

## Kayaç kazılabilirliğinin tayini için taşınabilir kayaç kesme deney aletinin geliştirilmesi

Osman Cenk FERİDUNOĞLU\*, Nuh BİLGİN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

*Kollu galeri açma makineleri ve tam cepheli tünel açma makineleri gibi mekanize kazı makinelerinin günümüzde kullanımları hem maden hem de inşaat sektöründe hızla artmaktadır. Bu tip makineler kullanılmadan önce kayaçların kesilebilirlik özellikleri çok iyi tespit edilmelidir. Makine seçiminde yapılacak hata projenin bitim süresinin uzamasına ve çok büyük maddi kayıplara yol açabilir. Bu yüzden makine seçimi ve performans tahmini proje başlamadan önce yapılmalıdır. Bu çalışmada taşınabilir, kolay kullanılabilir ve pahalı olmayan ve sonuçları güvenilir olan küçük boyutlu bir kazı seti geliştirilmiştir. Geliştirilen taşınabilir test cihazı için 13 cm çapında 70° uç açılı mini diskler imal ettirilmiştir. Numune boyutları 20x20x10 cm olan kayaç numuneleri 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kazı modu ile kesilerek, keskiye gelen FN, FR kuvvetleri geliştirilen dinamometre ile kayıt edilmiştir. Kesme sonucu çıkan pasa miktarı kullanılarak spesifik enerji hesaplanmıştır. TÜBİTAK Proje No: MİSAG-274 kapsamında birim deformasyon ölçer'lerle donatılmış bir dinamometre geliştirilmiş ve saniyede 1000 veri alabilecek bir veri iletişim sistemi seçilmiştir. Dinamometrenin güvenilirliğini denemek için 9°'lik açılı ve düşey yüklemelerle kalibrasyon yapılmıştır, sonuçların güvenilir olduğu ve okumaların tekrar edilebilir olduğu kanısına varılmıştır. 13 farklı kayaç numunesi üzerinde tam boyutlu doğrusal kazı setinde mini disk ve sabit kesit alanlı disk ile deneyler yapılmış sonuçlar geliştirilen kazı seti sonuçları ile karşılaştırılmış ve daha önceki çalışmalarda konik keskinlerle aynı kayaçlar üzerinde yapılan deney sonuçları da veri tabanına eklenince yeni geliştirilen küçük boyutlu ve taşınabilir kazı setinin mekanize kazı makineleri için performans tahmininde belirli bir istatistiksel doğrulukla kullanılabileceği anlaşılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Kayaç kazılabilirliği, mekanize kazı makinalarının performans tahminleri, Roadheader, TBM.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: O. Cenk FERİDUNOĞLU. cenk.feridunoglu@agipkco.com; Tel: +7 701 979 07 32. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Kayaç kazılabilirliğinin tayini için taşınabilir kayaç kesme deney aletinin geliştirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 12.01.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 28.04.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Development of a portable rock cutting rig to determine rock cuttability

### Extended abstract

Full face tunnel boring machines and partial face tunnel boring machines utilization for mining and civil project are increasing enormously. Tunnels for civil projects at highly populated cities dictate minimum ground disturbance while tunneling. Full face tunneling machines are able to excavate through hard rock to soft ground with small surface deformation and faster compared to drill and blast.

Selection of correct mechanized excavator for a given rock media is very important for the success of the project. A great care must be taken for equipment selection and performance prediction in the project design phase.

Researchers worked on a wide range of parameters to predict the performance of mechanical excavators. Besides the theoretical approaches, the ones who correlate the mechanical properties of intact rock to the field performance of the excavators are more reliable in their data range and tunneling conditions. Full scale linear rock cutting, small scale core cutting and University of Trondheim performance prediction model are widely accepted on the international tunneling society. Laboratory cutting tests are expensive, needs specialists, special equipments and may take long time to perform.

Therefore, a portable, easy to use, reliable, costs less than 10000 \$ small scale rock cutting rig is developed in the scope of this research. The table of the rig is moved by a hydraulic cylinder powered by a hydraulic accumulator. Rock samples in 20x20x10 cm of size attached to the table with a special mechanism to cut the rock with a mini-disc, diameter of 13 cm and tip angle of 70°, and the forces acting on the mini-disc and specific energy to cut a unit volume of rock is measured. A force dynamometer equipped with strain gauges are developed in the scope of TÜBİTAK Project No: MİSAG-274, to measure the forces and a data acquisition system that can collect 1000 data in a second is chosen.

Many calibrations are performed to test the reliability of the dynamometer and data acquisition system. Calibrations are done by a hydraulic cylinder whose cross section area is known. Hydraulic cylinder is pressurized to 10, 20, 30, 40, 50 bar with a

9° inclined surface to the mini disc. Output from the dynamometer strain gauges are compared to the applied force where it is seen that output is linear and has  $R^2$  equals to 0.99. It is proved that the results of the developed cutting rig are reliable and repeatable.

While making a cutting on the developed cutting rig, there are two ways to fix the rock sample. One can use the manufactured case where rock sample can be cemented inside. The other is to use the screwed clamp on the moving table. It is hard to adjust the cutting depth while pouring the cement into the case. Another disadvantage is you can only use one face of the rock sample. In this study, screwed clamp is used to make the cutting test because it is easy, faster to fix the sample and gives the opportunity to make 4 cuttings per sample..

