

Ortalama Tane Boyutunun Laboratuvar Ölçekli Kazılabilirlik Tayininde Kullanılması

Utilization of Mean Particle Size for Assessment of Laboratory Scale Rock Cuttability

S. Yaşar ve A. O. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Spesifik enerji, makine ile kazıda kayaç kesme işleminin verimliliğini gösteren en önemli parametrelerden biridir. Makine ile kazıda spesifik enerji ya da kazı verimliliği oluşan pasanın parça boyut dağılımının bir fonksiyonudur. Oluşan pasanın parça boyutu büyüdükçe kazı verimliliği artmaktadır. Pasa irilik katsayısı parça boyutunun bir göstergesidir ve kazı verimliliğinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak ortalama tane boyutu da pasanın parça boyutunun belirlenmesinde ve kazı verimliliğinin göstergesi olarak kullanılabilir. Ortalama tane boyutu daha önceki çalışmalarda, delme işleminin verimliliğinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmıştır. Ancak mekanize kazının verimliliğinin belirlenmesinde başvurulmamış bir yöntemdir.

Bu çalışmada üç farklı kayaç ve bir cevher numunesi laboratuvar ortamında küçük boyutlu kayaç kesme deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerin ardından toplanan pasalar, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm'lik eleklerden elenerek tane boyut dağılımları belirlenmiştir. Tane boyut dağılımı kullanılarak ortalama tane boyutu belirlenmiştir. Ardından aynı kesme derinliklerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen spesifik enerji değerleri ortalama tane boyutları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak aynı kesme derinliğinde yapılan deneylerde ortalama tane boyutunun daha büyük olduğu kesme denemelerinin spesifik enerji değerlerinin tüm numuneler için daha düşük olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT Specific energy is the best indicator of mechanical rock cutting efficiency. Specific energy is a function of particle size distribution of yield occurred in mechanical excavation. Rock cutting efficiency increases with increasing particle size of yield. Coarseness index is an indicator of particle size and it is frequently used for determination of rock cutting efficiency. However mean particle size is an alternative method for determination of particle size of yield and rock cutting efficiency. Mean particle size is frequently used for determination of drilling efficiency. However mean particle size has never been used for rock cutting efficiency purposes.

In this study, three different rocks and an ore sample were conducted to laboratory small scale rock cutting test. Yield occurred after rock cutting trials were gathered and particle size distribution of each trial were determined by screening yields using 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm and 0,25mm sieves. Mean particle sizes were assessed with particle size distribution curves. Afterwards specific energy value of each cutting trial was calculated and mean particle size values were plotted with specific energy. Eventually, it has been concluded that specific energy values for cutting trials of same cutting depths which formed coarser particles were found to be lower.

1 GİRİŞ

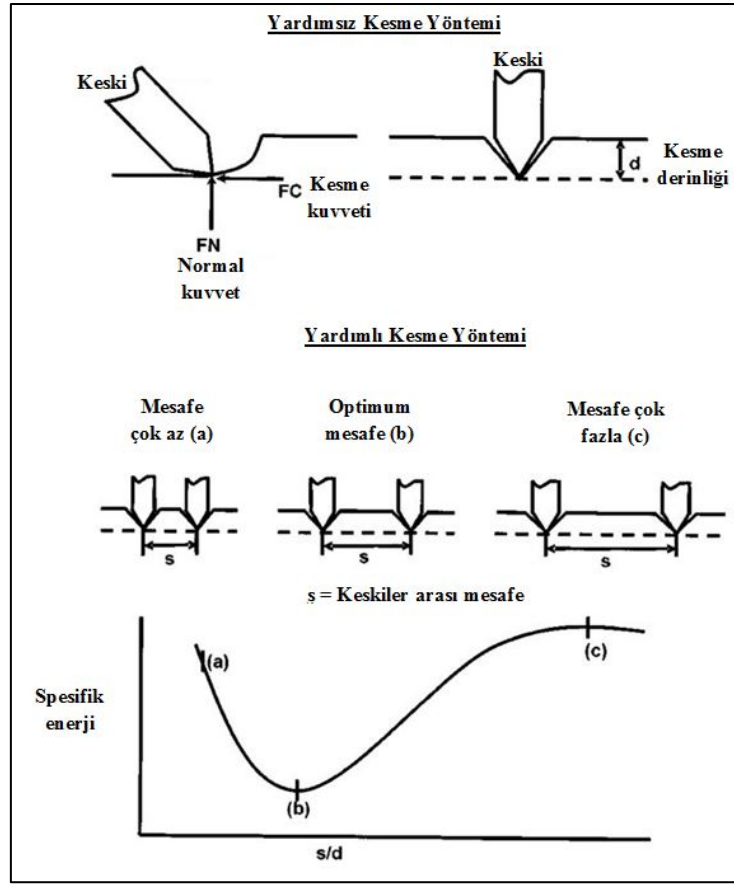
Mekanize kazıda, kazı işleminin verimliliğinin belirlenmesi önemli bir yere sahiptir ve spesifik enerji kazı verimliliğinin en iyi göstergesidir (Bilgin vd., 2006). Spesifik enerji, birim hacimdeki pasayı kazmak için harcanan enerji olarak tanımlanmaktadır. Kazılan malzemenin boyut dağılımı kazı verimliliği ve aynı zamanda spesifik enerji ile ilintilidir. Kazı mekaniği çalışmalarında pasanın tane boyut dağılımının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi pasa irilik katsayısıdır (PİK). PİK birimsiz bir sayıdır ve kazılan malzemenin tane boyut dağılımının hesaplanmasıyla bulunmaktadır (Roxborough ve Rispin, 1973). Kazılan malzeme belirli bir elek serisinden elenmektedir ve eleküstü malzeme miktarlarının toplamı pasa irilik katsayısını vermektedir. Kullanılacak elek serisinin boyutları kazılan pasanın durumuna göre belirlenmektedir (Kahraman vd., 2004).

