

Makale Gönderim Tarihi: 16.11.2017

Yayına Kabul Tarihi: 07.12.2017

## **Negatif Açılı Bir Kama Tipi Keskinden Elde Edilen Deneysel Sonuçların Teorik Sonuçlarla Kıyaslanması**

*Comparison of Theoretical and Experimental Data in Rock Cutting with a Negative Rake Angled Chisel Pick*

Serdar Yaşar<sup>1\*</sup>, Ali Osman Yılmaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

\*Sorumlu Yazar: [seyasar@ktu.edu.tr](mailto:seyasar@ktu.edu.tr)

### **Özet**

Bu çalışmada altı farklı kayaç numunesi negatif açılı ( $-5^\circ$ ) bir kama tipi keski ile kaya kesme deneyine tabi tutulmuştur. Bu deneyden elde edilen sonuçlar, basit kama tipi keski için geliştirilmiş olan Evans ve Nishimatsu modellerinden elde edilen teorik kesme kuvveti ile karşılaştırılmıştır. Eşitliklere dahil edilen sürtünme açılarının etkileri ayrıca incelenmiştir. Sonuç olarak sürtünme açısı hesaplamalara dahil edildiğinde Nishimatsu modelinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kazı mekaniği, keski kuvvetleri, kaya kesme teorileri.

### **Abstract**

*In the present study, six different rock samples were conducted to rock cutting testing with using a negative rake angled ( $-5^\circ$ ) chisel pick. Experimental results obtained from these tests were compared with results of theoretical models of Evans and Nishimatsu. Effect of friction on cutting force estimation was discussed basically. As a results, it was seen that if the friction angle is considered in theoretical models, Nishimatsu model gave better results when compared with actual data.*

**Keywords:** Rock cutting mechanics, tool forces, rock cutting theories.

## 1.Giriş

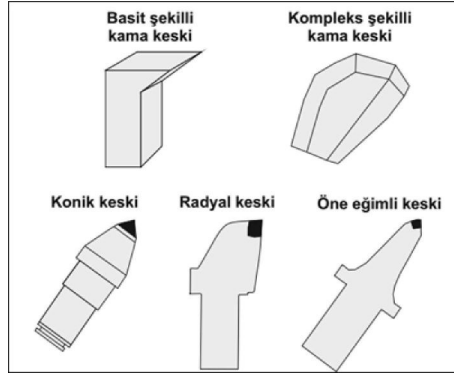
Mekanize kazı, patlatmalı kazı yöntemine alternatif tek ekonomik kazı yöntemidir ve kazı makinelerinin başarısı doğrudan kesici kafalarda bulunan keskinlerin performansına bağlıdır (Mellor, 1977). Keski performansının en önemli göstergelerinden biri de keski kuvvetleridir. Kazı sırasında keskiye üç boyutta kuvvetler etkimektedir, kesme kuvveti, normal kuvvet ve yan kuvvet. Kısmi cepheli tünel/galeri açma makinelerinde kullanılan kazıyıcı (kama tipi) keskinler için en önemli kuvvet bileşeni, hareketin yönünde olan ve enerjiyi harcayan bileşen olan kesme kuvvetidir.

Kesme kuvvetinin belirlenebilmesi için geliştirilen çeşitli metotlar bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak teorik modeller (Evans, 1958), kaya kesme deneyleri (Yasar, 2017), görgül yöntemler (Bilgin vd., 2006) ve nümerik yöntemler (Menezes vd., 2014) gösterilebilir. Görgül yöntemlerin tahmin yetenekleri kullandıkları veri sayısı gibi parametreler ile doğrudan ilgilidir. Nümerik yöntemler ise kaya kesme olayını tam olarak modelleyememektedir ve daha gelişmiş modelleme araçlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Keski kuvvetlerinin bulunabileceği en kesin yöntem laboratuvar kesme deneyleridir (Rostami vd., 1996). Ancak bu deneyler çok sınırlı sayıda araştırma merkezinde bulunmaktadır. Teorik modeller, kaya-keski etkileşimini açıklamaya çalışarak keskiye gelen kesme kuvvetinin bulunmasını amaçlamaktadır. Her ne kadar kesme mekanizmasını açıklamaya yardımcı olsalar da hala tahmin yetenekleri yeterince gelişmemiştir, çeşitli durumlarda deneysel verilerden elde edilen sonuçlar ile örtüşmemektedirler. Bundan dolayı daha fazla kaya kesme deneyi yapılarak, bu deneylerden elde edilen sonuçlar yardımı ile kesme teorilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

