



Orijinal Araştırma / Original Research

DİK MİLLİ DARBELİ KIRICILARDA ROTOR HIZI BOYUT KÜÇÜLTME İLİŞKİSİ

ROTOR SPEED - SIZE REDUCTION RELATIONSHIP IN A VERTICAL SHAFT IMPACT CRUSHER

Hakan Dünder^{a,*}

^a Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 26 Aralık / December 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 01 Mayıs / May 2018

Anahtar Sözcükler:

Dik milli darbeli kırıcı,
Rotor hızı,
Boyut küçültme,
Enerji tüketimi.

Keywords:

Vertical shaft impact crusher,
Rotor speed,
Size reduction,
Energy consumption.

ÖZ

Dik milli darbeli kırıcılar (VSI), agrega üretimi başta olmak üzere, dünya genelinde madencilikte geniş bir uygulama alanına sahiptir. Üçüncül ve dördüncül kırma aşamalarında kendine yer bulan dik milli darbeli kırıcı, nispeten kübik şekilli ürün vermesiyle agrega üretiminde, ince üretimi sebebiyle de madencilikte ön plana çıkmaktadır. Dik milli kırıcıda taneler yüksek hızda dönen rotor vasıtasıyla kırıcı duvarlarına doğru fırlatılmakta ve darbe altında kırılmaktadır. Ayarlanabilen rotor hızı sayesinde farklı enerji seviyelerinde kırma işlemi gerçekleştirilerek farklı inceliklerde ürün elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı rotor hızlarındaki kırıcı performansı boyut küçültme ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmiş olup ürün tane şekli yönünden herhangi bir değerlendirmede bulunulmamıştır. Sonuçlar artan rotor hızına bağlı olarak ürünün incelendiğini, kapasitenin de optimize edilerek enerji tüketimi açısından daha verimli bir operasyonel koşulun sağlanabileceğini göstermiştir.

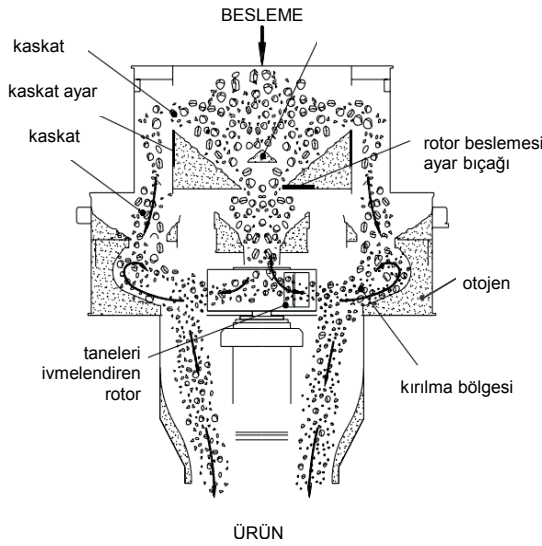
ABSTRACT

Vertical shaft impact crushers (VSI), mainly used in aggregate production, are operated in mining industry widespread in the world. The VSI, which is used as a tertiary or quaternary crusher, is very well known in aggregate industry by its production of cubical particles and in mining industry by its fines generation. The particles fed into the crusher is accelerated by means of the rotor and directed to the walls of the crusher where a high velocity impact breakage occurs. The adjustable rotor speed allows to crush the material from different energy levels to obtain different product finenesses. In this study the size reduction performance of the crusher was assessed with respect to rotor tip speed rather than particle shape. Results showed that the product gets finer as the rotor tip speed increases and the optimum operating condition can be achieved by adjusting the capacity of the crusher.