Spesifik enerjinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan iki yöntem bulunmaktadır, bunlar; deneysel ve ampirik yöntemlerdir (Bilgin vd., 2006 ve Yaşar vd. 2015). Spesifik enerji deneysel olarak Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kayaç kesme deneyleri yardımı ile belirlenmektedir. Ampirik yöntemlerde ise daha önce gerçekleştirilen kesme deneylerinden ya da sahadan elde edilen spesifik enerji değerlerinin genellikle kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri ile ilişkilendirilmesi yardımı bulunan tek ya da çok değişkenli eşitlikler yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerin içinde en kesin sonucu veren şüphesiz kesme deneyleridir. Kesme deneyleri genellikle iki başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; tam boyutlu kesme deneyi ve küçük boyutlu kesme deneyidir.

Tam boyutlu kesme deneyinde, deney sırasında kullanılan gerçek keskilere gelen keski kuvvetleri 3 boyutlu dinamometre vasıtasıyla belirlenmektedir. Bu deneyde yaklaşık 0,5 m³'e varan boyutlarda kayaç numuneleri kesme işlemine tabi tutulmaktadır. Keski kuvvetlerinin en kesin belirlenme yöntemi tam boyutlu kesme deneyidir (Bilgin vd., 2014).

Diğer kesme deneyi ise Roxborough ve Philips (1974) tarafından geliştirilen ve 1987 yılındaki kayaç kazılabilirliğinin tayini için gerçekleştirilen çalışmada kabul edilebilir deney olarak gösterilen küçük boyutlu kesme deneyidir (Bamford, 1987). Küçük boyutlu kesme deneyinde, 7,6 cm ve daha küçük çaptaki karot numuneleri ve küçük boyutlardaki blok numuneler indeks keski yardımı ile kesilebilmektedir (McFeat-Smith and Fowell, 1979). İki deney arasında göze çarpan en belirgin farklılıklar, kullanılan keski ve kesilen kayaç numune boyutlarıdır. Tam boyutlu kesme deneyinde sahada kullanılan keski kullanılırken, küçük boyutlu kesme deneyinde indeks keski kullanılmaktadır. Diğer yandan tam boyutlu deneyde çok büyük blok numuneler kesilebilmekteyken, küçük boyutlu deneyde ise karot ya da küçük bloklar kesilebilmektedir.