Rock cutting tests are carried out on 14 different rock samples with the full scale linear cutting rig and the developed portable rock cutting rig. A 13" constant cross section (CCS) disc cutter and mini disc is used for the cutting tests with full scale linear cutting rig.

Results from the full scale cutting rig 13" CCS with mini disc equipped developed rig are compared for 8 different rock samples for an unrelieved 5 mm depth of cut. Normal and cutting forces are correlated and correlation coefficients are found to be 0.86 and 0.75 respectively. Disc cutting theories of Roxborough (for discs with an tip angle) and Rostami (for CCS discs) are applied for rock samples used in cutting tests. Trendlines of CCS and mini disk forces are identical to theoretical comparison of disc normal and cutting forces for CCS disc and V shaped disc.

The conical cutter results from previous studies on the full scale linear cutting rig are compared with the developed rock cutting rig results. Optimum specific energy values from relieved cutting tests with Sandvik S35/80H cutter are plotted with the index specific energy values from developed cutting rig. A good correlation and 0.62 correlation coefficient is found between optimum SE of conical cutter and mini disc index SE values.

**Keywords:** Rock cutting tests, performance prediction of tunneling machines, Roadheader, TBM.

## **Giriş**

Madencilik ve inşaat sektöründe yeraltı yapılarının önemi ülkemizde gün geçtikçe artmaktadır. Madenlerde hızlı ve yüksek üretim kapasitesini düşük maliyetlerle sağlamanın tek yolu mekanizasyona gidilmesidir. Mevcut mekanize kazı araçlarında kullanılan ileri teknoloji sayesinde mekanik kazıcılar çok aşındırıcı formasyonlar dışında hemen hemen tüm formasyonlarda kazı yapabilecek modellere sahiptirler.

Ülkemizdeki madenlerde kollu galeri açma makineleri ile kesici yükleyici tipinde mekanik kazı araçları kullanılmaktadır. Son yıllarda madenlerin dışında inşaat sektöründe tünel açma işleri içinde mekanik kazıcılar daha sık kullanılmaya başlamıştır.

Yapılaşmanın yoğun olduğu yerlerde çevre etkilerinin minimize edilmesi şartı mekanize kazıyı delme patlatmaya göre daha avantajlı hale getirmektedir. Mekanize kazının, delme patlatmaya karşı en büyük dezavantajı ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Fakat açılacak tünelin uzunluğu ve ilerleme hızı mekanize kazıyı ekonomik hale getirmektedir. Mekanize kazının, delme patlatmaya karşı en büyük üstünlüğü yüksek ilerleme hızıdır. İstanbul metrosu delme patlatma ve hidrolik kırıcı kullanılarak açılmıştır ve ilerleme birkaç metre olarak gerçekleşmiştir. İzmir Metrosunda ise tam cepheli tünel açma makinesi kullanılmış ve günlük ilerleme 22 metre'ye kadar çıkmıştır.

Tünel açma projelerinde uygun kazı makinası seçimi; kazı verimliliği, hızı ve maliyeti açısından önemlidir. Tünel açma makinalarının seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterleri Uluslararası Kaya Mekaniği Cemiyeti (ISRM) aşağıda verilen kayaç özellikleri olarak tarif etmiştir (Bamford, 1987).

- a) Kayaçların dayanım özellikleri (basınç, çekme, kesme dayanımı)
- b) Kayaçların aşındırıcılık özellikleri (Cerchar, Schimazek aşındırıcılık testleri)
- c) Kırılgenlik ve dayanım özellikleri (Shore scleroscope, koni delici, uç batırma, darbe dayanımı)

- d) Yerinde yapılan kazılabilirlik deneyleri
- e) Laboratuvarda yapılan kesme deneyleri

Makinenin tünel açılacak formasyonların özelliklerine göre seçilmeme durumunda, makinenin tünelden çıkarıldığı veya makine performansının çok düşük olmasından dolayı, yüklenici firma ile işveren arasında hukuki sorunların yaşandığı durumlara rastlanmaktadır.

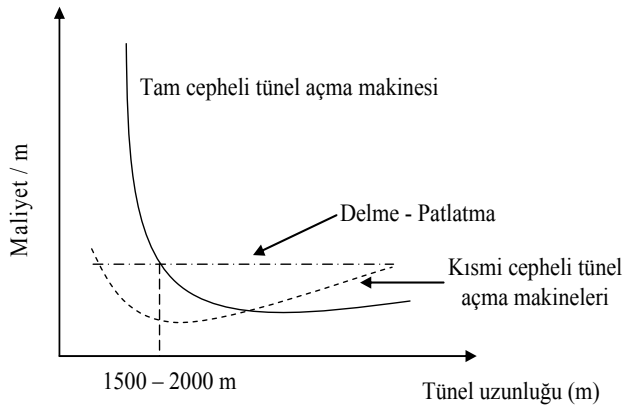
ISRM tarafından önerilen kriterlerden a,b ve c maddelerinde belirtilen kayaç özellikleri ile makine performansının tahmini için bir çok model geliştirilmiştir. Fakat kayaç kazılabilirliğinin en gerçekçi tahmini labovatuvar kesme deneyleri ile yapılabilmektedir. Günümüzde uluslararası alanda kabul görmüş deney setleri, küçük boyutlu kazı seti ve tam boyutlu kazı setidir.