* Sorumlu yazar: hdundar@hacettepe.edu.tr * <https://orcid.org/0000-0001-5279-4728>

GİRİŞ

Düşük operasyonel maliyet ile ince kırma fikrinin bir sonucu olarak ortaya çıkan dik milli kırıcı, ilk olarak 1960'ların sonlarına doğru Yeni Zelanda'da tasarlanmıştır (Rodriguez, 1990). Özellikle agrega üretiminde, konik kırıcıya kıyasla, kübik şekilli ürün vermesi önemli bir rol oynarken, ince üretimi daha fazladır (Bengtsson ve Evertsson, 2006; 2008, Lindqvist, 2008). Tasarımı itibariyle, dağıtıcı bir rotor ve kırma haznesinden oluşan dik milli kırıcı tanelerin yüksek hızlarda birbirine ve kırıcı duvarına çarpmasını sağlayarak boyut küçültme işlemini gerçekleştirmektedir. Konvansiyonel kırıcılardaki gibi ayarlanabilen bir ağız açıklığı olmadığından, dik milli kırıcılarda incelik ayarı rotor hızı ile yapılmaktadır. Şekil 1'de dik milli kırıcıdaki malzeme hareketini gösterir basit bir çizim verilmektedir.

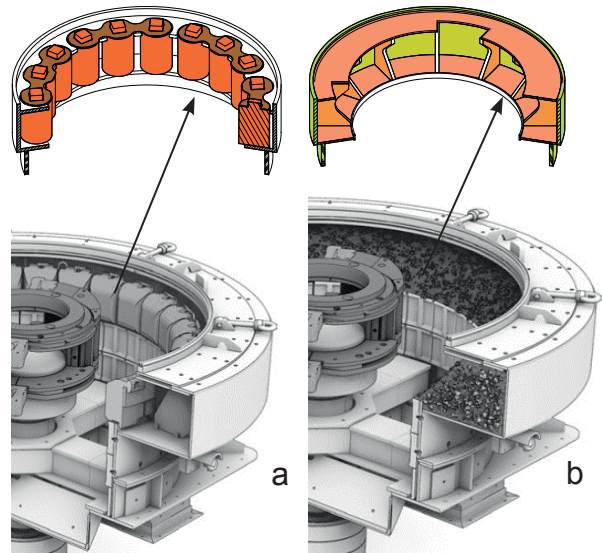


Şekil 1. Dik milli kırıcıdaki malzeme hareketi ve kırma işlemi (Metso Kılavuz)

Şekil 1'den görüleceği üzere kırıcıya beslenen malzemenin bir kısmı doğrudan kırıcı rotora giderken, bir kısmı da yukarıdan taşma sonucu (kaskat akışı) kırma bölgesine yönlendirilmektedir. Yüksek hızlarda rotoru terk eden malzeme kırma bölgesinde, kaskat akışıyla gelen taneler ile çarpışmakta ve taneler arasındaki enerji transferine bağlı olarak boyut küçültme işlemi gerçekleşmektedir. Rotoru terk eden taneler ile

kaskat akışıyla birlikte gelen tanelerin çarpışması sonucu kırma bölgesinde bir tane bulutu ortaya çıkmaktadır. Yüksek hızdaki çarpışmalara bağlı olarak bu tane bulutu kırma bölgesini hemen terk etmemekte ve işlem sırasında tekrarlı kırma gerçekleşmektedir. Artan kaskat akışa bağlı olarak tane bulutu içerisindeki tane miktarı artmakta ve enerji transfer verimi buna bağlı olarak iyileşmektedir. Öte yandan artan kaskat akışı iri boyutta ürün elde edilmesine ve kapasitede artışa sebep olmaktadır. Kaskat akış miktarını düzenlemek amacıyla ayarlanabilir bıçaklar bulunmaktadır. Ayrıca rotora giden malzeme miktarı da kontrol edilebilmektedir.

Yüksek hızlarda gerçekleşen kırma işlemi neticesinde rotorda ve kırıcı duvarlarında yüksek oranda aşınmaların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu aşınmaların önüne geçebilmek amacıyla farklı rotor ve kırma haznesi tasarımları geliştirilmiştir. Üretici firmaya bağlı olarak farklı tasarımları olsa da başlıca iki tip kırıcı duvarı uygulanmaktadır (Şekil 2). Şekil 2 b'de görülen malzeme kutusu tasarımında taneler haznelerde birikerek otojen bir kırıcı duvarı ortaya çıkarmaktadır. Bu sayede tanelerin malzeme yatağı üzerinde kırılması sağlanmaktadır. Böylece, çelik astar (Şekil 2a) uygulamalarına kıyasla aşınma maliyetleri düşmektedir.