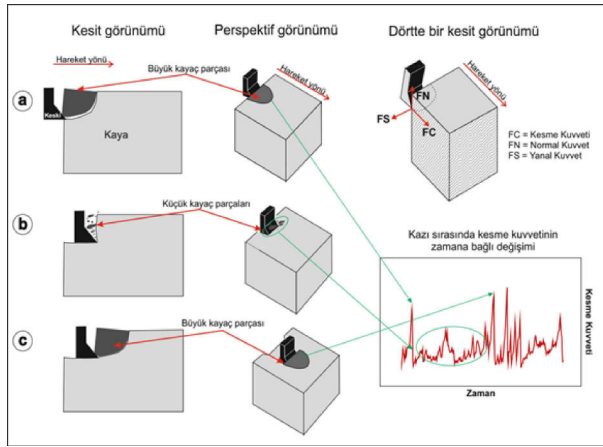
Bu çalışmada altı farklı magmatik kayaç (kırmızı andezit, gri andezit, yeşil tuf, gri tuf, kahverengi tuf ve sarı tuf) negatif kesme açısına sahip bir basit kama tipi keski ile 5 mm kesme derinliğinden kesilmiştir ve deneyden elde edilen deneysel kesme kuvveti kaydedilmiştir. Bu deney şartları için Evans ve Nishimatsu modelleri kullanılarak teorik kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu teorik ve deneysel kesme kuvvetleri karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir. Sonuç olarak sürtünme açısı hesaplamalara dahil edildiğinde Nishimatsu modelinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

## 2. Kazıyıcı Keskinlerin (Drag Picks) Kayaç Kesme Mekanizması

Kazı makinelerinde kullanılan keskinler kabaca iki kısma ayrılabilir. Bunlar, kazıyıcı keskinler ya da kama keskinler (drag picks) ve dönen keskinlerdir (roller bits). Kazıyıcı keskinler genellikle kısmi cepheli tünel/galeri açma makinelerinde kullanılırken, dönen keskinler ise genellikle tam cepheli tünel açma makinelerinde kullanılmaktadırlar. İki keski grubunun kazı prensipleri birbiri ile benzerlik göstermemektedir ve çalışma kazıyıcı keskinler üstüne yoğunlaştığı için dönen keskinler ile alakalı daha fazla bilgiye yer verilmeyecektir. Kazıyıcı keskinler toplam beş başlık altında toplanabilir. Bunlar, basit kama tipi keski, kompleks kama tipi keski, konik keski, radyal keski ve öne eğimli keskinlerdir (Şekil 1). Günümüze kadar geliştirilen kesme teorileri basit kama tipi ve konik keskinler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada ise yalnızca basit kama tipi keskinlere vurgu yapılacaktır. Kazıyıcı keskinlerin kazı prensipleri birbiri ile örtüşmektedir. Bu genel prensip Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kazıyıcı keski (Yasar, 2017)



Şekil 2. Kazıyıcı keskinin kesme mekanizması (Yasar, 2017)

Şekli kısaca açıklamak gerekirse, kazı başlarken ilk olarak keski kayaca batmaya çalışmaktadır ve batarken de kesme kuvvetinin zamana bağlı değişimi grafiğinden görüldüğü gibi bir kuvvet piki oluşmaktadır. Bu parça koştuktan sonra kuvvet değerinde ani bir düşüş yaşanmakta ve ardından da küçük parçalar kazılarak sökülmektedir ve bu aşamada da küçük kuvvet pikleri oluşmaktadır. Son olarak, keski kayaca tekrar batmaya çalışarak büyük bir parça koparıırken büyük bir kuvvet pikinin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu döngüsel işlem kaya kesme işi bitene kadar bu şekilde devam etmektedir. Şekilde görülen keski sivri yani pozitif kesme açılı bir keskidir. Ancak negatif açılı bir keskinde de durum farklı olmayacaktır. Keski kayaca batmak yerine önündeki kayaç parçasını itererek büyük parçayı koparacaktır (Yaşar, 2017). Şekil 2’de ayrıca keskiye gelen üç boyuttaki kuvvetler de görülmektedir.

