

KAYAÇ KESMEDE KESKİ PERFORMANSININ TAHMİNİ İÇİN DOKU KATSAYISI YAKLAŞIMININ KULLANILABİLİRLİĞİ

Applicability of Texture Coefficient Concept for the Prediction of Pick Performance in Rock Cutting

Bülent TIRYAKI⁰
A. Çağatay DİKMEN¹
Yusuf K. KADIOĞLIT^{*1}
Deniz ÖZBİLGİN^(**)
Nazife TIRYAKI^{*****}
Naci BÖLÜKBAŞI[']

ÖZET

Mekanik kazıcıların seçiminde, keskinin kazı sırasında göstereceği performansın tahmini çok önemlidir. Keski performansının, dokusal ve bileşimsel kayaç özelliklerinden hareketle tahmin edilebilirliği ile ilgili olarak literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu yazıda, kayaç delme çalışmalarında geliştirilen doku katsayısı yaklaşımının, kayaç kesmede özgül kesme enerjisinin belirlenmesinde kullanılabilirliği ile ilgili olarak yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Bu çalışmalarda, seçilen kumtaşı örnekleri üzerinde kapsamlı mineralojik-petrografik analizler, kaya ve kazı mekaniği deneyleri yapılmıştır. Doku katsayısı hesabında kayaç parçaları içindeki mineral tanelerini dikkate alan yeni bir yöntem kullanılmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel analiz sonuçları, doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğunun, özgül kesme enerjisi ile istatistiksel açıdan kabul edilebilir bir ilişki içinde olduklarını göstermiştir. Bu çalışmada, doku katsayısı yaklaşımının kayaç kesmedeki önemi literatürde ilk kez olmak üzere ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kayaç Kesme, Kesilebilirlik, Doku Katsayısı, Keski Performansı, Özgül Kesme Enerjisi

ABSTRACT

Prediction of the performance of the rock cutting tools (picks) is very important in selecting mechanical excavators. In literature, studies related to the prediction of pick cutting performance referring to textural and compositional rock properties are very few. This paper is aimed to describe the studies on applicability of texture coefficient concept that was previously developed during rock drillability studies, for the estimation of specific cutting energy in rock cutting. In these studies, comprehensive mineralogical and petrographic analyses, rock mechanics and rock cutting experiments were carried out on some selected sandstone samples. A new method concerning the details of mineral grains included in rock pieces in thin sections were employed through the calculations of individual texture coefficient values. Results of statistical analysis carried out on data obtained from these experiments revealed that, there were statistically strong relationships between the texture coefficient, packing density and specific cutting energy. The significance of the texture coefficient concept in rock cutting was put forward for the first time in literature within this study.

Keywords: Rock Cutting, Cuttability, Texture Coefficient, Pick Performance, Specific Cutting Energy

Dr., Research Scholar, The University of Queensland, Division of Mechanical Engineering,
Brisbane, AUSTRALYA
Maden Yük. Müh., TC Çevre Bakanlığı, ANKARA
Doç.Dr., Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANKARA
Maden Müh., MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA
Araş.Gör., Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Beytepe Kampusu, 06532 ANKARA
Prof.Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, 06531 ANKARA

1. GİRİŞ

Mekanik kazı makinelerinden beklenen yararları ulaşabilmek için, bu makinelerin kazılacak kayaların özelliklerine uygun olarak seçilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, mekanik kazı makinelerinin seçilmesinden ve uygulanmasından önce, kayaların kesilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Bu özellikler, laboratuvar ölçekli standart kaya kesme deneyleri ile belirlenebilmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen özgül kesme enerjisi değerlerine bağlı olarak, kayaca uygun mekanik kazı makinesi tipi de seçilebilmektedir. Ancak, kesilebilirlik deneyleri için geniş kapsamlı laboratuvar olanaklarına ve kaliteli örneklerle gereksinim duyulmaktadır. Bu durum genellikle pahalı ve zaman alıcı olmaktadır.