Laboratuvar kesme deneylerinde metodoloji, kayacı özellikleri bilinen bir keski veya gerçek bir keski ile belirli kesme profilleri (kesme derinliği, keski arası mesafe) yaratacak şekilde kesmek ve bu esnada kesimde oluşan kuvvetleri dinamometre ile ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu deneylerle elde edilen kesme kuvvetleri ve kesme hattı boyunca çıkan pasa hacmi ile birim hacimdeki kayayı kesmek için harcanan enerji (spesifik enerji) bulunur. Kesme kuvvetleri ve spesifik enerji kullanılarak mevcut bir makine için kazılan formasyondaki optimum çalışma parametreleri veya deney yapılan formasyon için optimum kesici kafa dizaynı ve çalışma parametrelerini bulmak mümkündür.

Bu araştırmanın ana amacı, kayaç kazılabilirliğinin tayini için taşınabilir, ucuz ve kolay sonuca gidilen, bir cihaz geliştirebilmektir. Küçük ve tam boyutlu kazı seti hem çok pahalıdır hem de kullanılması için özel eğitilmiş elemana ihtiyaç vardır. Küçük ve tam boyutlu kesme setlerinde daha önceki çalışmalarda kesme deneyleri yapılmış kayaçlar, geliştirilecek olan cihaz ile kesilerek aralarında istatistik ilişkiler kurulacaktır. Geliştirilecek cihazın güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar vermesi çok önemlidir. Bu amaçla mümkün olduğu kadar farklı dayanımlardaki kayaç numuneleri ile deneyler yapılmaya çalışılmıştır.

### Tam cepheli ve kısmi cepheli tünel açma makineleri performans tahmin yöntemleri

Tünel projelerinde, mekanize kazı makinesi seçimi ve performans tahmini, proje başarısı için hayati önem taşımaktadır. Makine seçiminde kazılacak formasyonun özellikleri, tünel kesiti geometrisi, tünel uzunluğu ve proje bitiş tarihi önemli kriterlerdir. Tam cepheli tünel açma makineleri büyük ilk yatırım maliyetlerine karşılık yüksek kazı hızları, araziye örselemeden kazı yapmaları ve sert formasyonlarda çalışabilme özellikleri ile ekonomik kullanım alanları bulmaktadırlar. Kollu galeri açma makineleri, tam cepheli tünel açma makinelerine göre daha kısa tünel uzunluklarında ve daha zayıf formasyonlarda ekonomik kazı yapabilmektedir. Şekil 1’de Pakes (1991)’in hazırladığı tünel maliyeti ve tünel uzunluğuna göre mekanize kazı makinelerinin ve delme – patlatmanın karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 1. Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme – patlatmanın karşılaştırılması (Pakes, 1991)

Makina performansının, net kazı hızının, tahmin edilmesi müteahhit firmanın planlama ve maliyet hesapları yapması için çok büyük önem taşımaktadır. Tablo 1’de kazı makinalarının performansını etkileyen parametreler verilmiştir (Copur vd., 1997). Tablo 1’de verilen makina ve jeolojik parametrelerin dışında; operatör, tünel içi çalışan ekibin tecrübesi ve organizasyonunun da makina performansı üzerindeki etkisi büyüktür. Ayrıca havalandırma, tahkimat ve su atımı mekanize kazı makinelerinin performansında önemli yere sahiptir.

Tablo 1. Kazı makinalarının performansını etkileyen parametreler

#### Makina özelliklerine bağlı parametreler

##### Makina özellikleri

- Makinanın tipi
- Makinanın ağırlığı ve boyutları
- Pasa toplama ve taşıma kapasitesi
- Makinanın yaşı
- Makinanın kurulu toplam gücü

##### Kesici kafa özellikleri

- Kesici kafanın tipi ve boyutu
- Kesici kafanın gücü
- Keskilerin dağılımı ve sayısı
- Keski tipi ve özellikleri

##### Jeolojik parametreler

##### Kaya kütlesi özellikleri

- Kaya kalite değeri (RQD)
- Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR)
- Jeolojik süreksizlikler
- Hidrojeolojik durum

##### Kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri

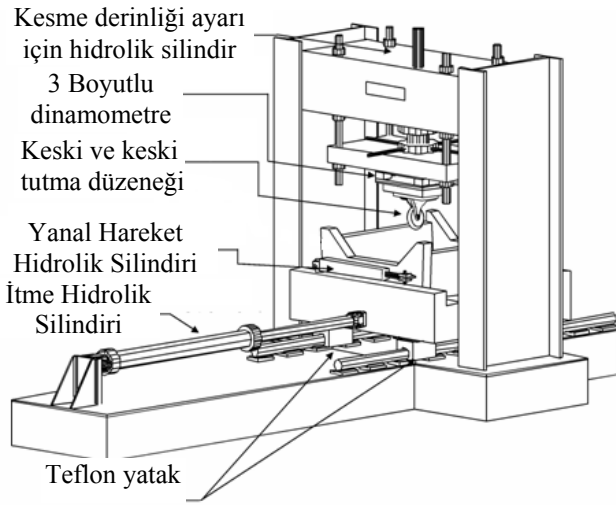
- Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri)
- Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, kohezyon, elastik değeri)
- Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri)
- Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, mikroçatlaklar ve tane boyutu)
- Aşındırıcılığı (Cerchar değeri)
- Sismik özellikler (P ve S dalgası)
- Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı)

Makina seçiminden önce mutlaka kazı yapılacak formasyonların özellikleri kazılabilirlik açısından değerlendirilmeli ve bulgular ışığında kesici kafa dizaynı yapılmalıdır. Mevcut bir makinanın çalışacağı durumlarda ise makinanın kesici kafa dizaynına göre kazı yapılacak formasyonlardaki optimum çalışma parametreleri (baskı kuvveti, kesici kafa devir hızı) laboratuvar çalışmaları ile bulunmalıdır.