Geliştirilen kaya kesme teorileri ise Şekil 2’de görülen büyük parçanın koparılması için gerekli kuvvetin bulunmasına yoğunlaşmaktadır. İlk kaya kesme teorisi Evans’ın (1958) kömür kesme teorisidir ve bu teorisin basitleştirilmiş şematik gösterimi Şekil 3’te görülmektedir. Evans, çeşitli kömürler üzerinde simetrik kama keski ile gerçekleştirdiği kesme deneyleri sonucunda teorisini ortaya atmıştır. Kesme deneylerinin sonucunda, keskinin kayaya batması sonucu keski ucundan başlayarak serbest kaya yüzeyine doğru hareket eden bir kırılma hattı (xy) gözlemlenmiştir. Bu kırılma ara yüzeyinde çekme gerilmelerinin oluştuğunu ve kesilen numunenin çekme dayanımının aşıldığında bu kırılma yüzeyinin (xy) serbest kalarak kömür parçasının koştüğünü iddia etmiştir.

Keski genişliğinin kesme derinliğinden çok daha fazla olması nedeniyle, Evans düzlem germe halinin geçerli olduğunu ve problemin iki boyutta incelenebileceğini, yani gerilmelerin kalınlık boyunca sabit olduğunu, belirtmiştir. Bu problem bir denge problemi gibi ele alınmıştır ve bir mesnetteki gerilmeler problemine benzetilerek çözülmüştür. İlk planda sürtünme sıfır kabul edilerek, kırılma anındaki kuvvetlerin momenti alınarak kesme kuvvetinin bulunabilmesi için şu eşitlik önerilmiştir:

$$FC' = \frac{2 \sigma_t d w \sin \theta}{1 - \sin \theta} \quad (1)$$

Burada;

- FC' = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_t$  = Kayacın direkt çekme dayanımı, MPa,  
d = Kesme derinliği, mm,  
w = Keski genişliği, mm,  
 $\theta$  = Yarım uç açısıdır, °

Geliştirilen bu model, pratikte kullanımı olmayan simetrik keski içindir. Bundan dolayı, teo-  
rinin pratikte de uygulanabilmesi için Roxborough (1973), basit kama tipi keski olarak adlandı-  
rılan asimetrik kama keski için Şekil 3'te görülen şematik biçimde teoriyi güncellemiştir ve  
eşitliği şu şekilde tekrar düzenlemiştir:

$$FC' = \frac{2 \sigma_t d w \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)}{1 - \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)} \quad (2)$$

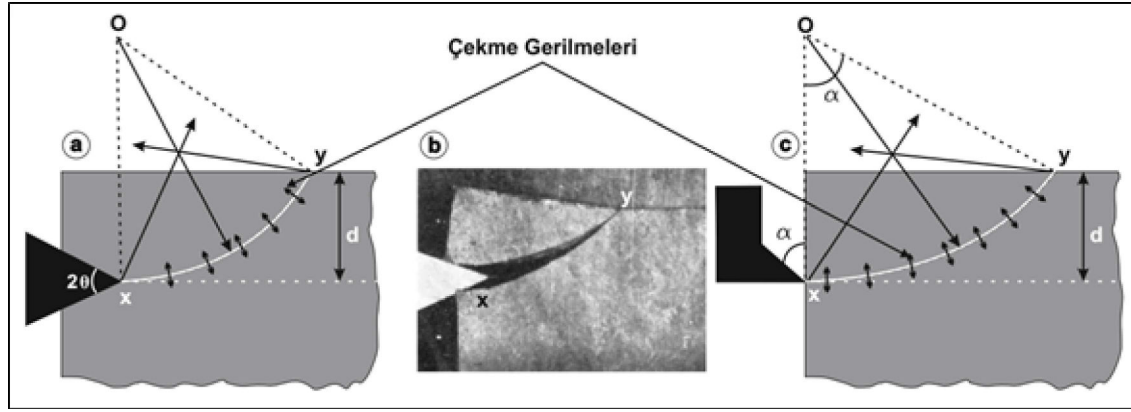
Burada;

- FC' = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_t$  = Kayacın direkt çekme dayanımı, MPa,  
d = Kesme derinliği, mm,  
w = Keski genişliği, mm,  
 $\alpha$  = Kesme açısı, °dir.

