğrisi üzerine etkisi (Tesis ölçümü)

Rotor hızının performans üzerine etkisinin görülebilmesi için kaçak miktarından arındırılmış olan düzeltilmiş performans eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Şekil 11'de düzeltilmiş performans eğrisinde kesme boyu değerleri ile separatör rotor hızı değişimi incelendiğinde rotor hızının artmasıyla birlikte elde edilen üründe incelendiği görülmektedir.



Şekil 11 Rotor hızının separatör performans eğrisi üzerine etkisi (Tesis ölçümü)

Farklı tesislerde 3. nesil separatörlerin etrafında yapılan örnekleme çalışmaları sonucunda, kapasitenin (besleme hızı) kaçak miktarı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı havalandırma hızında artan kapasite artışına bağlı olarak kaçak miktarı da artmaktadır (Şekil 12).



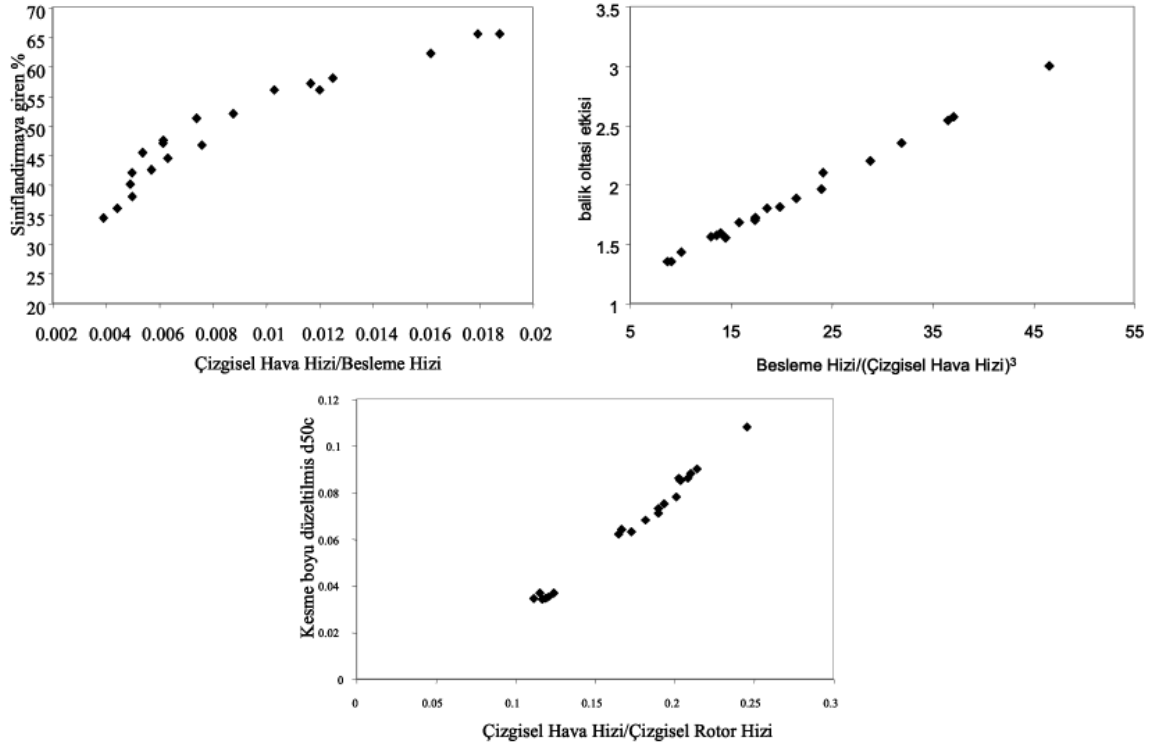
Şekil 12 Besleme hızının separatör performansı üzerine etkisi (Tesis ölçümü)

Devre tasarımı sırasında en uygun separatör tasarımı için besleme hızı ve hava hızının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Çizelge 3'de farklı tipteki separatörler için bu değişim sunulmaktadır.

Çizelge 3 Farklı separatör tipleri için tasarım değişkenleri (Altun vd 2014)

	Ayrım keskinliği	d50(mikron)	Bypass (%)	Besleme Hızı/Hava Miktarı
Statik	0.25		>60	<1.0
1. Jenerasyon	0.3-0.4	>20	>50	1
2. Jenerasyon	0.5-0.55	15-20	15-35	1.6
3. Jenerasyon	0.6-0.7	10-15	5-15	2.0-2.5

Farklı işlem değişkenlerinin separatör performansı üzerine etkilerini özetleyen grafikler Şekil 13'de sunulmaktadır. Bu grafikler farklı çimento devrelerinde bulunan havalı separatörlerden alınan veriler kullanılarak çizilmiştir. Modelleme çalışmaları sırasında separatör performans değerleri ile işlem değişkenleri arasında bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılar kullanılarak en optimum işletme koşulları simülasyon yoluyla belirlenebilmektedir.



Şekil 13 Separatör performans değerleri ile işlem değişkenleri arasındaki bağıntılar (Benzer vd. 2003)

5. Sonuç

Öğütme devrelerinin performansının değerlendirilmesi ve sürekli kontrol altında tutulması devrede oluşabilecek sorunların tespiti ve bunlara zamanında müdahale edilerek hızlı çözümler üretilmesine olanak tanımaktadır. Öğütme devrelerinin performanslarının değerlendirilebilmeleri için en etkili analitik yol devre etrafında tane boyu dağılımlarını belirlemek ve bunları kullanarak madde denkliği çalışması yürütmektir. Her bir devrenin performansı farklı olmaktadır bu nedenle bir devreye ait performansın belirlenebilmesi amacıyla tek yol devreden numuneler almaktır. Bilyalı değirmenin performansının izlenebilmesi amacıyla değirmen içinden veriler alınarak bunların tane boyu dağılımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Separatör performanslarının izlenebilmesi ve farklı koşullarda performans karşılaştırması yapılabilmesi amacıyla performans eğrilerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Altun O, Benzer, H, 2014 Selection and mathematical modelling of high efficiency air classifiers, Powder Technology 264, (1-8).

Austin L.G., Klimpel R.R., Luckie P.T., 1984, Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling, AIME Publ., NY.

Benzer H., Ergun L., Aydoğan N., Çelik İ. B., 2001, "Design and Optimization of Cement Grinding Circuits Using Simulation" New Trends in Mineral Processing IV-Ostrava 28-30 Haziran 2001, pp103-111.

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., Lynch A.J., Öner M., 2003, “Case Studies of Models of Tube Mill and Air Separator Grinding Circuits”, Proc. Of International Mineral Processing Congress-Cape Town, September 2003 pp 1524-1533.

Bond F.C., 1960, Three Principles of Comminution, Mining Congress Journal, August, 53-56.

Duda W. H., 1985, Cement Data Book-International Process Engineering in the Cement Industry, 3rd Ed., Bauwerlag GMBH, 302 pages.

Norholm, A., 1995, Notes on energy conservation, FL Smidth and Co. ¾ Seminar, Istanbul, Turkey

Fujimoto S., 1993, Reducing Specific power Usage in Cement Plants, World Cement, No. 7, 25-35

Gouda G.R., 1981, Technical Aspects of Comminution in the Cement Industry-Part 1, World Cement Technology, April, 112-122

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

Özer C.E., Ergün L., Benzer H., 2002, “Modelling of the Classification Behaviour of the Diaphragms Used in Multi-Compartment Mills” Proc. of 9th Int. Mineral Processing Symposium Extended Abstracts, 18-20 September Cappadocia Turkey pp148-150.