Bu olanakların bulunmadığı durumlarda, kaya kesilebilirliğinin tahmini ve makina seçimi için diğer bazı kaya özelliklerinin kullanılmasını öngören az sayıda deneysel tahmin modeli bulunmaktadır. Bu alanda, McFeat-Smith ve Fowell (1977) ile Bilgin vd. (1988)'nin modelleri, en iyi bilinen deneysel tahmin modelleridir. McFeat-Smith ve Fowell (1977)'in çok çeşitli sedimanter kayalar kullanarak geliştirdikleri model, kayaların mekanik aletlerle kesilebilirlik özelliklerinin; dokusal, bileşimsel ve mühendislik özellikleri ile ilişkisinin belirlenmesi amacıyla en sık kullanılan modeldir. Bununla birlikte bu modelin oluşturulması sürecinde, kaya dokusu kavramı içinde bulunan bazı petrografik kaya özelliklerinin yeterince dikkate alınmadığı bilinmektedir.

Kaya mühendisliğinin her alanında kayacın, gerçekleştirilmesi düşünülen mühendislik faaliyeti içindeki davranışının belirlenebilmesi için, mühendislik özelliklerinin (fiziksel, mekanik ve indeks) bilinmesi gereklidir. Bu özellikler, kayaların dokusal ve bileşimsel özelliklerinden de büyük ölçüde etkilenmektedir (İrfan ve Dearman, 1978; Bell, 1978; Hugman ve Friedman, 1979; Onodera ve Asoka Kumara, 1980; Howarth ve Rowlands, 1986; Shakoor ve Bonelli, 1991; Ulusay vd., 1994; Tuğrul ve Zarif, 1999). Kayaların mühendislik özelliklerinin, bileşimsel özelliklerinden de etkilendiği bilinmekle birlikte, bu alanda dokusal kaya özelliklerinin, bileşimsel özelliklerden daha etkin olduğu ifade edilmektedir (Ulusay vd., 1994; Tuğrul ve Zarif, 1999). Kayaların dokusal ve bileşimsel özellikleri, kazı makinelerinin performanslarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Uygulamada, bu özelliklerde görülen küçük değişikliklerin, düşük kazı hızlarına, keskinlere aşınmalara ve kopmalara yol açtığı görülmüştür. Tane (mineral) şekli, tane boyu, tane yönelmesi, tane girişiminin derecesi ve paketlenme yoğunluğu (packing density), kayaların birçok kaya mühendisliği uygulamalarındaki davranışını etkilediği bilinen dokusal özelliklerdir. Bu anlamda dikkate alınan bileşimsel kaya özellikleri ise, mineral bileşimi, sert mineral içeriği, kuvars tane boyu, kuvars/feldispat oranı, mafik mineral oranı, mineral tanesi/kaya parçası oranı (litik oranı) ve çimentolaşma derecesi ve çimento tipidir.

Laboratuvarda gerçekleştirilen delinebilirlik çalışmaları sonucunda Howarth ve Rowlands (1987) tarafından doku katsayısı (texture coefficient) olarak isimlendirilen bir model geliştirilmiştir. Bu model, kayaların dokusal yapılarının, kayacın yük altında çatlaklanmasına karşı fiziksel bir engel oluşturduğu gerçeğinden hareket edilerek geliştirilmiştir. Doku katsayısı modelinin, delinebilirlik çalışmaları sırasında, ilerleme hızı ile iyi bir korelasyon verdiği görülmüştür (Howarth ve Rowlands, 1987; Azzonivd., 1996).

Bununla birlikte, laboratuvarda yapılan bazı delinebilirlik deneyleri sonucunda elde edilen ilerleme hızı değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında beklenen tersine bir ilişki bulunduğu da rapor edilmiştir (Ersoy ve Waller, 1995). Bu çalışmada kullanılan kumtaşı, iri taneli ve paketlenme yoğunluğu yüksek olduğu için yüksek bir doku katsayısı değerine sahip olmuştur. Ancak yüksek doku katsayılı bir kaya için beklenen tam aksine yüksek bir hızla delinmiştir. Çalışmada kullanılan diğer kaya türleri için, kumtaşında gözlenen aksine, yüksek doku katsayıları düşük delme hızları oluşturmuştur. Bu durumun temel nedeni, doku katsayısı hesabında matris yapısı ve kaya parçaları içindeki mineral taneleri ile ilgili bazı özelliklerin yeterince dikkate alınmamasıdır.