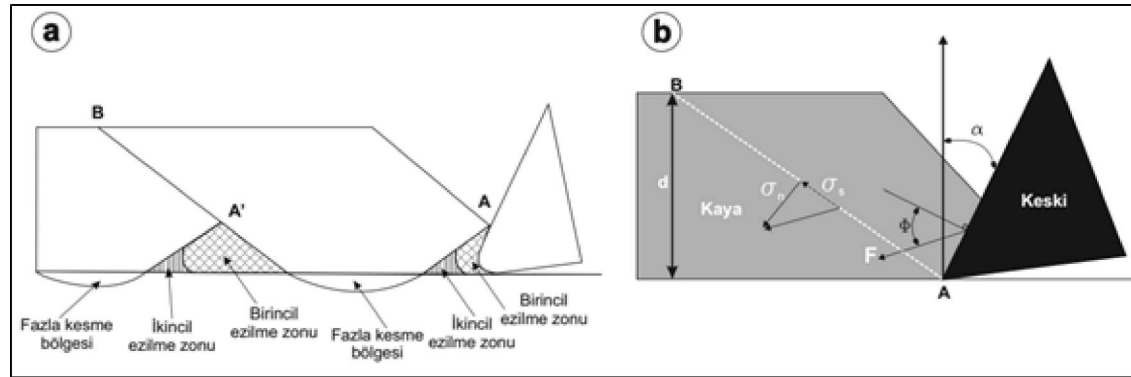
Evans, farklı kömür numuneleri üzerindeki kaya kesme deneylerinden elde ettiği çekme dayanımı değerleri ile direkt çekme deneyinden elde edilen çekme dayanımı değerlerini karşılaştırmıştır ve kesme deneyinden elde edilen çekme dayanımı değerinin gerçek değer olarak beşte biri olduğunu saptamıştır. Bunun üstesinden gelmek için de çekme gerilmelerinin Şekil 3'deki (xy) hattı boyunca eşit şekilde dağılmadığını, (x) noktasındaki gerilmenin kayacın çekme dayanımına eşit olurken (y) noktasında sıfıra düştüğünü iddia etmiştir ve Nishimatsu (1972) tarafından da kullanılan gerilme dağılım faktörünü 1 no'lu eşitliğe eklemiştir. Ancak n'nin nasıl bulunacağı hakkında bir bilgi vermemiş sadece rastgele değerler atamıştır. Örneğin, n değerini 8 olarak kabul ettiğinde kesme deneylerinden elde ettiği çekme dayanımı değerleri ile çekme dayanımı deneyinden elde ettiği değerlerin aynı olduğunu belirtmiştir.

Diğer yandan, Nishimatsu (1972) Mohr-Coulomb kırılma prensibini göz önüne alarak, Merchant'ın metal kesme teorisine benzer bir teori ileri sürmüştür. Bu teoriye göre kesme

sırasında kayaçtan kopan parçaların oluşumunda kayacın kesme dayanımı etkilidir. Ayrıca Nishimatsu, kesme işleminde oluşan pasaların her zaman Evans'ın teorisinde olduğu gibi dairesel değil düz de olabildiğini gözlemlemiştir. Nishimatsu teorisini tanımlarken kaya kesme işleminde birincil ve ikincil ezilme zonlarından ve fazla kırılmadan bahsederek kaya kesmeyi tanımlamıştır (Şekil 4). Nishimatsu'ya göre kaya kesmenin basitleştirilmiş şematik gösterimi ve basitleştirilmiş gösterim üzerinde gerilmelerin dağılımı ve kuvvet oluşumu Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi, kesme işlemi sırasında keski önünde bulunan kaya parçasını iterek (AB) hattı boyunca kesme gerilmeleri ( $\sigma_s$ ) oluşturmaktadır. Buna ilave olarak keskinin kendi hareketinden doğan birde kesme hattına dik etkiyen normal gerilmeler ( $\sigma_n$ ) görülmektedir. Bu da problemin Mohr-Coulomb yenilme kriteri yardımı ile çözülmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3. (a) Evans (1958) teorisinin şematik gösterimi (b) Evans tarafından gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kırılma hattı (c) Evans teorisinin Roxborough (1973) tarafında asimetrik kama tipi keski için geliştirilmesi (Yasar, 2017)