Birçok çalışmada spesifik enerji ile kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Ancak geçmiş çalışmalar incelendiğinde, spesifik enerjinin yalnızca kayaç özelliklerinin değil aynı zamanda kesme derinliği ya da keski arası mesafe gibi işletimsel parametrelerin de fonksiyonu olduğu görülmektedir (Çopur vd., 2001). Şekil 1'de görüldüğü gibi laboratuvarda kayaç kesme iki yöntemle yapılmaktadır. Bunlar; yardımcı ve yardımcı olmayan kesme yöntemidir. Yardımsız kesmede, tek bir keski bağımsız olarak kazı yapmaktadır. Yardımlı kesmede ise keski arası etkileşim vardır ve bir anlamda kazı yaparken birbirlerine yardım etmektedirler. Pratikte makine ile kazıda kesme işlemi yardımcı kesmedir. Keski arası mesafe çok önemli bir değişkendir ve kazının verimliliğini büyük oranda etkilemektedir. Şekil 1'den görülebileceği gibi keski arası mesafe için bir optimum nokta bulunmaktadır. Bu mesafenin çok az olduğu durumlarda kayaç gereğinden fazla ufalanmakta bu da birim hacim için çok daha fazla enerji harcanmasına neden olmaktadır. Diğer yandan mesafenin çok fazla olduğu durumlarda kesme işlemi sırasında oluşan yanıl çatlaklar birleşmemekte ve bundan dolayı iki keski arasındaki parça koparılamamaktadır. Bu da kazıyı imkânsız hale getirmektedir. Bunların dışında harcanan spesifik enerjinin belli bir keski arası mesafe/kesme derinliği değerinde optimum değere yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 1. Yardımlı ve yardımsız kayaç kesme yöntemleri ve keski arası mesafenin spesifik enerji üzerine etkisi (Çopur vd., 2001'den değiştirilerek).

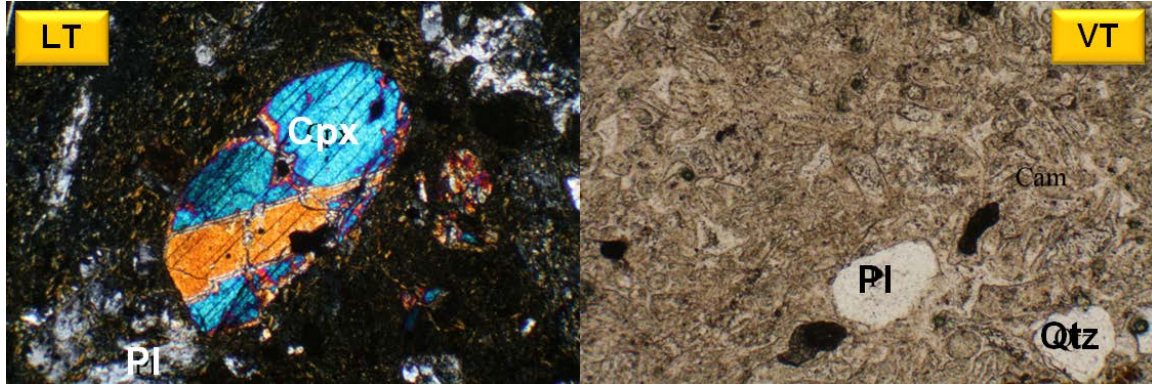
Delme performansı ya da kazı verimliliğinin değerlendirilmesi açısından pasa irilik katsayısı ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanılmıştır (Roxborough ve Rispin, 1973; Bilgin, 1977; Roxborough vd., 1981; Altındağ, 2003; Çopur vd., 2003; Altındağ, 2004; Kahraman vd., 2004; Tunçdemir vd., 2008; Chang vd., 2009, Balcı 2009; Abu Bakar ve Gertsch, 2012). Ortalama tane boyutu ise yalnızca delme performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Altındağ (2003) kireçtaşı ocağında gerçekleştirilen 19 farklı delik delme işleminin verilerini değerlendirerek, deliklerden çıkan paşayı eleyerek boyutlandırmıştır, sonuç olarak ilerleme hızının ortalama tane boyutu ile arttığı sonucuna ulaşmıştır. Altındağ (2004) farklı bir işletmede gerçekleştirilen darbeli delme işlemini incelemiştir ve çıkan paşayı inceleyerek önceki çalışmaya benzer sonuçlar elde etmiştir. Kahraman (2004) darbeli delici ile delinen patlatma deliklerinden paşayı toplayarak ilerleme hızı ile ilişkilendirmişlerdir. Sonuç olarak ortalama tane boyutunun artması ile ilerleme hızının arttığı belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu parametresi delme performansı ile ilişkilendirilmiştir. Ancak ortalama tane boyutunun kazı performansının ya da spesifik enerjinin belirlenmesinde kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada üç farklı kayaç ve bir cevher numunesi laboratuvar ortamında küçük boyutlu kayaç kesme deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerin ardından toplanan pasalar, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm'lik eleklerden elenerek tane boyut dağılımları belirlenmiştir. Tane boyut dağılımı kullanılarak ortalama tane boyutu belirlenmiştir. Ardından aynı kesme derinliklerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen spesifik enerji değerleri ortalama tane boyutları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak aynı kesme derinliğinde yapılan deneylerde ortalama tane boyutunun daha büyük olduğu kesme denemelerinin spesifik enerji değerlerinin tüm numuneler için daha düşük olduğu belirlenmiştir.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Kayaç Örnekleri