Delinebilirlik ve kesilebilirlik, sert metaller kullanılarak kaya yapısının parçalanması işlemlerini ifade etmektedirler. Bu işlemler, mekanizma ve işlemlerde baskın olan parametreler açısından farklı olmalarına karşın, çatlaklanmanın oluşumu ve yayılımı açısından bazı benzerlikler içermektedirler. Bu nedenle, kayacın dokusunun çatlak yayılımına direncinin bir ölçütü olarak ifade edilen doku katsayısı modelinin, keski kuvvetleri ve özgül kesme

enerjisi ile ilişkilerinin irdelenmesinin, kesilebilirliğin doğasını daha iyi özümsemek ve bir kesilebilirlik tahmin modeli oluşturabilmek için yararlı olacağı düşünülmektedir.

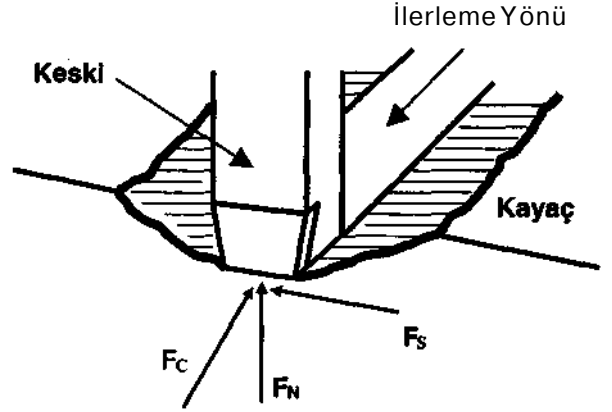
Bu çalışma kapsamında, doku katsayısı modelinin kayaç kesmede, keski performansının önceden belirlenmesi için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, seçilen çeşitli kumtaşı örneklerinin üzerinde ayrıntılı mineralojik-petrografik analizler, kaya mekaniği ve standart laboratuvar kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Keski performansının değerlendirilmesinde, kazı sırasında keskiye etkiyen kesme kuvveti kullanılarak hesaplanan özgül kesme enerjisi dikkate alınmıştır. Doku katsayısı hesabında, yukarıda belirtilen eksiklikleri giderebilmek amacıyla yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda, önerilen yöntem kullanılarak belirlenen doku katsayısı modelinin, kayaç delmede olduğu gibi, kayaç kesmede de kullanılabilirliği anlaşılmıştır (Dikmen, 2002).

2. KAYAÇ KESİLEBİLİRLİĞİ VE KESKİ PERFORMANS PARAMETRELERİ

Kesilebilirlik, mekanik kazı işleminin performansını belirleyen birincil kayaç özelliğidir. Kesilebilirlik deneyleri, geniş laboratuvar olanakları dahilinde, doğrusal kayaç kesme düzeneği kullanılarak, karot ya da blok şeklindeki kayaç örneklerinin standart keskiyle kesilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu özellik temel olarak, keskilere kazı sırasında etkiyen keski kuvvetleri ve özgül kesme enerjisi parametreleri ile ifade edilmektedir. Kesilebilirlik deneyleri sırasında bu iki parametrenin yanısıra belirlenen, kırılma açısı (breakout angle), keski aşınması, kesme süreci sonucunda elde edilen ürünün tane boyu dağılımı ve solunabilir toz miktarı gibi parametreler de, verilen kayaç türü için kayacın kesilebilirliğinin ve keski performansının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Laboratuvarında ölçülen özgül kesme enerjisi değerinin, galeri açma makinalarının yerinde kazı hızları ve performansları ile iyi bir korelasyon içinde olduğu belirlenmiştir (McFeat-Smith ve Fowell, 1977). Laboratuvar özgül kesme enerjisi, aynı zamanda kazı işleminde çalışacak makine tipinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır.

Bir keski kesme yaparken üç kuvvet bileşeninin etkisi altındadır. Bunlar; kesme doğrultusunda etkiyen kesme kuvveti (F_c), kesme doğrultusuna dik yönde etkiyen normal kuvvet (F_N) ve F_c ile

F_N 'nin bulunduğu düzleme dik olarak etkiyen yanal kuvvet (F_s)'tir (Şekil 1).