Şekil 4. (a) Nishimatsu (1972) kaya kesme teorisinin şematik gösterimi (b) Kesme sırasında gerilmelerin dağılımı ve kuvvet oluşumu (Yasar, 2017)

Nishimatsu, (AB) kesme hattı boyunca gerilmelerin sabit olmadığını ve A noktasında maksimum, B noktasında ise minimum olduğunu ileri sürmüştür. Bu ön kabulle birlikte gerilme dağılım faktörünü ( $n$ ) tanımlamıştır. Gerilme dağılım faktörünün kayacın özelliklerinin değil yalnızca kesme açısının ( $\alpha$ ) bir fonksiyonu olduğunu ileri sürmüştür ve kesme kuvvetinin bulunabilmesi için aşağıdaki eşitlikleri önermiştir. Ayrıca sürtünme açısının bulunabilmesi için de kendi kullandığı numuneler için iki adet eşitlik önermiştir.

$$FC' = \frac{2}{n+1} \frac{\sigma_s d w \cos(k) \cos(\phi - \alpha)}{1 - \sin(k - \alpha + \phi)} \quad (3)$$

$$n = 11,3 - 0,18\alpha \quad (4)$$

$$\phi = 25,4 + 0,66\alpha \text{ (Beton)} \quad (5)$$

$$\phi = 22,9 + 0,32\alpha \text{ (Aoishi Tuf)} \quad (6)$$

Burada;

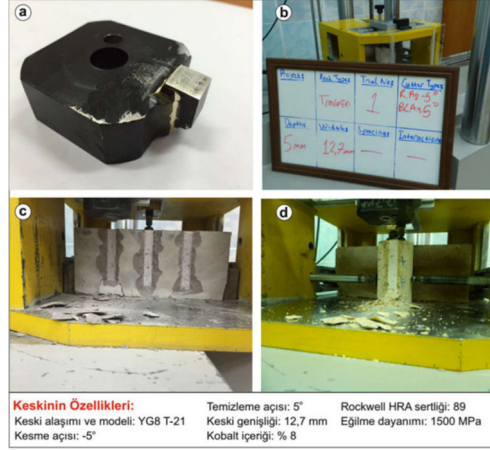
- FC' = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_s$  = Kayacın kesme dayanımı, MPa,  
d = Kesme derinliği, mm,  
w = Keski genişliği, mm,  
k = Kayacın içsel sürtünme açısı, °,  
n = Gerilme dağılım faktörü,  
 $\alpha$  = Kesme açısı, °,  
 $\phi$  = Kaya kesmedeki sürtünme açısı, °'dir.

Diğer yandan, Bilgin vd. (2012) tam cepheli tünel açma makinelerinde kullanılan Şekil 1'de görülen kompleks şekilli kama keski için Eşitlik 1.2'yi güncellemiş ve yeni bir eşitlik önermiştir.

### 3. Kaya Kesme Deneyleri

Çalışma kapsamında altı adet magmatik kayaç numunesi düşey kayaç kesme setinde (DKKS) kesme deneyine tabi tutulmuştur. DKKS Yaşar (2017) tarafından geliştirilmiştir ve sistemle ilgili detaylar çeşitli referanslardan takip edilebilir (Yaşar ve Yılmaz, 2017a & 2017b & 2017c). Bu kayaçlar kırmızı andezit (KA), gri andezit (GA), yeşil tuf (YT), gri tuf (GT), kahverengi tuf (KT) ve sarı tüftür (ST).

