

GAZBETON ÜRETİMİ İÇİN KUARSİT KIRMA-ÖĞÜTME DEVRESİ TASARIMI VE UYGULAMA SONUÇLARI
THE DESIGN AND OPERATION OF QUARTZITE CRUSHING AND GRINDING CIRCUIT FOR AN AERATED AUTOCLAVED CONCRETE PRODUCT

İ. BAYRAKTAR, S. ERSAYIN, L. ERGÜN, H. BENZER

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı, Beytepe. 06532 Ankara

M.AKGÜN

Çimentoaş tzmir Çimento Fabrikası Türk A.Ş. Kırıkkale Gazbeton İşletmeleri. Rafineri Yolu, 71460 Kırıkkale

ÖZET: Bu bildiri, Çimentoaş A.Ş. tarafından Kırıkkale 'de kurulan gazbeton tesisine hammadde hazırlayacak kuvarsit kırma öğütme devresinin tasarım çalışmaları ve uygulamada elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tasarıma yönelik olarak laboratuvarda kırma, otojen ve yan-otojen öğütme testleri ile bilyalı değirmen için Bond iş indeksini belirleme testi yapılmıştır. Laboratuvar verileri değerlendirilerek, üç farklı akım şeması oluşturulmuş ve bu devrelerin performansları simülasyon teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir ve değirmen boyutları belirlenmiştir. Sonuçta üç kademe kırma+bilyalı değirmen alternatifinin en uygun alternatif olduğuna karar verilmiştir. Kırma öğütme devresi bu akım şemasına uygun olarak oluşturulmuştur. Tesisten elde edilen verilerin genel olarak tasarımda öngörülenlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

ABSTRACT: In this paper, the results of laboratory studies to design a crushing- grinding circuit for producing the raw material required for the production of Autoclave aerated concrete in Kırıkkale plant by Çimentoaş AS. are presented and the performance data obtained from the plant operation are compared to the design values. Laboratory scale crushing, autogeneous and semi-autogeneous grinding and Bond grindability tests were carried to form a basis for the design. Following the assesment of the laboratory data, three alternative flowsheets were proposed and their performances were evaluated by using simulation techniques. Eventually, it was concluded that the use of three stage crushing, and ball milling was the most suitable alternative for this particular operation. This flowsheet was implemented in the plant. The plant scale data were found, in general, to be in conformity with the design expectations.

1.GİRİŞ

Hafif yapı malzemeleri, alışlagelmiş taş, kerpiç, her türlü pişmiş kilden üretilen tuğlalara göre ısı yalıtımı, depreme dayanıklılık, hafiflikten kaynaklanan işçilik ve inşaat ekonomisi gibi üstünlüklere sahip olduğundan son yıllarda ülkemizde de yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Giderek artan piyasa talebine paralel olarak, 90'lı yıllardan itibaren bu tür inşaat malzemelerinin üretimi için yatırımlar da artmaktadır.

Hafif yapı malzemeleri içinde en yaygın olarak kullanılan, "Otoklavlırm iş Gözenekli Beton" (Aerated Autoclaved Concrete - AAC), ülkemizde "Gazbeton", "Ytong", "Beyaz Tuğla" gibi isimler altında üretilmektedir. Adı ne olursa olsun, bu

malzemelerin üretimindeki ana hammadde silistir ve yaklaşık olarak malzemenin yansını oluşturur.

Silis kaynağı olarak genelde silis kumu tercih edilmesine karşın kumun ekonomik olarak temin edilemediği yerlerde bölgesel kuvarsitler kullanılmaktadır. Silis kaynağı ne olursa olsun, silisin, %80-90'ı 90 mikronun altında öğütülmesi gerekmektedir. Silisin ince öğütülme gereksinimi, bu tesislerde özellikle öğütme devrelerinin yatırım ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, kırma-öğütme devrelerinin tasarımında ekonomik olabilecek tüm seçeneklerin ayrıntılı ve titizce çalışılması gereklidir.

Çimentoaş-Gazbeton Kırıkkale Tesisleri'nin kullandığı silis hammaddesi kuvarsit olup, Kırşehir civarındaki şirketin ruhsat sahalarından temin edilmektedir.

Bu bildiriye, tesislerin kuruluş aşamasından önce 1995 yılında ruhsat sahalarından alınan Örnekler üzerinde H.Ü. Maden Müh. Cevher Hazırlama laboratuvarında yapılan kırma öğütme çalışmaları ve tesis tasarımı ile tesisin çalışmaya başladığı Eylül 1996 tarihinden 31 Aralık 1998 tarihine kadar geçen 28 aylık sürede elde edilen verilerin karşılaştırılması yer almaktadır.