##### Tam boyutlu kesme deneyleri

Tam boyutlu kesme deneylerinde gerçek boyutlu kesimler, büyük kaya bloklarında (70 cm x 50

cm x 50 cm) kesme yaparak gerçeği simüle edebilmektedir. Mekanize kazıcılarda kullanılan keskilere gelebilecek kuvvetleri bulmanın en doğru ve kesin sonucu tam boyutlu doğrusal kazı setinde deneyler yapmaktır. Ayrıca değişik tipte keskilere kullanarak en verimli kazıyı yapan keski tipini bulmak da mümkündür. Kesme deneylerinde keskiye 3 yönde etkiyen kuvvetler (kesme, yanal, normal kuvvetler) dinamometre ve veri toplama sistemi ile kayıt edilir. Şekil 2’de tam boyutlu kesme deney seti görülmektedir.



Şekil 2. Tam boyutlu kesme deney seti

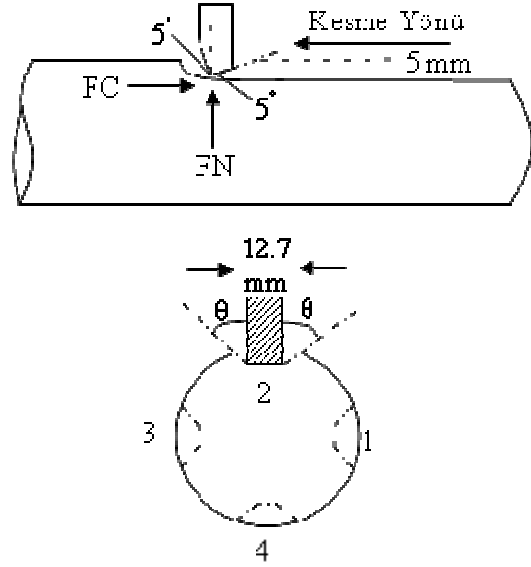
### Küçük boyutlu kesme deneyleri

Küçük boyutlu kesme deneylerinde 7.6 cm çapında karot veya 20 cm x 10 cm x 10 cm boyutlarında numune kullanılmaktadır. Numune sabitlendikten sonra kesme açısı  $-5^\circ$ , temizleme açısı  $5^\circ$  ve genişliği 12.7 mm olan kama uçlu keski ile 5 mm kesme derinliğinden kesilir (McFeat ve Fowell, 1977). Kesme sırasında oluşan kuvvetler gerilimölçer ile donatılmış dinamometre ile bilgisayara kayıt edilir. Küçük boyutlu kesme deneylerinde kullanılan veri toplama seti tam boyutlu kesme deney setinde kullanılan ile aynıdır. Kayıt edilen kesme kuvvetlerinin ortalaması birim kesme hattından çıkan pasaya bölünerek spesifik enerji bulunur. Şekil 3’te küçük boyutlu kesme deneyinin yapılışı verilmiştir.

### Kazılabilirlik kriteri spesifik enerji

Mekanize kazının veriminin tayini için en önemli parametre kesme deneyleri ile elde edilen spesifik enerjidir. Spesifik Enerji (SE), birim

hacimdeki kayayı kesmek için harcanan enerji olarak tarif edilir ve birimi  $\text{MJ/m}^3$ ’dür. Kesme deneyleri ile elde edilen ortalama kesme kuvveti birim kazı hattı boyunca çıkan pasaya bölünerek spesifik enerji bulunmaktadır. Spesifik enerji, kesme verimi ile ters orantılıdır, yüksek spesifik enerji değerleri düşük kazı verimini işaret eder.



Şekil 3. Küçük boyutlu kesme deney setinde karot numunesinin kesilmesi

Colorado School of Mines’da Özdemir L.’nin başkanlığında geliştirilen tam boyutlu kesme deney seti ile elde edilen spesifik enerji; net ilerleme hızı, makina kesme gücü ve spesifik enerji arasındaki eşitlikte kullanılabilir (Rostami vd., 1994).