Kayaç numuneleri üzerinde negatif kesme açısına sahip bir basit kama keski ile kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te kaya kesme deneylerinde kullanılan keski ve kayaç numuneleri görülmektedir. Kesme deneyleri 23 cm x 20 cm x 10 cm boyutlarında olan blok numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri 5 mm kesme derinliğinden gerçekleştirilmiştir. Her kayaç numunesi için en az üç kesme deneyi gerçekleştirilmiştir ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Her kayaç için maksimum kesme kuvveti belirlenmiştir. Maksimum kesme kuvveti elde edilirken Barker (1964) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir. Bunlara ilave olarak kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ve dolaylı çekme dayanımları, teorik kesme kuvvetlerinin bulunabilmesi için, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenmiştir ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca, bulunan dolaylı çekme dayanımı değerleri, teorik çalışmalarda ele alınan değer direkt çekme dayanımı olduğu için, direkt çekme dayanımı değerine Perras ve Diederichs (2014) tarafından önerilen yöntemle çevrilmiştir.



Şekil 5. (a) Karot kesme deneyinde kullanılan keski ve özellikleri (b) Deney öncesi hazırlık (c) Blok numune üzerinde kesme deneyi (d) Karot numunesi üzerinde kesme deneyi (Yaşar, 2017)

Tablo 1. Kullanılan kaya örneklerinin mekanik özellikleri (Yaşar, 2017).

Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $\sigma_c$ , MPa	Dolaylı Çekme Dayanımı, $\sigma_{bt}$ , MPa	Direkt Çekme Dayanımı, $\sigma_t$ , MPa
Kırmızı andezit	72,85	7,91	6,33
Gri andezit	99,92	8,34	6,67
Yeşil Tüf	51,65	5,84	4,67
Gri Tüf	62,63	7,08	5,66
Kahverengi vitrik tüf	88,15	8,38	6,70
Sarı vitrik tüf	62,48	5,47	4,38

#### 4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Kaya kesme deneylerinden elde edilen maksimum kesme kuvveti, Evans ve Nishimatsu modelleri ile tahmin edilen kesme kuvveti değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Evans modelinde Eşitlik 2’den faydalanılarak hesaplama yapılmıştır ve kaya ile keski arasındaki değer hesaba katılmamıştır. Nishimatsu modelinde ise Eşitlik 3 yardımı ile kesme kuvveti hesaplanırken sürtünme açısı ve gerilme dağılım faktörü hesaplanırken sırası ile Eşitlik 6 ve 4 kullanılmıştır. Kayacın kohezyonu ve içsel sürtünme açısı, Nishimatsu tarafından da dolaylı yöntemle belirlenmiştir ve bu hesaplama ile ilgili bilgiler Nishimatsu (1993)’ten elde edilebilir.

Tablo 2. Gerçekleştirilen kesme deneyinin ve teorik çalışmaların sonuçları (Yaşar, 2017).

Kaya	d (mm)	w (mm)	$\alpha$ (°)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	n	$\phi$ (°)	k (°)	FC’ Deney (N)	FC’ Evans (N)	FC’ Nishimatsu (N)
KA	5	12,7	-5	6,33	72,85	14,62	12,2	21,3	46,27	3645,42	2256,0	1898,04
GA	5	12,7	-5	6,67	99,92	16,67	12,2	21,3	53,09	9721,60	2377,2	5051,03
YT	5	12,7	-5	4,67	51,65	10,68	12,2	21,3	45,05	3341,15	1664,4	1239,69
GT	5	12,7	-5	5,66	62,63	12,95	12,2	21,3	45,05	4438,25	2017,2	1504,33
KT	5	12,7	-5	6,70	88,15	16,07	12,2	21,3	49,93	4677,52	2387,9	3105,14
ST	5	12,7	-5	4,38	62,45	10,76	12,2	21,3	51,98	3269,85	1561,0	2743,09

Deneysel ve teorik kesme kuvvetleri grafik üzerinde Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi Nishimatsu (1972) modeli ile sarı tüf, kahverengi tüf ve gri andezit numunelerindeki kesme kuvveti Evans (1958) modelinden daha gerçeğe yakın sonuçlar vermiştir. Diğer numunelerde ise Evans (1958) yaklaşımı gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir husus, Evans modelinin sürtünmeyi hesaba katmamasıdır ki sürtünme hesaba katıldığında bu tahmin sonuçları tamamen değişecektir. Evans (1965) kendi teorisini sürtünme katsayını da işin içine katacak şekilde tekrar güncellemiştir. Roxborough (1973) tarafından yapılan düzeltme ile bu güncelleme birleştirildiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$FC' = \frac{2 \sigma_t d w \sin \left( \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) + \phi \right)}{1 - \sin \left( \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) + \phi \right)} \quad (7)$$