Kayaç ve cevher numuneleri Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan maden işletmelerinden ve sahalardan elde edilmiştir. Bu numuneler, traverten, litik tuf, vitrik tuf ve kurşun cevheridir. Litik tuf ve vitrik tuf numunesi için ince kesitler oluşturularak mineral içeriği ve yapısı incelenmiştir. Kurşun cevheri ise parlak kesit ile incelenmiştir. Şekil 2'de vitrik tuf ve litik tuf numunelerinin mikroskop altındaki görüntüsü görülmektedir. Tablo 1'de ise numunelerin mineralojik ve petrografik açıklamaları verilmiştir.



Şekil 2. Vitrik tuf ve litik tuf numunelerinin mikroskop altındaki görüntüleri

Tablo 1. Numunelerin mineralojik ve petrografik açıklamaları

Numune	Açıklama
Traverten	İnce kesit incelemesine gerek görülmemiştir.
Litik Tuf	Kaba taneli ve kırıntılı dokuya sahip olan kayaç cam, plajiyoklas (pl), klinopiroksen(cpx) mineralleri ve bol miktarda volkanik kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kayacı meydana getiren kırıntıların tane bollukları sırasıyla % 80 kayaç kırıntısı, % 20 plajiyoklas ve klinopiroksenden oluşmaktadır. Bileşen boyutları 3 mm ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Kayaç parçaları çoğunlukla köşelidir. Özellikle camsı alanlar bozmuşdur.
Kurşun Cevheri	Kayaç pirit ve galen minerallerinden oluşmaktadır.
Vitrik Tuf	Örneğin % 20'si kristallerden % 80'ni ise camdan meydana gelmektedir. % 20'lik kesim köşeli taneli kuvars (qtz), plajiyoklas ve sanidin minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars, plajiyoklas ve sanidin minerallerinin tane boyutları yaklaşık 0,01 mm ile 0,25 mm arasında değişmektedir.