2. KIRMA-ÖĞÜTME DEVRESİNİN TASARIMI

Çalışma kapsamında üç farklı kırma-öğütme devresi seçeneği incelenmiştir:

- İ) Tek kademeli primer kırma+otojen değirmen,
- İi) Tek kademeli primer kırma+yan otojen değirmen,
- ii) Primer, sekonder, tersiyer üç kademeli kırma+bilyalı değirmen.

Bu seçenekleri incelemek amacıyla yürütülen çalışmalar, numune alma, kuvarsitin karakterizasyonu, kırma-öğütme testleri, simülasyon çalışmaları ve tasarımı kapsamıştır.

Deneyel çalışmalarda, sahadan alınan örnekler üzerinde önce kuvarsitin çeneli kırıcıda kırılma özellikleri, sonra da otojen, yarı otojen ve bilyalı sistemlerde öğütülebilirliği laboratuvar ölçeğinde incelenmiştir. Daha sonra simülasyon yazılımı kullanılarak üç seçenek için de uygun ekipman boyutları ve işletme parametreleri belirlenip, performans tahminleri yapılmıştır. Seçenekler, yatırım ve işletme maliyetleri (enerji, bilya, astar v.b tüketimleri) açısından karşılaştırılmıştır.

Örnek Alımı ve Kuvarsitin Karakterizasyonu

Kırkkale'ye 90 km uzaklıkta Kırşehir-Çayağzı bölgesinde Çimentaş'a ait kuvarsit ruhsat sahalanndaki kuvarsit, yüzeyde tıkkız ve masif görünümündedir. Bol çatlaklı mostra görünümü tipiktir. Demir oksit ve mika bakımından fakir örnekler beyaz renklidir. Ana bileşen olan kuvars, kayacın %90'dan fazlasını oluşturmaktadır. Kuvarsitler granoblastik bir dokuya sahiptir. Genelde ince taneli serisit kuvarsa eşlik etmektedir.

Ruhsat sahalanndaki kuvarsitin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Çayağzı mevki kuvarsitinin kimyasal bileşimi

Kuvarsit %	
SiO ₂	87.53 - 93.03
Al ₂ O ₃	3.53 - 1.67
Fe ⁺ O _j	2.7 - 1.43
CaO	0.45 - 0.35
MgO	0.4 - 0.31
K ₂ O	0.75 - 0.53
SO ₂	0.15 - 0.1
K.K	1.65 - 1.45
	98.16-98.87

Çimentaş A.Ş.'ye ait kuvarsit ruhsat sahasında açık işletme planlaması yapılmış alanda belirli bir desende delme patlatma yapılarak kuvarsit üretimine bire bir benzeşim sağlanarak örnek alımı yapılmıştır. Örnekler 200 mm'nin altına balyozla kırıldıktan sonra temsili olabilecek 1260 kg örnek, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir.

Kuvarsitin Kırılma ve Öğütülebilirlik Parametrelerinin Belirlenmesi

Kuvarsitin primer kırıcıda kırılma özelliğini belirlemek amacıyla, -100+50 mm boyut aralığına indirilmiş 50 kg'lık numune 25 mm ağız açıklığına ayarlanmış çeneli kırıcıya sürekli olarak beslenmiş ve kırma zamanı ölçülmüştür. Kırma zamanı ve Ölçek büyütme teknikleri kullanılarak, 100 mm çıkış açıklığında çalıştırılacak 900x600 mm'ük bir çeneli kırıcı için kapasitenin düzenli besleme şartlarında 75 t/saat olacağı belirlenmiştir.

Otojen ve yarı otojen öğütü lebi liri için in belirlenmesi

Otojen ve yan otojen öğütme testleri 00.7x0.5 m boyutlarındaki astarsız değirmende yapılmıştır. Otojen öğütme deney koşulları Çizelge 2'de verilmektedir. Yarı otojen testlerinde hacimce %6 oranında (50 kg) çelik bilya ilavesi yapılmıştır. Öğütme koşullarından yola çıkılarak bilya şarjı %85'i 40 mm ve %15'i 50 mm olarak seçilmiştir.