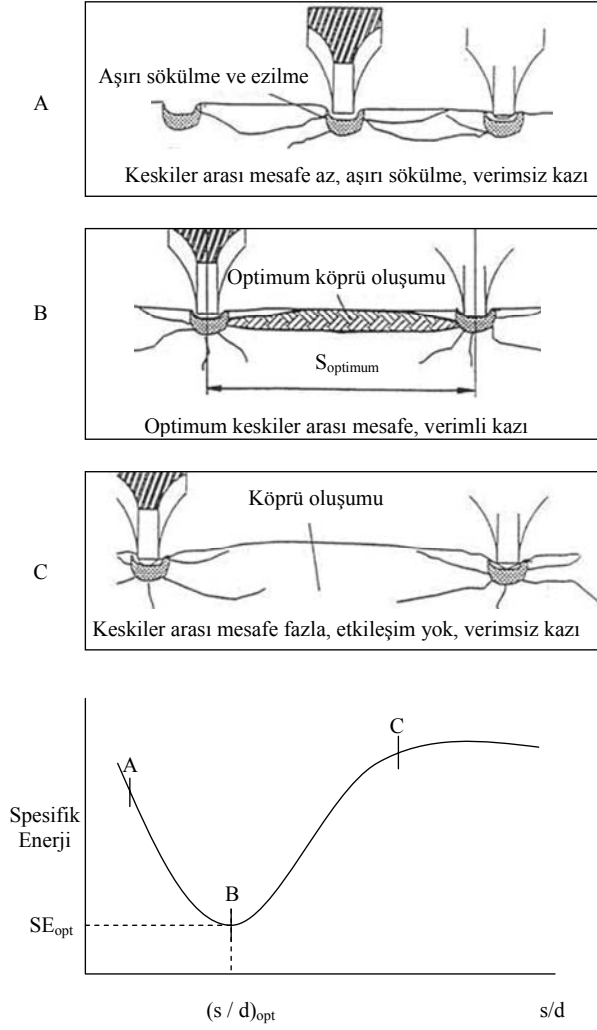
$$\text{Net Kazı Hızı (m}^3/\text{saat)} = kx \frac{P}{SE} \quad (1)$$

k = Kesici kafa gücünün aynaya iletilme oranı

P = Kesici kafa gücü, kW

SE = Spesifik enerji,  $\text{kWh/m}^3$

1 nolu eşitlikteki K katsayısı makine tipine ve kaya kütlesi özelliklerine göre değişiklikler göstermektedir ve Colorado School of Mines’da yapılan araştırmalarda K değerinin 0.45 – 0.55 arasında değiştiği bildirilmiştir. Şekil 4’te kesme profili sonucu oluşan köprü ve optimum spesifik enerjinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. Kesme profili sonucu oluşan köprü ve optimum spesifik enerjinin değişimi

Tünel açma makineleri için bir çok araştırmacı yerinde performans analizi yaparak, elde edilen veriyi çeşitli kaya kütle ve kayaç özellikleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu tip çalışmaların hemen hepsi modelin kurulduğu verinin toplandığı şartlar için geçerli olabilmiş ve evrensel bir çözüm sunamamaktadır.

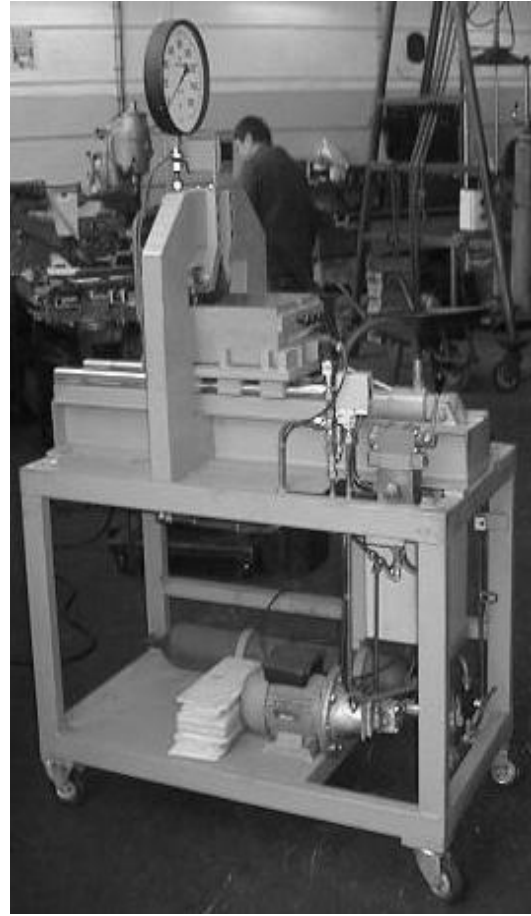
Laboratuvar kesme deneyleri, tünel makineleri seçimi ve performans tahmini konusunda uluslararası alanda kabul görmüş yöntemlerdir.

### Geliştirilen kesme seti

Test cihazı Hidrokraft A.Ş. yetkilisi Yüksek Makine Mühendisi Ergin Ertan'ın yardım ve desteği ile tasarlanmış ve imal edilmiştir. Taşınabilir kaya kesme aleti, 20 x 10 x 10 cm boyut-

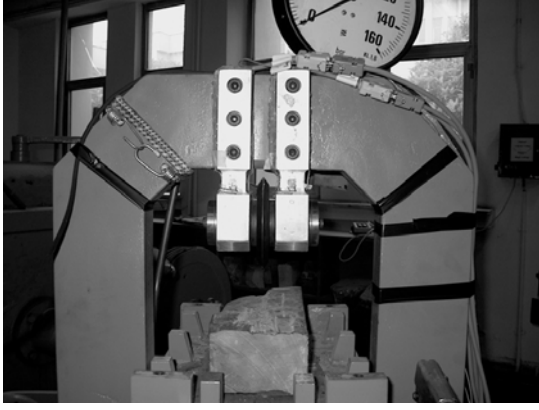
larındaki kaya numunelerini, 13 cm çapında 70° uç açılı bir disk keski ile, kesmeye imkan verir. Keski pozisyonu sabittir, kesme derinliği numunenin kasaya yerleştirilmesi ile ayarlanır. Kesme derinliği 5 mm olarak tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

Deney aletinde kayayı keskiye doğru hareket ettirmek için bir hidrolik piston bulunmaktadır. Şekil 5'te geliştirilen taşınabilir kesme seti görülmektedir.