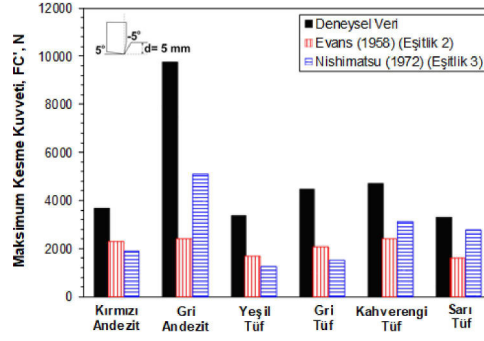
Burada;

- FC' = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_t$  = Kayacın çekme dayanımı, MPa,  
d = Kesme derinliği, mm,  
w = Keski genişliği, mm,  
 $\alpha$  = Kesme açısı, °,  
 $\phi$  = Kaya kesmedeki sürtünme açısı, °'dir.

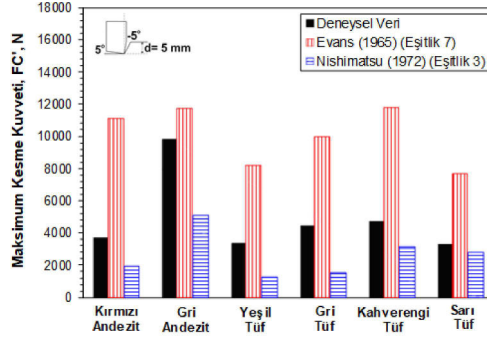
Nishimatsu tarafından önerilen sürtünme açısı ( $\phi$ ), aslında görgül yöntemlerle bulunan bir sabittir. Eşitlik 7'de verilen sürtünme açısı ise doğrudan kaya ile keski arasında çeşitli sürtünme deneyleri yapılarak bulunan bir açı değeridir. Ancak, çeşitli çalışmalarda Nishimatsu tarafından önerilen açının yerine doğrudan sürtünme açısı koyulabileceği bildirilmiştir (Bilgin vd., 2014; Wang vd., 2017). Bu çalışmada keski ile kayaç arasındaki sürtünme katsayıları ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmadığından Eşitlik 6 ile hesaplanan sürtünme açısı (21,3°) Evans modelinde kullanılmıştır. Şekil 7'de sürtünme açısının Evans modelinde de hesaba katıldığında elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Şekil 7'den de görülebileceği gibi Evans modeli gri andezit numunesi hariç diğer tüm kayaçlarda kesme kuvvetini 2 ile 3 kat arası fazla hesaplamıştır. Bu sonuca göre sürtünme hesaba katıldığında, Nishimatsu modelinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Buradan elde edilen bulgular geçmiş çalışmalar ile örtüşmektedir. Bilgin (1989) Evans modelinin dayanımı daha düşük kayaçlarda doğru sonuçlar verdiğini ve Nishimatsu modelinin ise dayanımı daha yüksek olan kayaçlarda gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Ayrıca, Gökten (1990) çalışmasında yüksek dayanıma sahip kayaçların negatif kesme açısına sahip kesimler ile kesilmesinde çekme tipi yenilmenin görülmeyeceğini ve kesme yenilmesinin görülmesinin daha olağan olduğunu iddia etmiştir. Nishimatsu modelinde kayacın yenilmesinden sorumlu gerilme tipinin kesme gerilmesi olduğundan dolayı, negatif uç açılı bir keski ile bu kayaçların kesilmesinde bu modelin daha iyi sonuçlar vermesi olağan gözükmemektedir. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, kaya kesmedeki hâkim gerilme tipi kayacın tipine, keski özelliklerine vs. bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bundan dolayı, kaya kesmedeki gerilme durumunu daha iyi yansıtabilecek kesme teorilerine gereksinim duyulmaktadır. Bu amaç için de kaya kesme deneylerinden sağlanan verinin önemi daha da artmaktadır.