Çizelge 2. Otojen ve yan otojen öğütme deney koşulları

Hacimce doluluk oranı (%)	30
Toplam katı ağırlığı (kg)	100
Değirmen dönüş hızı (dev/dak)	36
Kritik hız oranı (%)	73

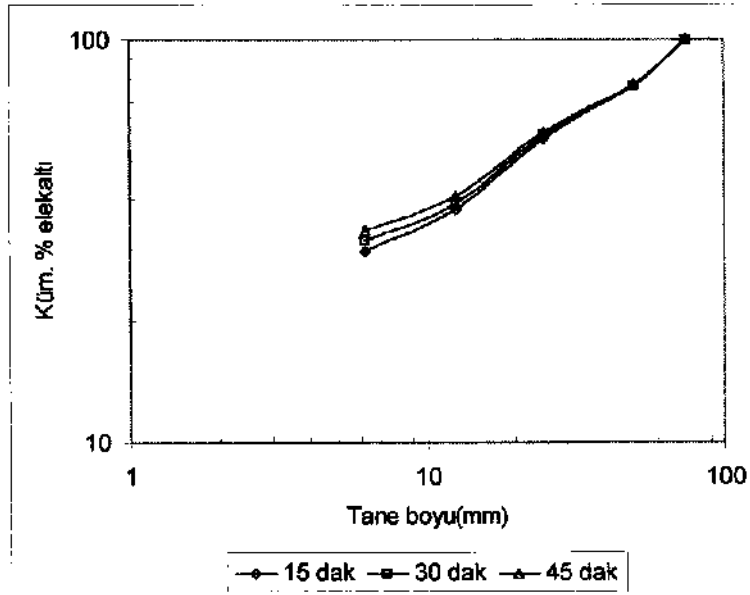
Otojen ve yarı otojen testleri için deney numunesi çeneli kırıcıda 75 mm'nin altına kırılarak hazırlanmıştır. Boyut dağılımı Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 3. Otojen ve Yarı Otojen Öğütme Testleri Beslemesi Boyut Dağılımı

Boyut (mm)	% ağırlık
-75+50	25.00
-50+25	22.00
-25+12.5	21.00
-12.5+6.2	10.00
-6.2	22.00
toplam	100.00

Kuarsit kuru otojen olarak toplam 45 dakika öğütülmüş ve 15 dakikada bir durdurularak tamamıyla kuru elenip boyut dağılımı belirlendikten sonra aynı malzeme değirmene tekrar şarj edilmiştir. Otojen öğütme sonunda ortaya çıkarı boyut dağılımları Şekil 1'de verilmektedir, iri boyutlarda fazlaca bir ufalanma meydana gelmemesine karşın orta boylu taneler otojen olarak öğünerek ince boyutlara geçmiştir. İri tanelerin fazla ufalanmaması otojen öğütme için arzu edilen bir durumdur. 45 dakikalık bir öğütme periyodu boyunca malzemenin -90 mikron boyutuna ufalanma hızının dakikada ortalama % 0.3 olduğu belirlenmiştir.

Yarı otojen öğütülebilirlik testleri otojen Öğütmeye benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen boyut dağılımları Şekil 2'de verilmektedir. Bilya şarjı iri boyların ufalanmasında çok az etkili olurken orta boylu tanelerin otojene oranla daha hızlı öğütülmesini sağlamıştır. 45 dakikalık toplam Öğütme süresinde kuvarsitin %21.9'u 90 mikronun altına geçmiş ve bu boyutun altına geçiş hızı dakikada ortalama %0.45 olmuştur. Sonuçlar yarı



Şekil 1. Otojen Öğütme Deney Sonuçları

otojenin, otojen öğütmeye oranla çok daha hızlı olacağını göstermektedir. Bu da otojene göre daha küçük bir değirmen kullanılarak aynı kapasitenin elde edileceği anlamına gelmektedir.

Bilyalı değirmen öğütülebilirliğinin belirlenmesi

Bilyalı değirmen için 90 mikronluk test eleği kullanılarak standart numunenin Bond yöntemine göre Öğütülebilirliği belirlenmiştir. Buna göre, denge durumunda öğütülebilirlik 1.522 gr/devir olmuş ve numunenin iş indeksi 12.34 kWh/t olarak bulunmuştur. Bu değer cevherin orta sertlikte bir kuvarsit olduğunu göstermektedir.