Şekil 1. Keski kuvvet bileşenleri (Tiryaki, 1994)

Düşük kesme kuvveti, bazı durumlarda düşük miktarda ürün elde edilmesi sonucunu doğurabileceğine göre, kesme kuvvetleri, tek başlarına kesme verimliliğinin bir ölçütü olarak kullanılmazlar. Pratikte kesme verimliliğinin ölçülmesinde özgül kesme enerjisi kullanılmaktadır. Özgül kesme enerjisi, ana kayaç kütlelerinden birim ağırlık ya da hacimdeki malzemeyi koparmak için harcanan enerji ya da ortalama kesme kuvvetinin, elde edilen ürün miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Genel olarak, kesme derinliği arttıkça kesme verimliliği artar, özgül kesme enerjisi düşer. Dolayısıyla en düşük özgül kesme enerjisi en yüksek kesme verimliliğini belirtmektedir (Hughes, 1972; Evans ve Pomeroy, 1973; Roxborough, 1973).

3. KAYAÇ KESİLEBİLİRLİĞİNİN DİĞER KAYAÇ ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİSİ

Kayaçların kesilebilirlikleri ile dokusal ve bileşimsel kayaç özellikleri arasındaki ilişkiler konusunda, sonuçları literatüre yansımış olan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Kesilebilirlik ile diğer kayaç özellikleri arasındaki ilişki konusunda en iyi bilinen çalışma, McFeat-Smith ve Fowell (1977)'in çeşitli seâmanter kayaçlar kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmadır. Araştırmacılar çalışmalarında, bazı dokusal, bileşimsel, fiziksel, mekanik kayaç özellikleri ve indeks değerleri ile laboratuvar özgül kesme enerjisi değerleri, keski aşınma oranı ve kazı ürününün tane boyu gibi keski performans parametrelerinin ilişkisini

incelemişlerdir. Bu çalışmada, tane boyu ve tane şekli (yuvarlaklık ve küresellik) gibi dokusal kayaç özellikleri ile kuvars içeriği ve çimentolaşma tipi ve derecesi gibi bileşimsel kayaç özellikleri dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda, çimentolaşma katsayısı ve kuvars içeriği gibi bileşimsel kayaç özellikleri ile tek eksenli basma dayanımı, NCB koni delici indeksi ve Shore scleroscope sertliği gibi kayaç mühendislik özelliklerinin özgül kesme enerjisinin tahmininde etkin oldukları gözlenmiştir.

McFeat-Smith ve Fowell (1977)'in kesilebilirlik modelinden elde edilen özgül kesme enerjisi değerlerinin, bazı kayaç türleri için sahada ölçülen değerlerle iyi bir korelasyon verdiği görülmüştür. Ancak, laboratuvarda ölçülen özgül kesme enerjisi değerlerinin sahada ölçülen değerlerden oldukça farklı oldukları belirlenmiştir (Rostamivd., 1993).

Kayaçların dokusal ve bileşimsel özelliklerinin keski performansına etkileri ile ilgili olarak yapılan ve sonuçları bilimsel literatüre yansıyan çalışma sayısı sınırlı olduğundan, bu kapsamdaki birçok kayaç özelliğinin keski performansına etkisi ayrıntılı olarak bilinmemektedir.

3.1. Kayaç Dokusu

Kayaçların dokusal özellikleri ile dayanımları ve delinebilirlik özellikleri arasındaki ilişkileri inceleyen ilk çalışmalar Queensland Üniversitesi Maden, Mineral ve Metalürji Mühendisliği Bölümü'nde (Avustralya) gerçekleştirilmiştir (Howarth ve Rowlands, 1986; Howarth ve Rowlands, 1987). Bu çalışmalar sonucunda önerilen model, kayacın mineralojik-petrografik incelenmesi sonucunda, tane şekli, tane yönelmesi, tanelerin birbiri içine girişim yapma derecesi ve paketlenme yoğunluğu gibi kayaç dokusu parametrelerini dikkate alarak bir kayaç doku katsayısı eşitliği üretmeye dayanmaktadır. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$TC = AW \times \left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right] \quad (1)$$

Burada;

TC : Doku katsayısı

AW: Paketlenme yoğunluğu

N_0 : Görünüş oranı 2,0' den küçük olan tanelerin sayısı

N_1 : Görünüş oranı 2,0' den büyük olan tanelerin sayısı

FF_0 :Tüm N_0 tanelerinin şekil faktörü değerlerinin ortalaması

AR_1 :Tüm N_1 tanelerinin uzunluk / genişlik oranı değerlerinin ortalaması

AFV_1 tane yönelmesini ifade eden açı faktörüdür.