Şekil 2. Kırıcı duvarında kullanılan astar tipleri a: çelik astar b: malzeme kutusu (stone box) (BHS Broşür)

Bu çalışma kapsamında Metso Barmac[®] B6150 ve B7150 serisi dik milli kırıcıların rotor hızına bağlı boyut küçültme performansları incelenmiş olup ürün şekli ile ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır.

1. TESİS ÇALIŞMALARI

Metso Minerals'in Yeni Zelanda Matamata'da Whitehall Agregası tesisinde kurulu, endüstriyel ölçekteki Barmac[®] B6150 ve B7150 serisi dik milli kırıcılar kullanılarak testler yapılmıştır. Çizelge 1'de kırıcılara ait teknik özellikler verilmektedir. Test çalışmaları sırasında Yeni Zelanda'nın pek çok bölgesinde bulunan ve oldukça sert bir kayaç olan kumtaşı sınıfındaki "greywacke" kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kırıcı teknik özellikleri

	B6150	B7150
Maks. besleme boyu (mm)	37	45
Rotor çapı (mm)	560	700
Rotor devri (rpm)	1500-2500	1100-2000
Motor gücü (kW)	185	260

Normal şartlarda eleklerle kapalı devre çalıştırılan kırıcılar test çalışmalarında açık devre çalıştırılarak farklı çalışma koşullarında besleme ve ürün numuneleri alınmıştır. Test çalışmalarında rotor hızı başlıca değişken olmakla birlikte sabit rotor hızında farklı tonajlar da denenmiştir. Çizelge 2'de test planı yer almaktadır.

Çizelge 2. Test planı

Rotor hızı (m/s)	B6150 (t/h)	B7150 (t/h)
45	95	182
55	60, 95, 130	182
65	95	182

Testler sırasında malzeme kutusu olarak nitelendirilen otojen astar kullanılmış olup, rotor hızının doğrudan etkisinin görülmesi amacıyla kaskat akışa izin verilmemiştir. Testler esnasında kırıcıların stabil çalıştığı kumanda odasında güç tüketimleri ve tonajları takip edilerek değerlendirilmiş olup, ani duruş verilmiştir. Ani duruşla birlikte besleme ve ürün bantlarından numuneler alınmıştır. Şekil 3'te kırıcılara ait genel görünüm ile numune alma noktalarına ait fotoğraflar yer almaktadır. Yanyana konumlandırılmış olan kırıcılar yatayda dairesel hareket eden tek bir besleme bandı vasıtasıyla beslenebilmektedir.