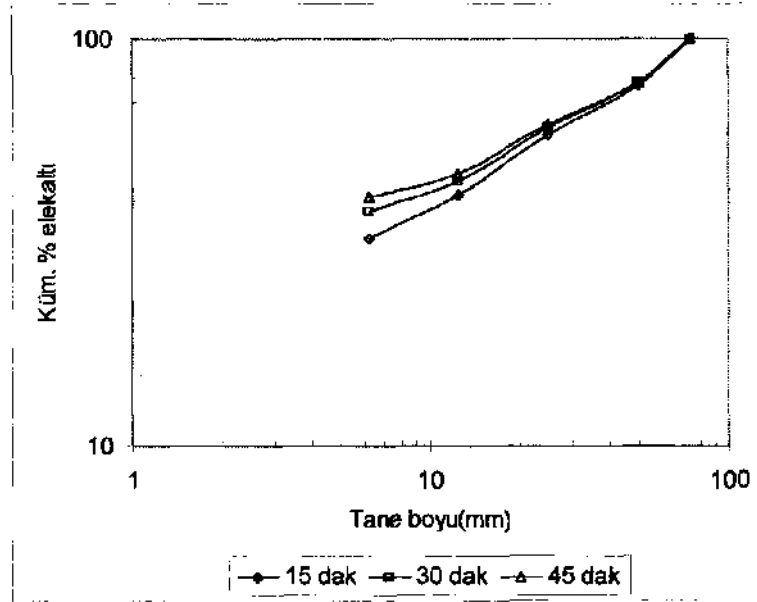
Simülasyon Çalışmaları

Simülasyon çalışmalarında yukarıda verilen 3 seçenek için belirlenen akım şemaları sabit tutularak önce uygun ekipman boyutlarının ve işletme parametrelerinin seçimi yapılmış, daha sonra Çimentoş-Gazbeton A.Ş. tarafından 26 ton/saat'lik kapasite baz alınarak, akım şeması seçeneklerinin performansları incelenmiştir. Kapasite belirleme

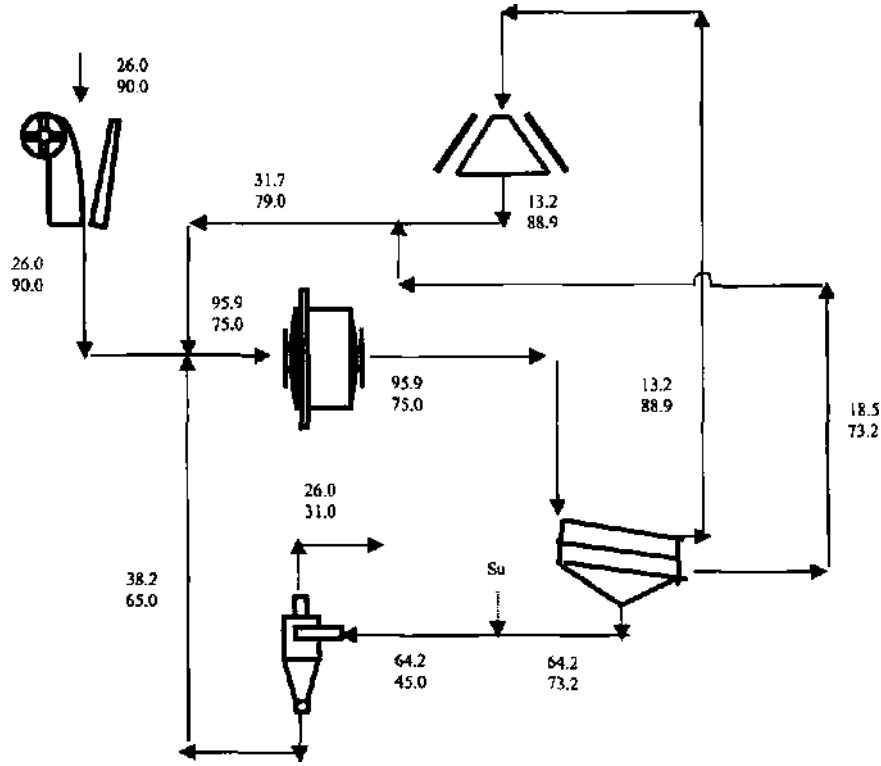
devreden yükün maksimum % 300 ile sınırlandırılmıştır. H.Ü. Bölümünde geliştirilen bilgisayar programı ile yapılan simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Otojen öğütme