Yüksek bir doku katsayısı değeri aşağıdakilerden birinin ya da birkaçının göstergesidir:

- Matriks alanına oranla daha büyük bir toplam tane alanı,
- Yüksek derecede girişime sahip testere dişi şekilli taneleri gösterecek şekilde, tane alanı ile de ilintili olarak uzun tane çevresi,
- Uzun ve ince tanelerin yüksek derecede girişimli dokuyu ifade eder şekilde yönelmesi.

Dolayısıyla, yüksek bir doku katsayısı değerine sahip kayaç malzemesi, kendisinin mikro-yapısının içinde gelişecek olan çatlak yayılımına karşı fiziksel olarak yüksek dirençli kabul edilir (Şekil 2). Diğer bir deyişle, kayacın doku katsayısı parametresi ile ifade edilen dokusal özellikleri, çatlak yayılımına fiziksel bir engel oluşturmaktadır. Bu modele göre, düşük doku katsayısı, düşük dayanımı ifade etmektedir. Düşük doku katsayısına sahip olan kayaçların yüksek kesme hızları ile delinmesi beklenmektedir (Howarth ve Rowlands, 1987).

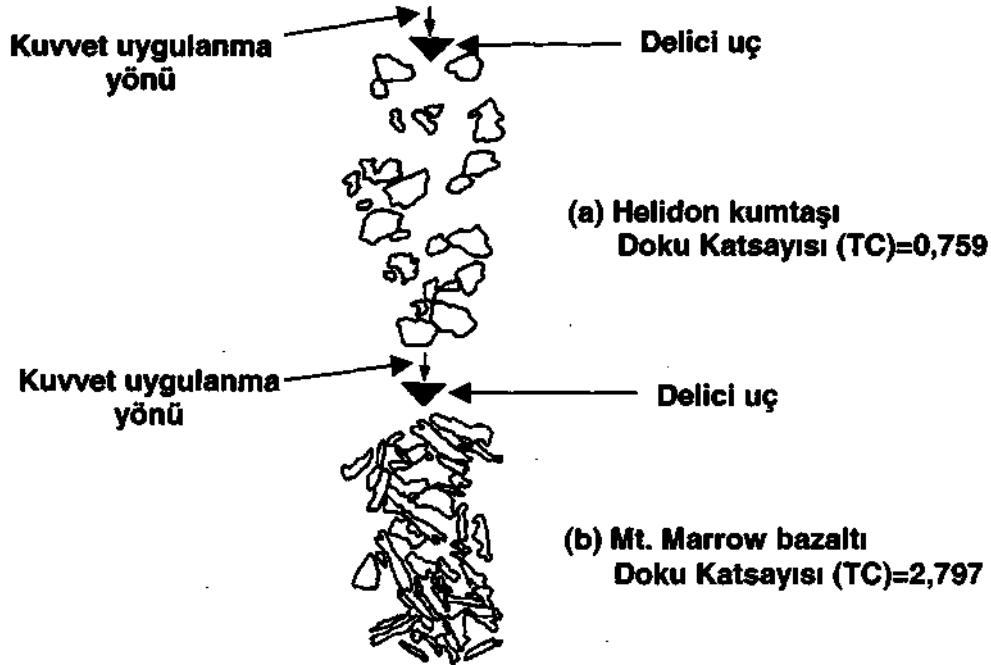
Howarth ve Rowlands (1987)'in yaptıkları çalışmada kullandıkları kayaç türlerinin kuvvet uygulama yönüne dik, paralel ve rastgele doğrultularda hesaplanan doku katsayısı değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'ten de görülebileceği gibi mermerlerde dik, paralel ve rastgele doğrultularda alınan ince kesitlerden hesaplanan doku katsayısı değerleri arasında önemli ölçüde farklılık gözlenirken; kumtaşları için hesaplanan doku katsayısı değerleri, ince kesit doğrultusundan önemli ölçüde etkilenmemektedir.