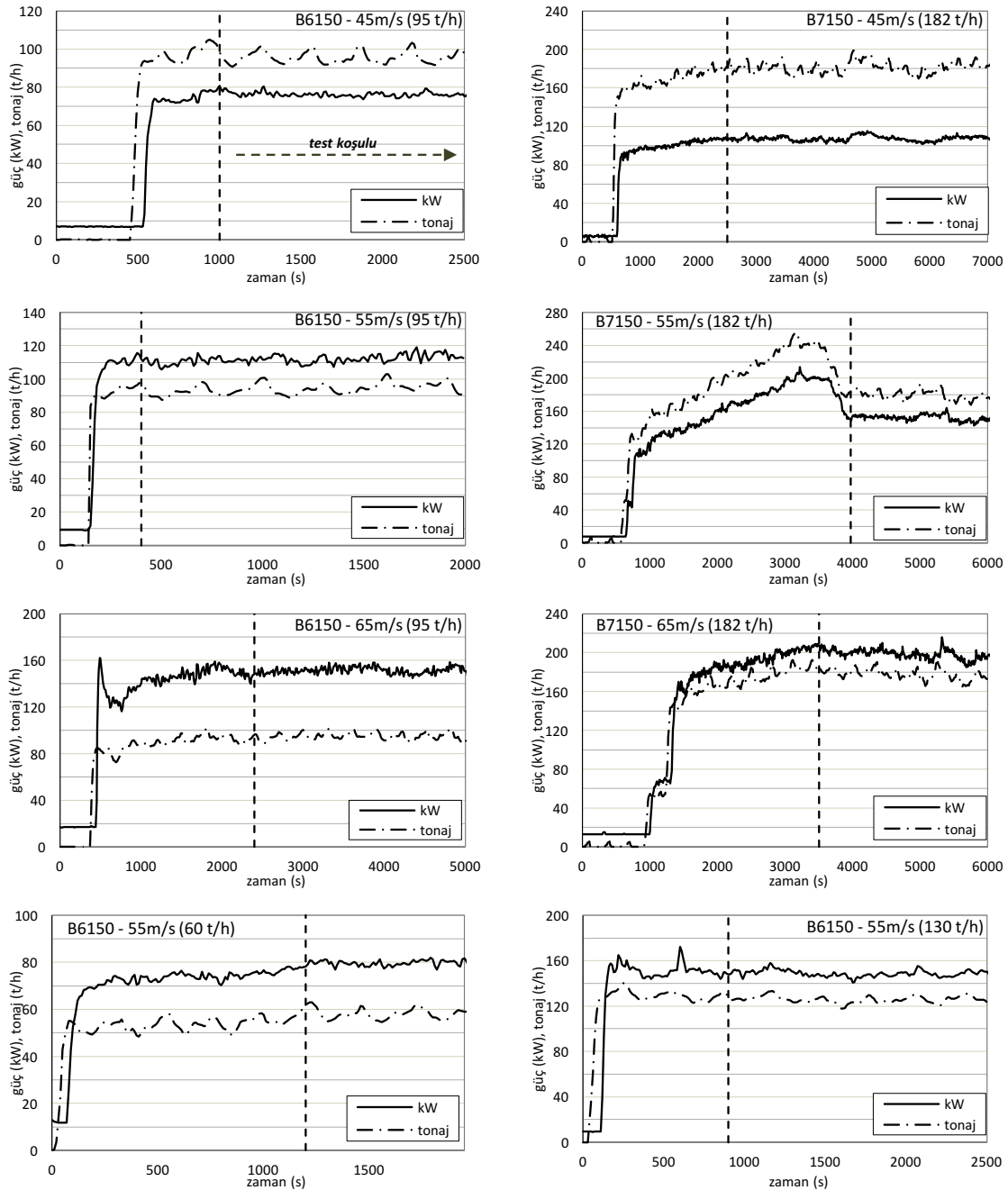


Şekil 3. a: B6150 operasyonu
b: B7150 operasyonu
c: kırıcı beslemesi numune alma noktası
d: kırıcı ürünü numune alma noktası

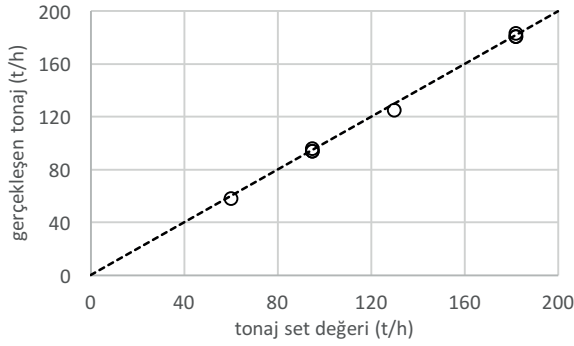
Kumanda odasında kaydedilen güç ve tonaj değerlerinin zamana bağlı değişimi farklı testler için Şekil 4'te yer almaktadır. Kırıcıların stabil çalışmaya başladığı belirlendikten sonra belirli bir süre beklenerek ani duruş verilmiştir. Şekil 4'teki eğilimler incelendiğinde güç ve tonaj değerlerinin ani duruştan önce stabil olduğu görülmektedir.

Çizelge 2'de yer alan tonaj değerleri test çalışmaları öncesinde belirlenen ve set edilen değerlerdir.