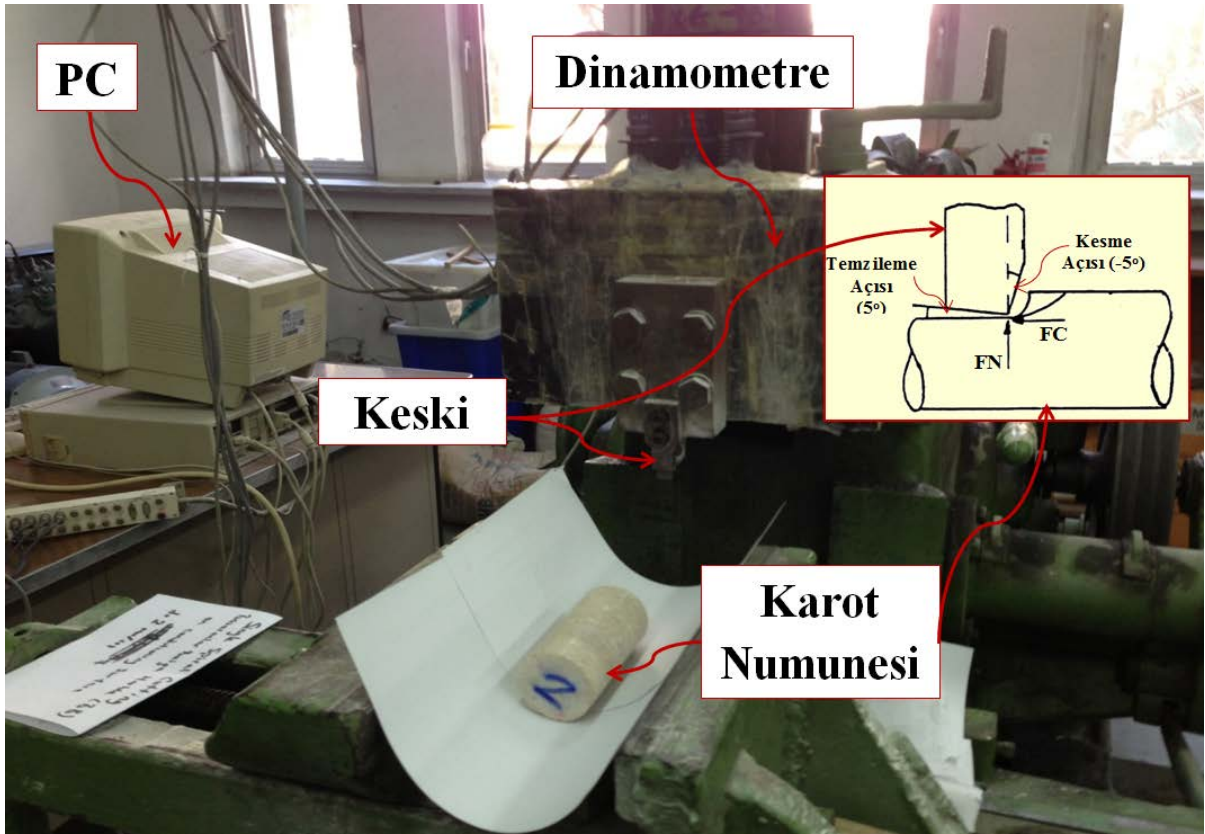
2.2 Küçük Boyutlu Kayaç Kesme Deneyi

Bu deneyden elde edilen spesifik enerji değeri kollu galeri açma makinelerinin performans tahmininde sıklıkla kullanılmıştır (McFeat-Smith ve Fowell 1977, 1979). Deneyde standart olarak kesme açısı -5° ve temizleme açısı 5° olan kama uçlu indeks bir keski kullanılmaktadır. Performans tahmininde kullanılırken standart olarak 5 mm kesme derinliği uygulanmaktadır. Keski genişliği ise 12.7 mm'dir. Ancak değişen koşullarda istenilen derinlikte kesme yapılabilmektedir. Keski, keski tutucu vasıtası ile direk olarak dinamometreye bağlanmıştır.

Kesme işlemi sırasında keskiye gelen üç boyutta kuvvetler dinamometre vasıtası ile kaydedilip bilgisayara gönderilmektedir. Kesme işlemi 40 cm/sn hızla gerçekleştirilmektedir. Veri toplama sistemi, dinamometre, A/D kartı, sinyal işleyen yükseltici ve bilgisayardan oluşmaktadır. Veri toplama hızı en az 1000 Hz olmalıdır (Bilgin vd., 2014). Dört farklı karot numunesi (traverten, litik tüf, vitrik tüf ve kurşun cevheri) kesme işlemine tabi tutulmuştur. Her numune en az iki kez kesilmiştir. Deney sırasında keskiye gelen kuvvetler dinamometre yardımı ile kaydedilmiştir. Elde edilen kesme kuvveti yardımı ile spesifik enerji değeri hesaplanmıştır.

$$SE = \frac{FC}{Q}$$

Burada SE spesifik enerji (MJ/m^3), FC kesme işlemi sırasında keskiye gelen kesme kuvvetlerin ortalaması (kN) ve Q 1 km boyunca kazı yapıldığında ortaya çıkacak olan pasa miktarıdır (m^3/km). Şekil 3'te İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bulunan küçük boyutlu kesme seti görülmektedir.



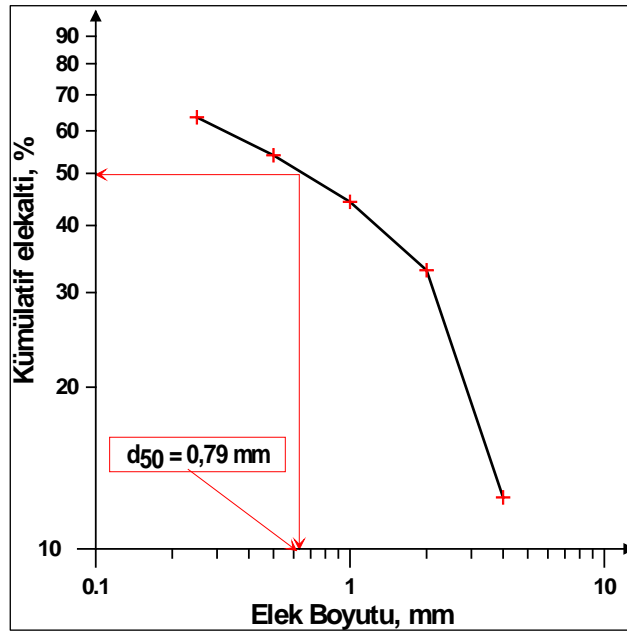
Şekil 3. Küçük boyutlu kesme seti ve deney detayları