Şekil 6. Deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi



Şekil 7. Deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi (sürtünme açısı her iki modelde de hesaba katıldığında)

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada negatif kesme açısına sahip bir keski ile kaya kesme deneyine tabi tutulan altı farklı magmatik kayaçtan elde edilen deneysel kesme kuvveti değerleri ile Evans ve Nishimatsu tarafından önerilen modeller yardımı ile hesaplanan teorik kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sürtünme açısı hesaba katılmadığında bazı kayalarda Evans bazı kayalarda ise Nishimatsu modelinin daha gerçeğe yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak sürtünme açısı hesaba katıldığında, Nishimatsu modelinin gri andezit numunesi hariç tüm kayalarda çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak da daha fazla kaya kesme deneyi gerçekleştirilerek ve daha fazla deney verisi üretilerek kaya kesme teorilerinin geliştirilmesine gereksinim duyulduğu belirtilmiştir.

## Kaynaklar

Barker, J.S., 1964. A Laboratory Investigation of Rock Cutting Using Large Picks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1, 519–534.

Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 192 s.

Bilgin, N., Demircin, M.A., Çopur, H., Balcı, C., Tunçdemir, H., Akçin, 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, 1, 139–156.

Bilgin, N., Copur, H., Balcı, C., 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, CRC Press, 366 s.

Evans, I., 1958. Theoretical Aspects of Coal Ploughing, Mechanical Properties of Non-Metallic Brittle Materials, W.H. Walton, Ed., Butterworths, London, 451–468.

Evans, I., 1965. The Force Required to Cut Coal with Blunt Wedges. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, 2, 1–12.

Göktan, R.M., 1990. Effect of Cutter Pick Rake Angle on the Failure Pattern of High-Strength Rocks, *Mining Science and Technology*, 11, 281–285.

ISRM, 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM suggested Methods*. E.T. Brown, Ed., Pergamon Press, 211 s.

Mellor, M., 1977. *Mechanics of Cutting and Borin: Part IV: Dynamics and Energetics of Parallel Motion Tools*, CRREL Report 77-7, 96 s.

Menezes, P.L., Lovell, M.R, Avdeev, I.V., Lin, J.S., Higgs III, C.F., 2014. Studies on the Formation of Discontinuous Chips During Rock Cutting Using an Explicit Finite Element Model, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70, 635-648.

Nishimatsu, Y., 1972. The Mechanics of Rock Cutting, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 9, 261-270.

Nishimatsu, Y., 1993. *Theories of Rock Cutting*, *Comprehensive Rock Engineering*, J.A. Hudson, Ed., Oxford, Pergamon Press, 647-662.

Perras, M.A. ve Diederichs, M.S., 2014. A Review of the Tensile Strength of Rock: Concepts and Testing, *Geotechnical and Geological Engineering*, 32, 525-546.

Rostami, J., Ozdemir, L., Nilson, B., 1996. Comparison between CSM and NTH hard rock TBM performance prediction models. In *Proceeding of the Annual Conference the Institution of Shaft Drilling Technology*, Las Vegas, pp. 1

Roxborough, F.F., 1973. The Cutting Rock with Picks, *Mining Engineer*, June, 445-454.

Yaşar, S., 2017. *Kayaç kesilebilirliğinin tayini için düşey kayaç kesme setinin geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., 2017a. A Novel Mobile Testing Equipment for Rock Cuttability Assessment: Vertical Rock Cutting Rig (VRCR), *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50, 857-869.

Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., 2017b. Vertical rock cutting rig (VRCR) suggested for performance prediction of roadheaders, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, DOI: 10.1080/17480930.2017.1363482.

Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., 2017c. Rock Cutting Tests with a Simple-Shaped Chisel Pick to Provide Some Useful Data, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, DOI: 10.1007/s00603-017-1303-2.

Wang, X., Liang, Y., Wang, Q., Zhang, Z., 2017. Empirical Models for Tool Forces Prediction of Drag-Typed Picks Based on Principal Component Regression and Ridge Regression Methods, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 62, 75-92.