Operasyon sırasında anlık ölçülen ve kumanda odasına aktarılan tonaj değerleri dikkate alınarak test sırasında gerçekleşen tonaj değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5'te gerçekleşen ve set edilen tonaj değerleri verilmektedir. Gerçekleşen tonaj değerlerinin set değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Sonraki bölümlerde yapılan değerlendirmelerde gerçekleşen tonaj değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Kumanda odası verileri

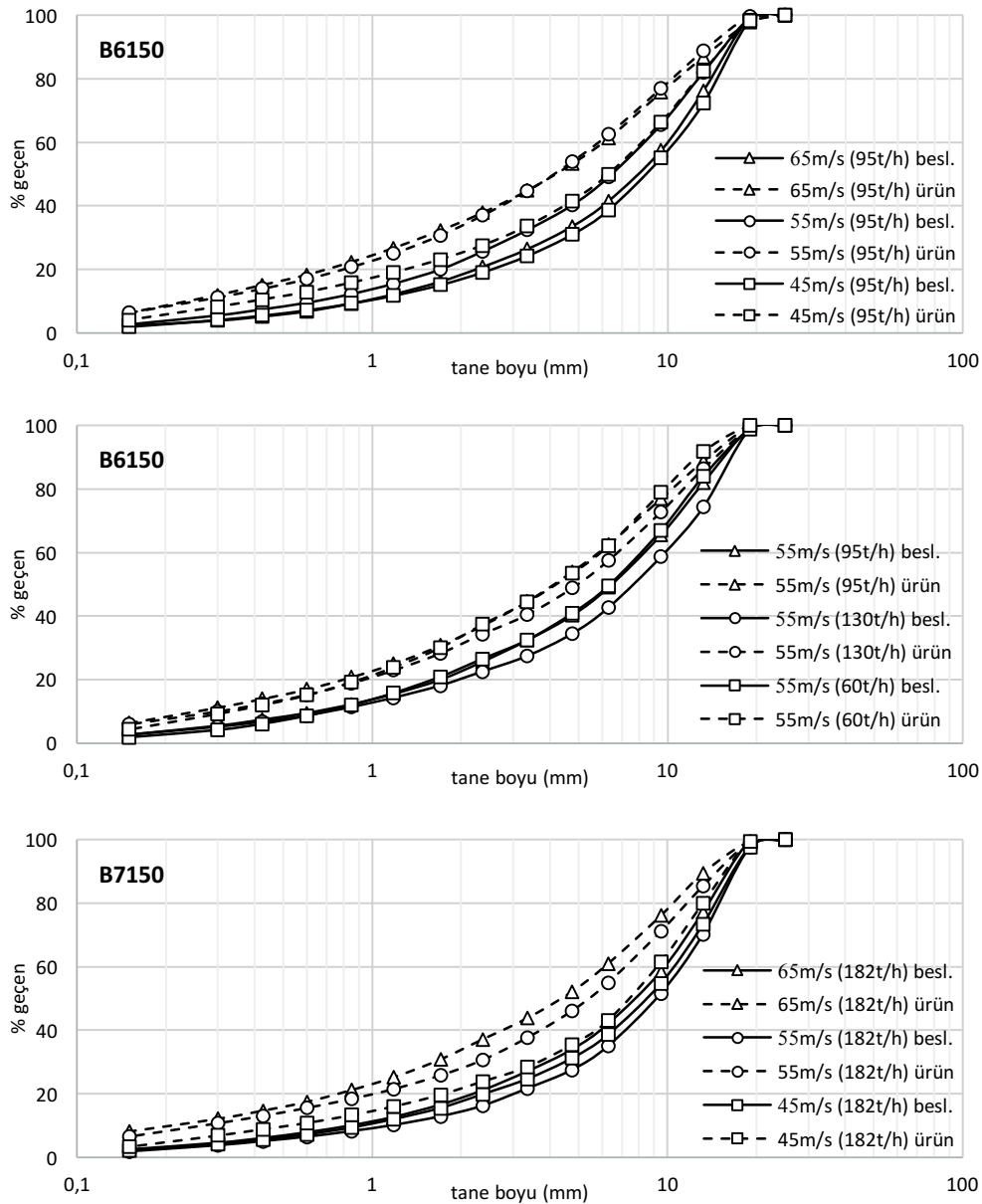


Şekil 5. Set tonaj değerleri ile gerçekleşen tonaj değerleri

2. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Test çalışmaları sonrasında, alınan numunelerin boyut dağılımları belirlenmiştir. Şekil 6'da iki farklı kırıcıda farklı test koşullarında