2.3 Pasanın Boyutlandırılması

Kesme deneylerinin ardından toplanan pasalar tartılarak kaydedilmiştir. Ardından pasalar sırası ile 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm'lik eleklerden elenerek sınıflandırılmıştır. Ardından her kesme denemesinde elde edilen pasa için tane boyut dağılım eğrisi logaritmik ölçekte çizilmiştir. Malzemenin % 50'sinin geçtiği boyut ortalama tane boyutu olarak kabul edilmiştir. Tablo 2'de kurşun cevherinde gerçekleştirilen kesme sonucunda oluşan pasanın tane boyut dağılımı verilmiştir. Şekil 4'te kurşun cevherinde gerçekleştirilen kesme sonucunda oluşan pasanın boyut dağılım grafiği verilmiştir. Bu duruma göre pasanın ortalama tane boyutu 0,79 mm'dir. Diğer tüm denemeler için aynı işlem tekrarlanmıştır.

Tablo 2. Kurşun cevherinin pasasının tane boyut dağılımı

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Toplam Eleküstü (%)
+ 4	0,51	12,47	12,47
4 -2	0,84	20,53	33,00
2 -1	0,46	11,25	44,25
1- 0,5	0,4	9,78	54,03
0,5 – 0,25	0,39	9,54	63,57
- 0,25	1,49	36,43	100



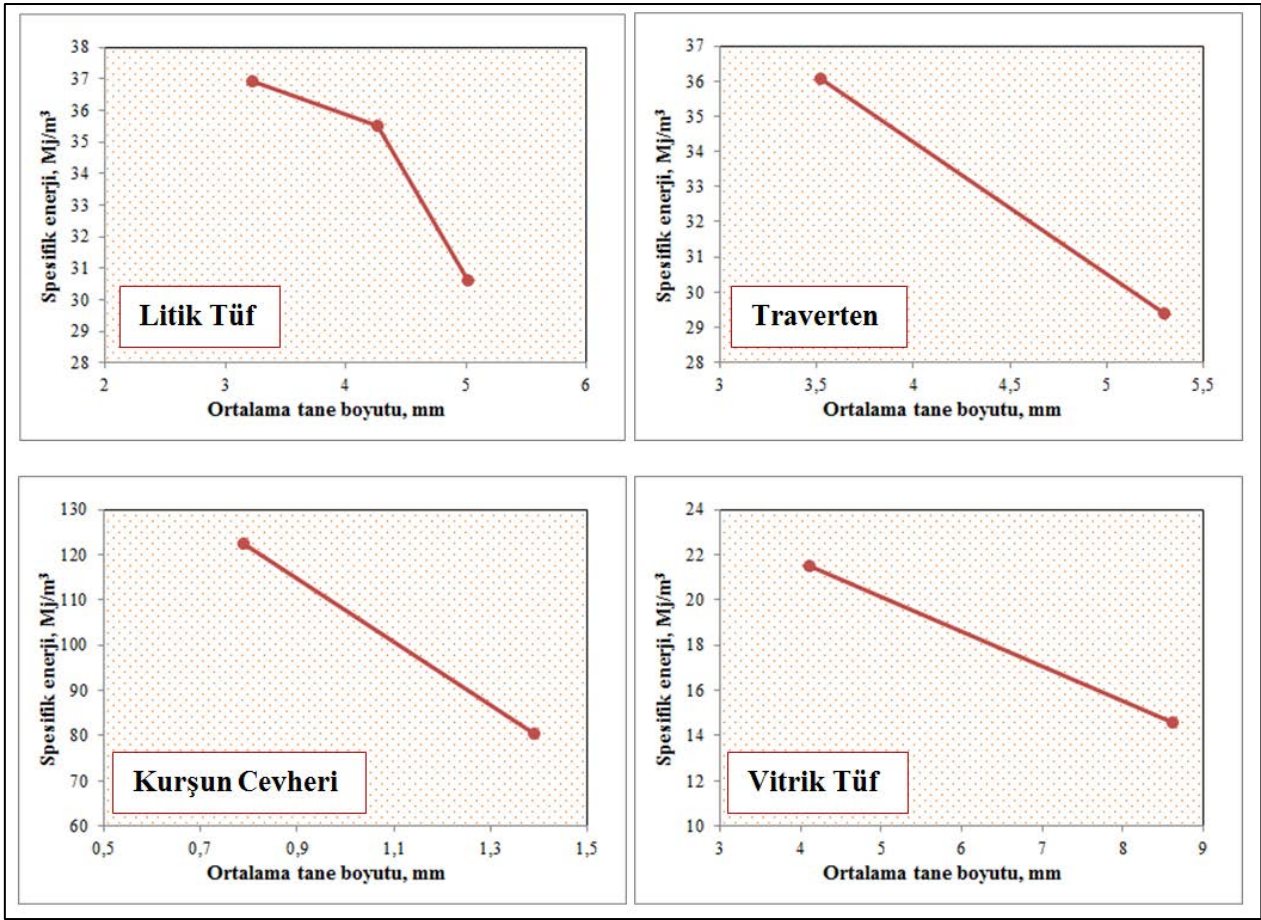
Şekil 4. Kurşun cevheri için gerçekleştirilen ilk kesmenin sonucunda oluşan tane boyut dağılımı