Otojen öğütme simülasyonu da göz önüne alınan devrenin akım şeması Şekil 3'de verilmiştir. Şekilde herbir koldaki katı akış hızı (ton/saat) ve % katı değerleri yer almaktadır. Bu akım şemasında 100 mm çıkış açıklığı bir çeneli kırıcı kullanılarak gerçekleştirilecek kırmadan çıkacak cevherin stoklanması ve stoktan otojen değirmene beslemenin yapılması öngörülmüştür. Otojen değirmende 40 mm ızgara kullanılarak kritik boylu malzemenin bu yolla değirmenden alınması düşünülmüştür. Değirmen ürünü iki katlı bir eleğe beslenecek, +10 mm konik kırıcıda kırılarak, -10+0.5 mm kırılmış ürünle birlikte değirmene geri gönderilmek üzere bir siloda stoklanacaktır. -0.5 mm İse bir pompa ile hidrosiklona basılacaktır. Değirmende % katı oranı ağırlıkça % 75, siklon beslemesi ise % 45 katıdır.



Şekil 2. Yarı Otojen Öğütme Deney Sonuçları



Şekil 3. Otojen Öğütme Devresi

Simülasyon sonuçları, 26 ton/saatlik bir kapasite için 04x6 m'lik bir otojen değirmene İhtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Bu değirmenin enerji çekişi ise 698 kW olarak hesaplanmıştır.

03.8x4.2 m'lik bir değirmenin yeterli olacağını göstermiştir. Bu değirmenin toplam enerji çekişi ise 630 kW olarak tahmin edilmiştir. Devre ürününün % 92'sinin -90 mikron boyutunda olması beklenmektedir.

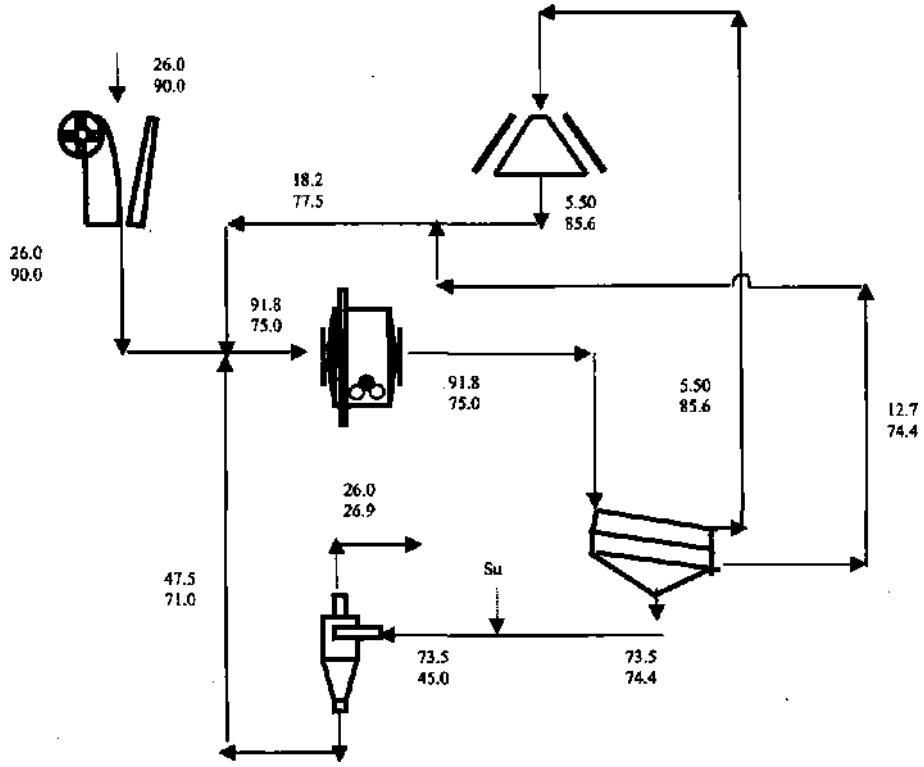
Yarı otojen öğütme

Bu devrenin akım şeması ve herbir koldaki katı akış hızları ve % katı içerikleri Şekil 4'de verilmiştir. Akım şeması genel olarak otojen öğütme ile aynıdır. Farklılıklar değirmene hacimce % 6 oranında -100 mm boyutunda bilyaların ilave edilmiş olması, ve kritik boyu kırmak için konik kinci gerektirmemesidir.