elde edilen besleme ve ürün boyut dağılımları verilmektedir. Test çalışmalarında kırıcılara beslenen malzemenin üst boyu yaklaşık 25 mm'dir.

Kırıcı testleri sırasında kaydedilen güç tüketimleri göz önünde bulundurularak, kırıcıların rotor hızına bağlı boyut küçültme performansları değerlendirilmiştir. Kırıcıların boyut küçültme performansları indirgeme oranları ve ince



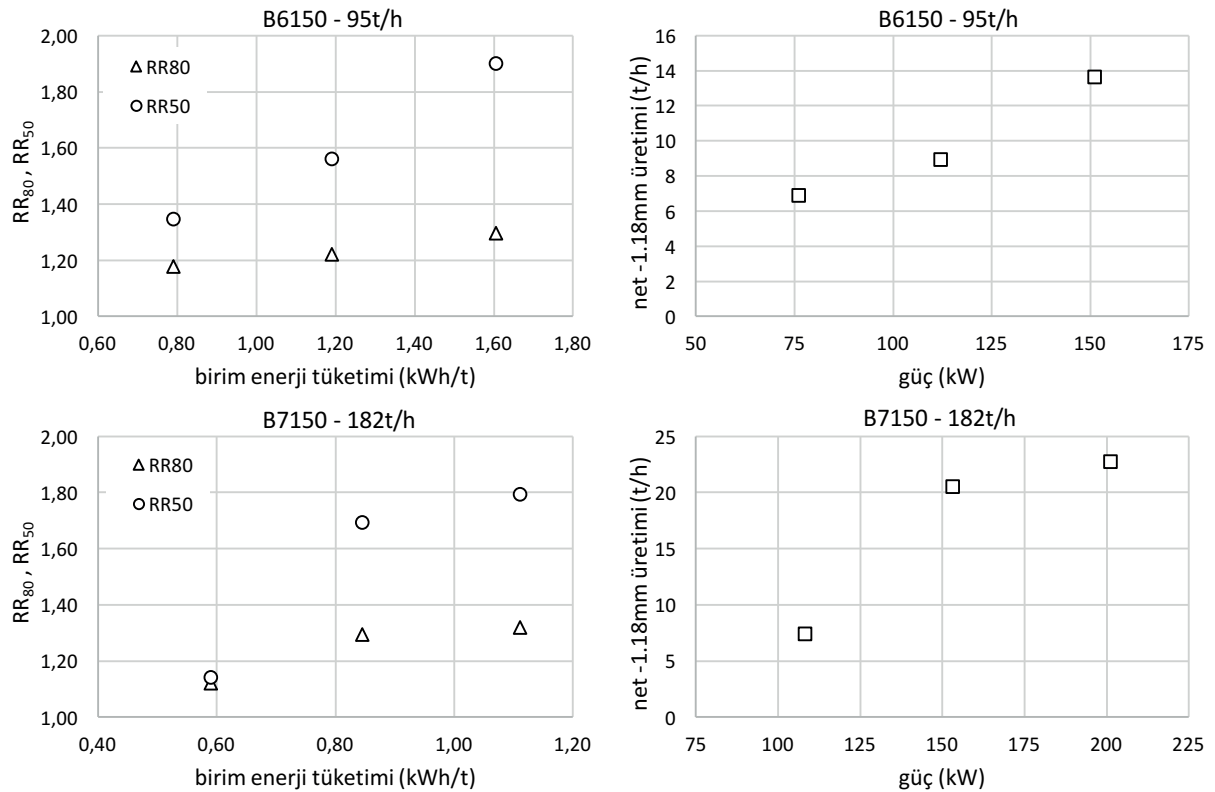
Şekil 6. Kırıcı beslemesi ve ürünü boyut dağılımları

üretimleri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu kapsamda RR80, RR50 parametreleri ile net -1.18mm üretimi baz alınmıştır. RR80 ve RR50, besleme ve ürünün, sırasıyla, %80 ve %50'sinin geçtiği boyların oranı, -1.18mm net üretimi ise ilgili boyun üründeki miktarının beslemedeki miktardan farkıdır.