Howarth ve Rowlands (1987), magmatik kayaçlar, kumtaşları ve mermerler kullanarak yaptıkları çalışmalarında, her bir kayaç örneği için hesaplanan doku katsayısı değerleri ile kayaç dayanımı ve ilerleme hızı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir korelasyonun bulunduğunu bildirmişlerdir. Doku katsayısı değerleri ile delinebilirlik deneylerinde

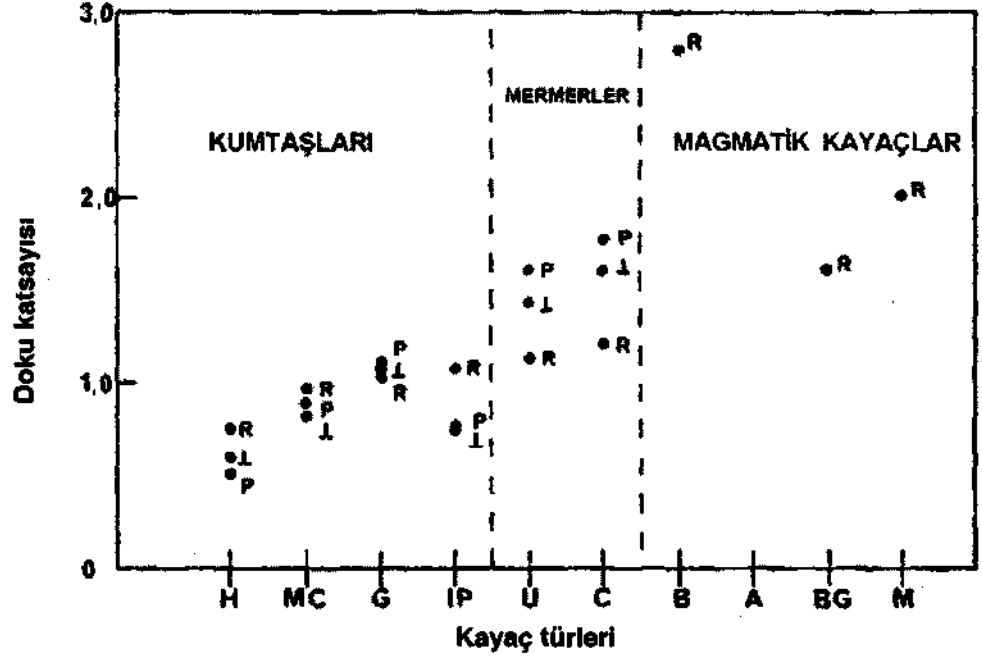
ölçülen ilerleme hızı değerleri arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir. Howarth ve Rowlands (1987), bu sonuçlardan hareketle, doku katsayısının, kayacın dokusunun çatlak yayılımına direncinin bir ölçütü olduğunu; dolayısıyla, kayaç dayanımının ve delinebilirliğinin önceden belirlenmesinde kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Bununla birlikte, iri taneli, zayıf çimentolu, çok gözenekli ve düşük dayanımlı bir kumtaşı da içeren bir çalışmada, kumtaşı için hesaplanan doku katsayısı değerinin yüksek olmasına karşın, bu kayacın, doku katsayısı daha düşük olan kayaçlardan daha hızlı delindiği belirlenmiştir Ersoy ve Waller (1995). Buna gerekçe olarak, çalışmada kullanılan kumtaşının çok gözenekli olmasının yanısıra, bu kumtaşı oluşturan taneler arasındaki bağlar ile matriks malzemesinin zayıf olması gösterilmiştir. Bu kayaç iri taneli ve paketlenme yoğunluğu yüksek olduğu için yüksek bir doku katsayısı değerine sahip olmuştur. Ancak yüksek doku katsayılı bir kayaç için beklenenin aksine yüksek bir hızla delinmiştir (Ersoy ve Waller, 1995).