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Kesme deneylerinden ve pasaların boyutlandırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kesme deneylerinden elde edilen toplu sonuçlar

Numune	Kesme Derinliği (mm)	Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Ortalama Tane Boyutu (mm)
Traverten	5,0	29,38	5,30
	5,0	36,06	3,52
Litik Tüf	2,5	30,59	5,02
	2,5	35,49	4,27
	2,5	36,91	3,22
Kurşun Cevheri	1,5	122,40	0,79
	1,5	80,51	1,39
Vitrik Tüf	5,0	21,49	4,11
	5,0	14,57	8,62



Şekil 5. Ortalama tane boyutu ile spesifik enerjinin değişimi

Şekil 5'te dört farklı numune için çizilmiş grafikler görülmektedir. Grafikler incelendiğinde spesifik enerji değerinin her numune için ortalama tane boyutun artması ile düştüğü görülmektedir. Ortalama tane boyutunun pasa irilik katsayısı ile paralel olarak arttığını varsayarsak bu sonuçlar geçmiş çalışmalar ile örtüşmektedir. Geçmiş çalışmalarda araştırmacılar spesifik enerji değerinin pasa irilik katsayısının artması ile azaldığını tespit etmişlerdir ((Roxborough ve Rispin, 1973; Bilgin, 1977; Roxborough vd., 1981; Çopur vd., 2003; Tunçdemir vd., 2008; Chang vd., 2009, Balcı 2009; Abu Bakar ve Gertsch, 2012).

Bunlara ek olarak çeşitli araştırmacıların delici makinelerin delme performanslarının değerlendirilmesi amacıyla ortalama tane boyutuna başvurduğu daha önce belirtilmişti (Altındağ, 2003; Altındağ, 2004; Kahraman vd., 2004). Bu çalışmalarda araştırmacılar delicilerin ilerleme hızının pasa irilik katsayısı ve ortalama tane boyutu ile arttığını belirtmişlerdir. İlerleme hızının artması verimliliğin artmasına işaret ettiği söylenebilir. Spesifik enerji de ilerleme hızına paralel olarak verimliliğin göstergesi olarak sayıldığı için bu da bu çalışmada elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

SONUÇLAR

Çalışma süresince 4 farklı numune küçük boyutlu kesme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen pasalar 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm boyutlarındaki eleklerden elenerek tane boyut dağılımları belirlenerek ortalama tane boyutları belirlenmiştir. Kesme deneyinden elde edilen spesifik enerji değerleri ortalama tane boyutları ile ilişkilendirilmiştir. Tüm numuneler için spesifik enerji değerinin ortalama tane boyutunun artması ile birlikte azaldığı görülmektedir.