Şekil 7'de sabit tonaj değerlerinde farklı rotor hızlarında ortaya çıkan güç tüketimine bağlı boyut küçültme ilişkileri verilmektedir. Her iki kırıcıda da artan rotor hızına bağlı olarak boyut küçültme performansının arttığı, özellikle ince boylardaki indirgeme oranındaki artış hızının iri boylardakine oranla daha fazla olduğu görülmektedir. İnce üretimi yönünden incelendiğinde ise artan enerjiye bağlı olarak 1.18mm'den küçük tanelerin üretim hızının arttığı görülmektedir. Sadece

1.18mm için değerlendirme yapılmış olmasına rağmen daha ince boylarda da aynı durumun söz konusu olduğu görülmüştür.

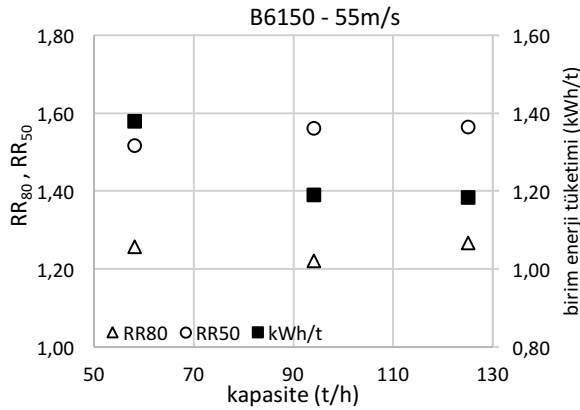
Dik milli darbeli kırıcılarda ürün inceliği rotor hızı ile ayarlanmakta olup, kapasitenin ise verimli kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda sabit rotor hızında farklı kapasitelerde B6150 tipi kırıcıda ilave bir çalışma yapılmıştır. Şekil 8'de kapasitenin kırıcı indirgeme oranı ve birim enerji tüketimine etkisi verilmektedir. İndirgeme oranları incelendiğinde, çalışmanın yapıldığı tonaj aralığında, kapasitenin boyut küçültme üzerinde etkili olmadığı nitekim artan kapasiteye bağlı olarak azalan birim enerji tüketimi dikkate alındığında limitler dahilinde yüksek kapasitelerde çalışmanın verimlilik açısından önemli olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Farklı rotor hızlarında enerji-boyut küçültme ilişkisi

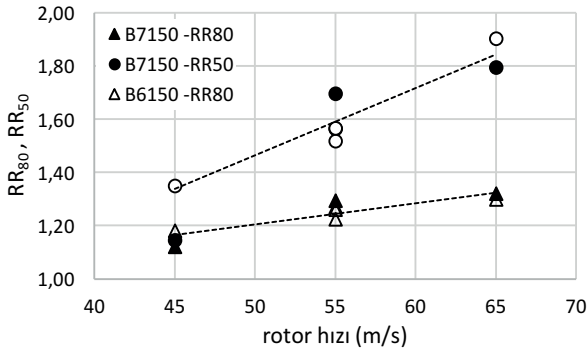
Dik milli kırıcının boyut küçültme performansı; rotor çapına ve hızına, kırma haznesi tasarımına ve kaskat miktarına bağlı olarak değişmekle birlikte, kırma işlemi için tane üzerine etkiyen kuvvet rotor çapı ve açılal hızın karesi ile doğru

orantılıdır (Nikolov, 2004). Bu noktadan hareketle, rotor ebatları farklı olan iki kırıcının boyut küçültme performansları ayrıca karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma birim enerji tüketimleri yerine rotor çizgisel hızları dikkate alınarak yapılmıştır.