Bilyalı değirmende Öğütme

Öğütmenin bilyalı değirmenle yapıldığı akım şeması Şekil 5'te verilmektedir. Bu akım şemasında üç aşamalı kırılmayı takiben bilyalı değirmen yer almaktadır. Birincil kırıcı olan çeneli kırıcı çıkış açıklığının 100 mm, ikincil konik kırıcı çıkış açıklığının 40 mm ve üçüncül konik kırıcının ise 10 mm elekli kapalı devre çalıştırılması tasarlanmıştır. Değirmen hidrosiklonla kapalı devre çalışacaktır.

Simülasyon sonuçları bilya ilavesi nedeniyle öğütmenin otojene göre hızlanmasına bağlı olarak,



Şekil 4. Yarı Otojen Öğütme Devresi

Simülasyon çalışmaları bu devre ve verilen kapasite için 03.2x4.5 m boyutlarındaki asgari 590 kW'lık bilyalı değirmenin yeterli olacağını göstermiştir.

Seçeneklerin Karşılaştırılması

Seçeneklerin her biri için gerekli ana ekipman ihtiyaçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6: Seçeneklerde Yeralan Makine-Ekipmanlar

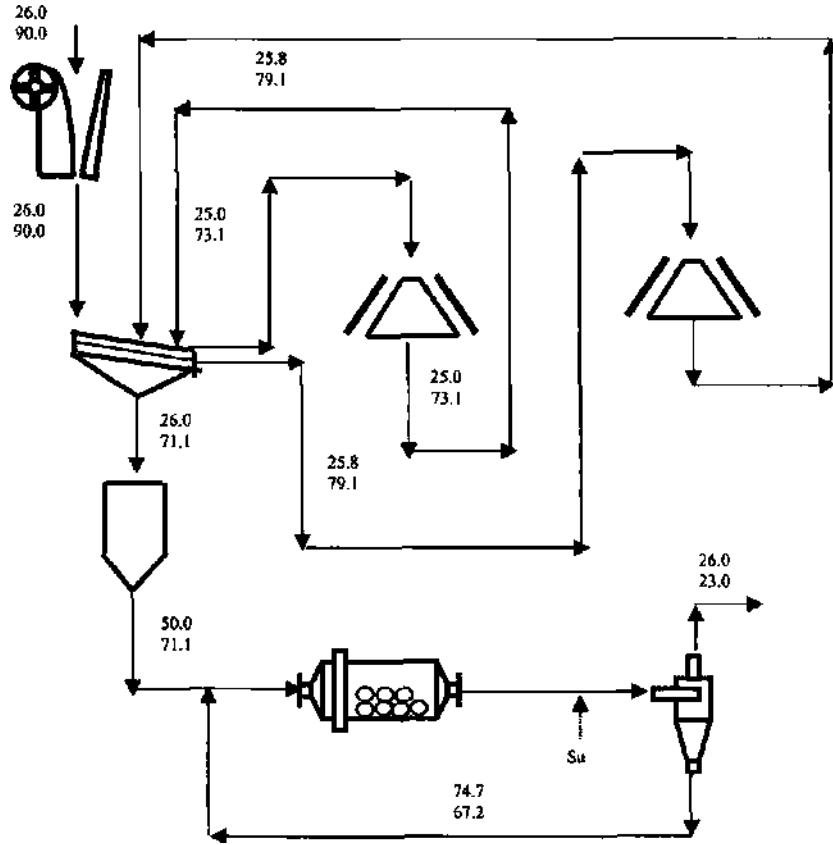
	Otojen Öğütme	Yarı Otojen öğütme	Bilyalı Değirmen
Çeneli Kinci	X	X	X
Konik Kinci	X		XX
Elek	X	X	X
Değirmen	X	X	X
Hidrosiklon	X	X	X

Seçenekler ayrıca ton başına tüketilecek enerji açısından da karşılaştırılmış ve bu değerler Çizelge 7'de verilmiştir. En yüksek enerji gereksinimi otojen değirmende olmakta, onu sırasıyla yarı otojen ve bilyalı değirmen izlemektedir.