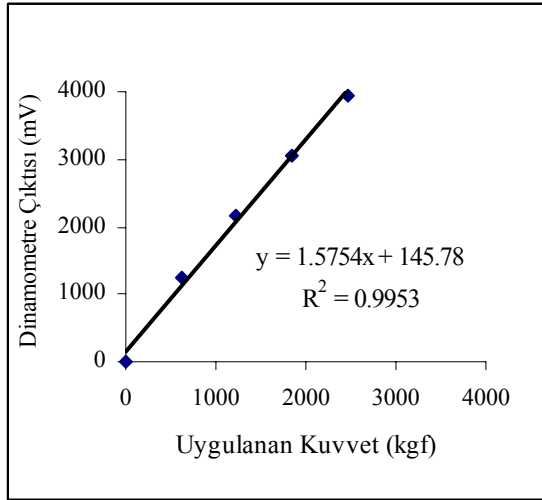
Şekil 5. Taşınabilir kaya kesme test cihazı

Ölçme sistemi TÜBİTAK Proje No: MİSAG-274 kapsamında Yrd.Doc.Dr. Cemal BALCI tarafından geliştirilmiştir. Mini diskin kayayı kesmesi sırasında oluşan 3 yöndeki kuvvetlerin istenilen hassaslıkta güvenilir ölçülebilmesi için birim deformasyon ölçerler (strain gauge) kullanılarak bir dinamometre tasarlanmıştır. Disk normal kuvveti yönünde 2 ton kapasitedeki dinamometre Şekil 6'da görülmektedir (Bilgin vd., 2006).



Şekil 6. Dinamometrenin genel görünüşü ve test cihazına montajı

Dinamometrenin detaylı kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Dinamometre kesit alanı bilinen bir hidrolik kriko ile yüklenmiştir ve bilinen yüklerle karşı verdiği sinyal kayıt edilmiştir. 40 defa yapılan yükleme ile dinamometrenin güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 7’de kalibrasyon çalışmalarında elde edilen tipik bir yük – birim deformasyon ölçer sinyal çıktısı görülmektedir.



Şekil 7. Kalibrasyon çalışmalarında elde edilen tipik bir kuvvet – dinamometre çıktısı

### Laboratuvar kesme deneyleri

Kesme deneylerinde Tablo 2’de mekanik özellikleri verilen kaya numuneleri kullanılmıştır. Bu çizelgedeki ilk 11 numune, daha önce tam boyutlu deney setinde konik uçlu keskinlerle kesme deneyine tabii tutulmuş ve bu numune-

lerden bir miktarı saklanmıştır. Bu numuneler, yeni geliştirilen taşınabilir kazı setinde, mini disklerle kesme deneylerinde kullanılmıştır. Mekanik özellikleri verilen ilk 11 kayaç daha önce yayınlanmıştır (Bilgin vd., 2006).

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Kayaç İsmi	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)
Kromit	3.39	47	4.5
Harsburjit	2.65	58	5.5
Bakır Cevheri (Sarı)	4.13	33	3.4
Bakır Cevheri (Siyah)	4.07	41	5.7
Riyolit	2.52	40.7	2.7
Serpantin	2.49	38	5.7
Trona	2.13	30	2.2
Kumtaşı-1	2.65	114	6.6
Kumtaşı-2	2.67	174	11.6
Kiltaşı	2.65	58	5.3
Arkoz (Kurtköy Formasyonu)	2.68	34.1	4.2
Kireçtaşı (Kartal Formasyonu)	2.62	65.6	7.4
Kireçtaşı (Dolayoba Formasyonu)	2.72	111.9	7.5
Silttaşı (Trakya Formasyonu)	2.7	82.6	5.4

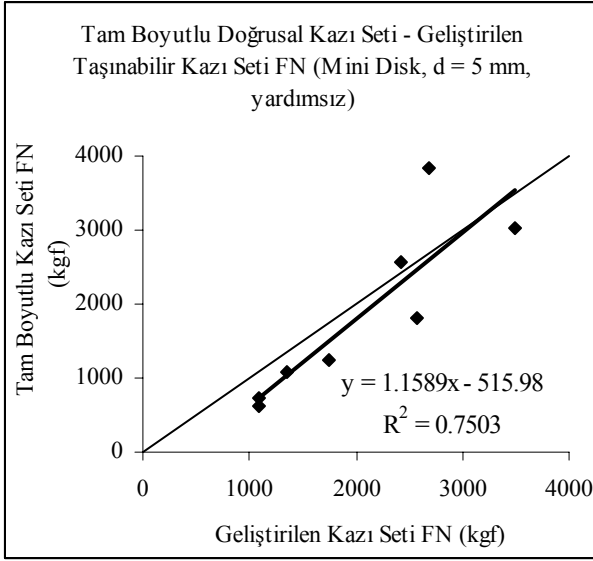
Notasyon:  $\gamma$  = Yoğunluk,  $\sigma_c$  = Tek eksenli Basınç Dayanımı,  $\sigma_t$  = Brazilian Çekme Dayanımı

Deney programında önce tam boyutlu kesme setinde mini disklerle yapılan yardımsız kazı modu deneyleri ile geliştirilen kesme seti sonuçları karşılaştırılmıştır.