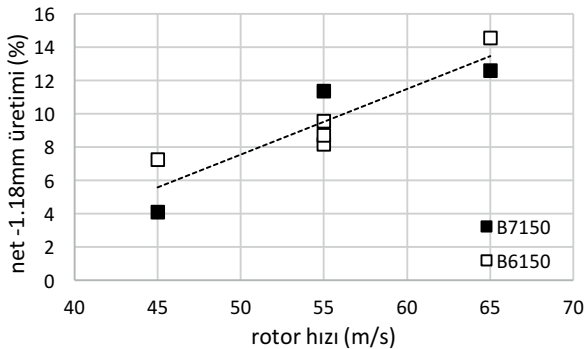


Şekil 8. Farklı tonaj değerlerinde indirgeme oranı ve birim enerji tüketimi

Rotor çapı ve açısal hızın bir sonucu olarak ortaya çıkan çizgisel hız taneye etkiyen kuvvetin bir göstergesidir. Şekil 9 ve 10'da, bu çalışma kapsamında elde edilen tüm verilerin yer aldığı, rotor çizgisel hızına bağlı indirgeme oranları ve oransal bazda ince üretimi sırasıyla yer almaktadır.



Şekil 9. Rotor hızı-indirgeme oranı ilişkisi



Şekil 10. Rotor hızı-ince üretimi ilişkisi

Şekil 9 ve 10 incelendiğinde, indirgeme oranı ve ince üretiminin rotor hızına bağlı olarak belirli bir bandta salındığı ve rotor hızı ile birlikte arttığı görülmektedir. Bu bandın, özellikle Şekil 8 üzerinden tartışılan kapasite optimizasyonu ile daralacağı öngörülmektedir. B7150'de 45m/s'lik rotor hızında RR50 değerinde bir sapma görülmektedir, bu durumun deneysel bir hata olduğu düşünülmektedir.

YORUM

Bu çalışma kapsamında, dik milli kırıcıda rotor hızının boyut küçültme üzerine etkisi incelenmiş olup, çalışma sırasında boyut küçültmeye etkisi olan kırıcı kaskat akışları sıfırlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, artan rotor hızına bağlı olarak taneye etki eden kuvvetin artması sonucunda taneler daha yüksek enerji seviyesinden kırılmakta ve daha ince ürün elde edilmektedir. Taneye etki eden kuvvetin çizgisel hızın bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir, buna paralel olarak kurulu motor gücü ve rotor çapı farklı olan kırıcıların boyut küçültme performansının aynı rotor çizgisel hızında birbirine yakın olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmayı destekleyen Metso Minerals'e ve katkılarından dolayı Whitehall Agregat Tesisi çalışanlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Bengtsson, M., Evertsson, C., 2006. Measuring Characteristics of Aggregate Material from Vertical Shaft Impact Crushers. Minerals Engineering, 19, 1479–1486.

Bengtsson, M., Evertsson, C., 2008. Modelling of Output and Power Consumption in Vertical Shaft Impact Crushers. International Journal of Mineral Processing, 88, 18–23.

BHS Sonthofen RSMX, VSI Rotor Centrifugal Crusher Brochure, http://www.bhs-sonthofen.de/no_cache/en/products/crushing-technology/rotor-centrifugal-crusher.html?tx_z7variantsdownloads%5Bdownload%5D=13.

Lindqvist, M., 2008, Energy Considerations in Compressive and Impact Crushing of Rock. Minerals Engineering, 21, 631–641.

Metso Barmac B1100 Series VSI Crusher Operation & Maintenance Manual.

Nikolov, S., 2004, Modelling and Simulation

of Particle Breakage in Impact Crushers. International Journal of Mineral Processing, 74, 219–225.

Rodriguez D.E., 1990, The Tidco Barmac Autogenous Crushing Mill – A Circuit Design Primer. Minerals Engineering, Vol. 3, No. 1/2, pp. 53-65, 1990.