Çizelge 7. Seçeneklerin Ton Başına Tüketecekleri Enerji

	Enerji Tüketim Tahmini (kWh/ton)
Otojen	28
Yarı Otojen	21
Bilyalı Değirmen	18

İşletme maliyetinde diğer bir önemli girdi ise bilya ve astar aşınmaları olacaktır. Değirmenlerin her



Şekil 5. Bilyalı Değirmen öğütme Devresi

üçünün de kauçuk kaplı olacağı düşünülmüştür. Otojen değirmen için bilya aşınması söz konusu değildir. Diğer iki alternatifin ton başına tüketeceği bilya miktarları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Yarı Otojen ve Bilyalı Değirmenlerde Ton Ürün Başına 550-600 Brinel sertlikteki Bilya Tüketimi

	Bilya Tüketimi (g/ton)
Yarı Otojen	800
Bilyalı Değirmen	1200

3. TASARIM SONUÇLARININ GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Otojen öğütme, enerji tüketimi, kuvarsit sahalarındaki düzensizlik sonucu yeterli öğütücü parçaların çıkmama riski ve ilk yatırım tutarının yüksekliği nedeniyle en kötü seçenek olduğundan önerilmemektedir, öğütme sistemleri kalitatif olarak aşağıdaki şekilde karşılaştırılabilir.

KRİTERLER	OTOJEN	YARI OTOJEN	BİLYALI
Yatırım Tutarı	©	©	©
İşletme Giderleri			
- Bakım-Onanım	©	®	©
-Bilya	©	©	©
-Astar	©	©	©
- Enerji	©	®	©
Kapasitede Dalgalanma	©	©	©
Kararlı İşletmeye Geçiş Süresi	©	©	©
Kontrol Edilebilirlik	©	©	©
İşe Amadelik	©	©	©

© :daha avantajlı

26 ton/saat kapasite ile %80'i -90 mikronluk kuvarsit öğütülmesi için teknik açıdan uygun akım şemaları- Şekil 4 ve Şekil 5 'deki akım şemalarıdır.

Yukarıdaki karşılaştırma çizelgesinden de görüleceği üzere amaca en uygun seçenek bilyalı değirmendir.

Konvansiyonel bir öğütme sistemi olan bilyalı öğütmede 26 ton/saat'lik bir kapasite için gerekli net değirmen boyutları 03200x4500 mm ve motor gücü de 650kW olarak saptanmıştır. Bilyalı değirmen ile Öğütmede 18 kwh/ton enerji ve 1200 g/ton bilya tüketimi tahmin edilmiştir. Ancak bu enerji tüketimi

Çizelge 9 Tasarımda Öngörülen ve Uygulamada Elde Edilen Enerji ve Bilya Tüketim Değerlerinin Karşılaştın İması

Yıl	Enerji Tüketimi kWh/ton				Bilya Tüketimi g/ton			
	Tasarım	Uygulama	Fark	%	Tasarım	Uygulama	Fark	%
1996	18	20.7	+2.7	13	1200	2835	1635	136
1997	18	19.8	+ 1.8	10	1200	2000	800	67
1998	18	20.1	+2.1	10.5	1200	2400	1200	100
Toplam	18	20.2	+2.2	10.9	1200	2230	1030	86

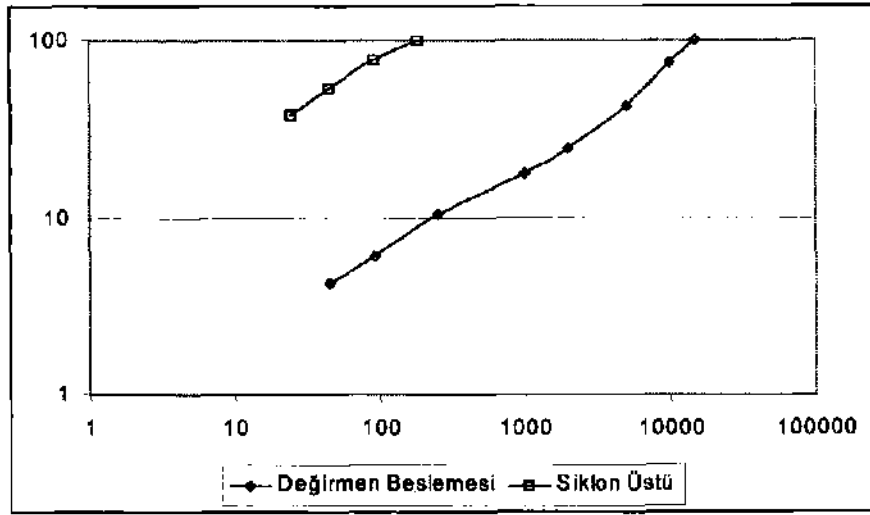
kapalı devre çalışan bilyalı değirmen için geçerlidir. Zira, gazbeton sektöründe açık devre öğütme yapılmakta bu da gereksiz yere 5-6 kWh/ton daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır. Ayrıca kapalı devre Öğütmede siklon üstü bir tiknerde kıvamlştırılacağından, çamur yoğunluğunu ayarlama kolaylığı sağlanmakta ve çamurun sıcaklığı problemi yaşanmamaktadır.