Bu çalışma daha geniş kapsamlı çalışmalara ön ayak olması için gerçekleştirilen bir ön çalışmadır. Numune sayısı ve numunelere uygulanan deney sayısı sınırlı sayıda kalmıştır. Bundan dolayı daha geniş kapsamlı genellemeler ve sonuçlara ulaşmak için daha çok sayıda numuneye ve daha fazla sayıda kesme deneyine ihtiyaç duyulmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, gerek deneysel çalışma bölümünde yardımlarını esirgemeyen gerekse de tecrübelerini paylaşmaktan kaçınmayan İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e, Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR'a, Doç. Dr. Cemal BALCI'ya ve Doç. Dr. Deniz TÜMAÇ'a sonsuz teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca yazarlar laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Emre AVUNDUK'a ve Arş. Gör. Ramazan ÇOMAKLI'ya şükranlarını bildirirler.

KAYNAKLAR

- Abu Bakar, M, Z ve Gertsch, L, S, 2012. Disc cutting tests on dry and saturated sandstone: muck as a performance estimator. *In: Proceedings of the SME Annual Meeting & Exhibition*, Seattle, Washington, USA (preprint number 12–104).
- Altındağ, R, 2003. Estimation of penetration rate in percussive drilling by means of coarseness index and mean particle size. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 36, s. 323–332.
- Altındağ, R, 2004. Evaluation of drill cuttings in prediction of penetration rate by using coarseness index and mean particle size in percussive drilling, *Geotechnical and Geological Engineering*, 22, s. 417–425.
- Balcı, C, 2009. Correlation of rock cutting tests with field performance of a TBM in a highly fractured rock formation: A case study in Kozyatagi-Kadikoy metro tunnel, Turkey. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24, s. 423-435.
- Bamford, W, E, 1987. Workshop on rock cuttability and drillability, 6. *ISRM Congress*, Montreal, Canada, s. 1508-15010.
- Bilgin, N, 1977, Investigation into mechanical cutting characteristics of some medium and high strength rocks. *Ph.D. Thesis*, Newcastle Upon Tyne University, England, 332 s.
- Bilgin, N, Demircin, M, A, Çopur, H, Balcı, C, Tuncdemir, H, Akcin, N, 2006. Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 43, s. 139–156.
- Bilgin, N, Çopur, H, Balcı, C, 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, CRC Press, 366 s.
- Chang, S, Jee, W, W, Choi, S, Bae, G, 2009. TBM rock cutting performance rate of sub-river tunnel in Seoul. *In: Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress*, Budapest, 7 s.
- Çopur, H, Tunçdemir, H, Bilgin N, Dincer, T, 2001. Specific energy as a criterion for use of rapid excavation systems in turkish mines. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Sec*, 110, s. 149–157
- Çopur, H, Bilgin, N, Tunçdemir, H, Balcı, C, 2003. A set of indices based on indentation tests for assessment of rock cutting performance and rock properties. *Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 103, s. 589-600.
- Kahraman, S, Develi, K, Yaşar, E, 2004. Predicting the penetration rate of percussive blasthole drills using coarseness index and median particle size. *CIM Bulletin*, 97, 1083.
- McFeat-Smith, I, Fowell, R, J, 1977. Correlation of rock properties and cutting performance of tunnelling machines. In: Potts, E.L.J., Attewell, P.B. (eds). *Proceedings of The Conference on Rock Engineering*, University of Newcastle Upon Tyne, s. 582–602.
- McFeat-Smith, I, Fowell, R, J, 1979. The selection and application of roadheaders for rock tunneling. In: Maevis, A.C., Hustrulid, W.A. (eds). *Proceedings of The Rapid Excavation and Tunneling Congress*, Atlanta, s. 261–279.
- Roxborough, F, F ve Rispin, A, 1973. The mechanical cutting characteristics of the Lower Chalk. *Tunnels and Tunnelling*, s. 45–67.
- Roxborough, F, F ve Philips, H, R, 1974. Experimental studies on the excavation of rocks using picks. *Advances in rock mechanics, Third ISRM Congress, Proceedings Book*, Denver, s. 1407-1412.
- Roxborough, F, F, King, P, Pedroncelli, E, J, 1981. Tests on the cutting performance of a continuous miner, *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, January, s. 9-25.

- Tunçdemir, H, Bilgin, N, Çopur, H, Balcı, C, 2008. Control of rock cutting efficiency by muck size. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 45, s. 278-288.
- Yaşar, S, Çapık, M, Yılmaz, A, O, 2015. Cuttability assessment using the Drilling Rate Index (DRI). *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, DOI: 10.1007/s10064-014-0715-4.