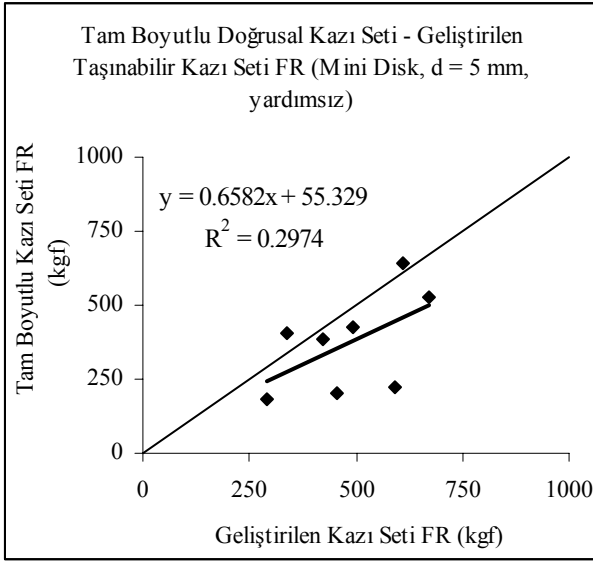
Tam boyutlu kesme seti ile geliştirilen kesme setinde mini disklerle yapılan deney sonuçlarında normal kuvvet ve spesifik enerji arasında anlamlı ilişkiler olduğu Şekil 8 ve 9’den görülmektedir.

Yuvarlanma kuvvetinde (Şekil 9) beklenenin altında bir ilişki çıkmıştır. Bunun nedeni geliştiri-

rilan kesme setinde deney yapılan bazı numunelerin çatlaması ile yuvarlanma kuvvetlerinde oluşan değişimdir.

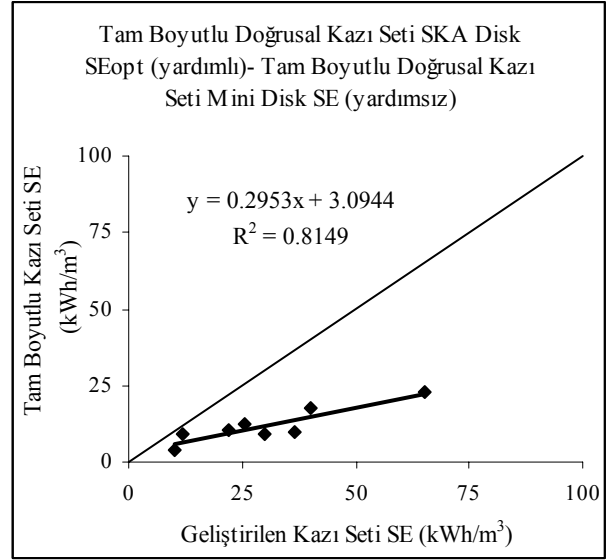


Şekil 8. Tam boyutlu kazı seti ve geliştirilen kazı setinde dikey kuvvetlerin karşılaştırılması



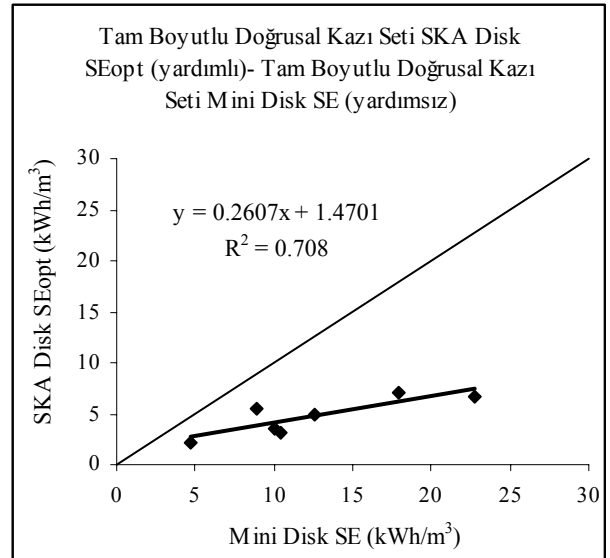
Şekil 9. Tam boyutlu kazı seti ve geliştirilen kazı setinde yuvarlanma kuvvetlerin karşılaştırılması

Şekil 10'da spesifik enerjiler arasında 0.81 R<sup>2</sup> değerinde oluşan lineer ilişki görülmektedir. Bazı numunelerin kesme sırasında çatlaması geliştirilen kesme setinde oluşan spesifik enerji değerlerinin tam boyutlu kesme setine göre daha yüksek oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 10. Tam boyutlu kazı seti sabit kesit alanlı disk ve geliştirilen kazı setinde spesifik enerji değerlerinin karşılaştırılması