4. TESİS UYGULAMASI

Yukarıda verilen sonuçları değerlendiren Çimentoş yönetimi de Kırıkkale tesisi için en uygun devre alternatifinin 3 kademeli kırma + bilyalı değirmen olacağına karar vermiştir. Bu akım şemasına uygun olarak kurulan kırma-öğütme devresi 1996 yılında tamamlanarak devreye alınmıştır. Tasarımda önerilen 3.2 x 4.5 m'lik bilyalı değirmen yerine, en uygun teklifi veren üretici firmanın bu boyutlara en yakın boyutlu değirmen olan 03 x 5 m'lik bilyalı değirmen (710 kw) satın alınmıştır. Bu değirmenin % 35 bilya şarjında çalıştırılması ile istenilen kapasitede ürün inceliğinin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Devreye atma esnasında, tersiyer kinci ile kapalı devre çalışan eleğin açıklığının 10 mm'den 15 mm'ye çıkarılmasının işletim kolaylığı sağlayacağı görülmüş ve bu değişiklik yapılmıştır.

Devre şu anda 30 t/saat kapasite de çalıştırılmakta olup, değirmen besleme ve ürününden 1999 yılı başlarında alınan numunelerin boyut dağılımları Şekil 6'da verilmiştir. Beslemenin tasarlanandan biraz daha iri olmasına ve tesisin 30 t/saat kapasitede çalıştırılmasına karşın arzu edilen İncelikte bir ürün elde edilmektedir. Tasarımda değerleri enerji ve bilya tüketimi açısından da karşılaştırılmış ve bu

değerler Çizelge 9'da verilmiştir. Değirmenin enerji tüketiminin tasarlanan değer % 10-13 üzerinde olduğu görülmektedir. Aradaki fark kısmen (yaklaşık 0.5 kWh/ton) bilyalı değirmen beslemesinin tasarım değerinden daha iri olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca değirmen zaman zaman tam yükte çalıştırılmamaktadır. Bilya şarjı % 35 olup % 5'lik bir yükleme marjı vardır. Tam yükte çalışması durumunda enerji tüketiminin % 0.75-1.25 kWh/ton daha düşmesi beklenmektedir. Bu değerler



Şekil 6. Değirmen Besiemesi ve Ürünü Boyut Dağılımları

göz önüne alındığında tasarımla uygulama arasında önemli bir farklılık olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bilya tüketimi ise 2000-2835 g/ton arasında değişim göstermiştir. Ortalama tüketim, tasarımda Öngörülenin yaklaşık iki katı olmuştur. Değirmende kullanılan bilyaların zaman zaman İstenilenden daha az sertlikte olmalarının(5500-6000 yerine 3500-4000 Brinell) bilya tüketiminin yüksek olmasında etkili olduğu anlaşılmaktadır. İstenilen sertlikte bilyaların kullanıldığı dönemlerde bile bilya tüketiminin tasarım değerinin % 25 -40 arasında olması cevherin beklenenden daha aşındırıcı olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu bildiride, Çimentoş Kırıkkale Gazbeton tesisinin kırma öğütme devresini tasarlamak amacıyla yapılan deneysel ve simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tasarım değerleri tesisten elde edilen değerlerle karşılaştın İm ıştır. Tasarıma uygun olarak oluşturulan kırma Öğütme devresinin öngörülenin üzerinde bir kapasite ile arzu edilen boyut İnceliğinde bir ürünü ürettiği görülmüştür. Enerji tüketimi beslenenden % 10 kadar daha yüksek olmakla birlikte, bunun değirmen beslemesinden öngörülen daha iri olmasından, değirmenin tam yükte çalışmamasından ve kesikli çalışmadan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Kuvarsitin öngörülen daha aşındırıcı olması bilya

tüketiminin tasarımda öngörülenden daha yüksek olmasına yol açmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın yapılabilmesi için her türlü yardım ve maddi destek sağlayan ve sonuçların yayınlanmasına izin veren Çimentoş İzmir Çimento Fabrikası Türk A.Ş. Gazbeton İşletmelerinin Sayın Genel Müdürü Salim Poyraz' a teşekkürlerini sunarlar.