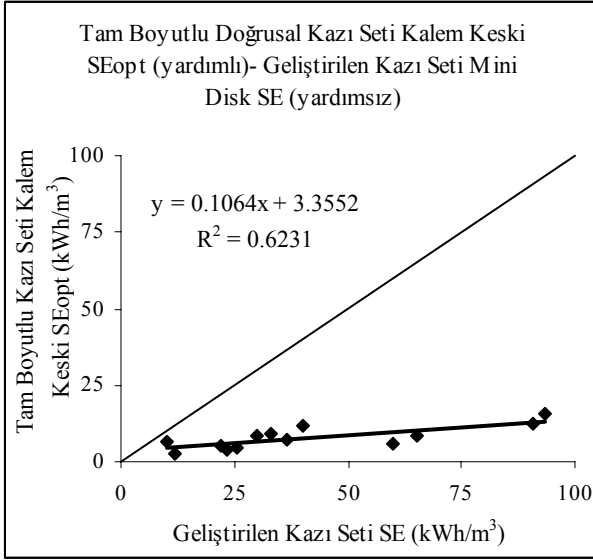
Geliştirilen kesme setinde kullanılan 13 cm çapında 70 derece uç açılı keski ile tam cepheli tünel açma makinalarında kullanılan sabit kesit alanlı 33 cm çapında bir diskin karşılaştırması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Tam boyutlu doğrusal kazı setinde sabit kesit alanlı (SKA) diskle elde edilen optimum spesifik enerji ile mini diskle d=5mm'de elde edilen spesifik enerjinin karşılaştırılması



Geliştirilen kazı setinde mini disk ile elde edilen spesifik enerji ve tam boyutlu kazı setinde kalem keskiyle daha önceki çalışmalarda Bilgin ve diğerleri (2006) elde edilen optimum spesifik enerji değerleri arasında ilişki Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Tam boyutlu doğrusal kazı seti SEopt (kalem keski sandvik s-35/80h, d=5mm, yardımcı) - geliştirilen taşınabilir kazı seti SE (mini disk, d=5mm, yardımsız) ilişkisi

Geliştirilen kazı setinde mini disk ile yapılan 5 mm yardımsız kazı modu spesifik enerji değerleri hem sabit kesit alanlı hemde kalem keski ile tam boyutlu doğrusal kesme setinde elde edilen spesifik enerji değerleri ile anlamlı ilişkiler olduğu saptanmıştır (Şekil 10, 11, 12).

## Sonuçlar

Laboratuvar kesme deneylerinde basınç dayanımları 30 ile 174 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişen 14 adet kayaç numunesi üzerinde geliştirilen küçük boyutlu kazı setinde mini diskle kesme deneyleri yapılmıştır.

Geliştirilen kazı setinden mini disk ile elde edilen 5 mm kesme derinliği spesifik enerji değerleri ile tam boyutlu doğrusal kazı setinde sabit kesit alanlı disk keskiyle oluşan spesifik enerji değerleri anlamlıdır. Ayrıca geliştirilen kazı seti

sonuçları tam boyutlu doğrusal kazı seti kalem keski optimum spesifik enerji değerleri ile 0.70 belirlilik katsayısına sahip doğrusal bir ilişki vermiştir.

Geliştirilen yeni kazı seti henüz prototip aşamdadır. Kaya numunelerinin deney sehпасına sabitlenmesi ve kesme derinliğinin daha pratik ve kesin ayarlanması ileriki çalışmalarla çözülmesi gereken sorunlardır. Geliştirilen kaya kesme cihazının güvenilirliği ve daha geniş bir aralıkta sonuç verebilmesi için gelecekteki çalışmalarda farklı mekanik özelliklerdeki kayaçlarla deneyler yapılmalıdır ve kazı makinelerinin yerinde performansları ile ilişkilendirilmelidir.

## Kaynaklar

- Bamford, W.E., (1987). Cuttability and drillability of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, **24**, 1, February, 22-25.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C., Feridunoğlu, C. ve Tuncdemir, H., (2006). Kaya kazı makinelerinin (galeri ve tünel açma makineleri gibi) optimum seçiminde kullanılmak üzere taşınabilir bir test cihazının geliştirilmesi, TÜBİTAK Projesi, MİSAG-274.
- Bilgin, N., Demircin, M., A., Çopur, H., Balcı, C., Tuncdemir, H. ve Akçin, N., (2006). Dominant rock properties effecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, **43**, 139-156.
- Copur, H., Rostami, J., Ozdemir, L. ve Bilgin, N., (1997). Studies on performance prediction of roadheaders based on field data in mining and tunnelling projects, 4<sup>th</sup> International Symposium on Mine Mechanization and Automation, Brisbane, Queensland.
- McFeat, S. Ve Fowell, R.J., (1977). Correlation of rock properties and the cutting performance of tunneling machines, *Proceedings*, Conference on Rock Engineering, The University of Newcastle Upon Tyne, 581-602.
- Pakes, G., (1991). Selection of methods, *World Tunnelling*, **4**, 9, November.
- Rostami, J., Ozdemir, L. ve Neil, D.M., (1994). Performance prediction a key issue in mechanical hard rock mining, *Mining Engineer*, November, 1263-1267.