Mineralojik bileşimin de, kayaçların dayanım özelliklerini ve kesilebilirliklerini etkilediği bilinmektedir. Bu alanda en çok çalışılan

parametre, kayacın kuvars içeriğidir. Fahy ve Guccione (1979) ile Shakoor ve Bonelli (1991) çalıştıkları kumtaşları için, kayaçların kuvars içeriği ile tek eksenli basma dayanımı arasında belirgin bir ilişki bulmuşlardır. Tuğrul ve Zarif (1999), granitler üzerinde yaptıkları çalışmada, kayacın kuvars içeriği arttıkça, dayanım özelliklerinin de arttığını bildirmişlerdir. Kayacın içerdiği mafik minerallerin miktarı arttıkça, dayanımının azaldığı ifade edilmektedir. Demir ve magnezyum içeren mafik mineraller, fiziksel ve kimyasal olaylardan önemli ölçüde etkilenmekte ve bu olaylar sonucunda bozunabilmektedirler. Bu durumda kayacın dokusal özellikleri de değişmektedir. Kayacın içerdiği kayaç parçası miktarı, kayacın dayanımını olduğu gibi dokusal özelliklerini de önemli ölçüde etkilemektedir. West (1986), kömür içeren sedimanter kayaçları kullanarak yaptığı çalışmalar sonucunda, CERCHAR aşındırıcılık indeksi ile ifade edilen kayaç aşındırıcılığının kayacın kuvars içeriği ve Mohs sertlik ölçütü ile doğru orantılı olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, McFeat-Smith (1977), kayacın kuvars içeriğinin, keski tüketimi açısından kayaç aşındırıcılığını tek başına ifade edemeyeceğini bildirmiştir.

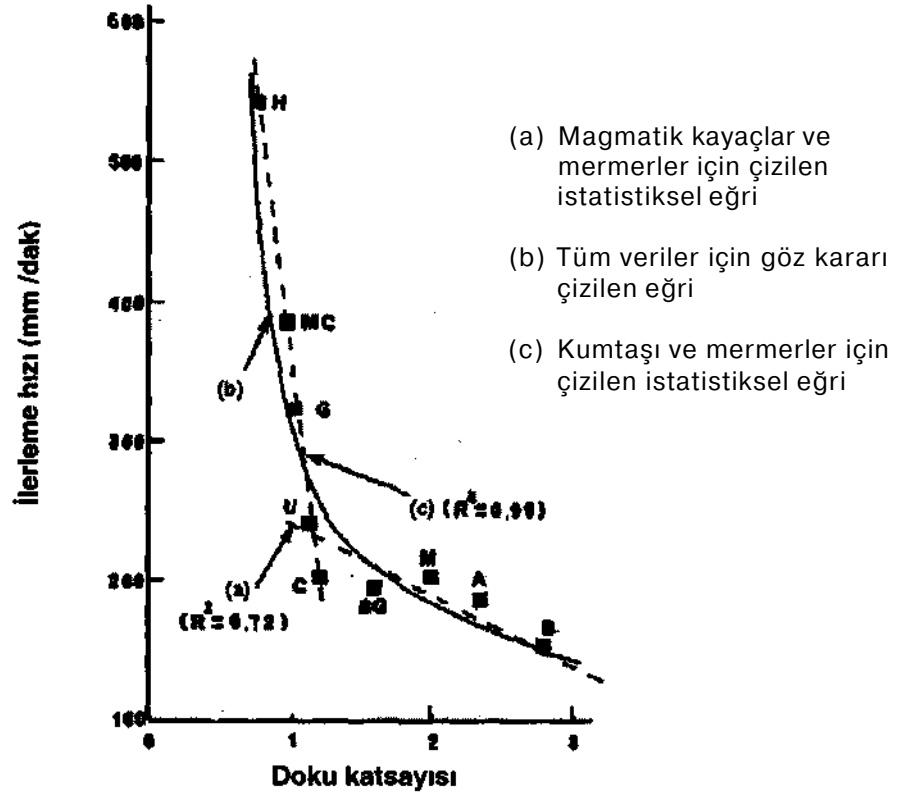


Şekil 2. Kayaç dokusunun çatlak yayılımına direnci (Howarth ve Rowlands, 1987)



P: Mekanik deneylerde kuvvet uygulama yönüne paralel yönde alınan ince kesit
 L: Mekanik deneylerde kuvvet uygulama yönüne dik yönde alınan ince kesit
 R: Mekanik deneylerde kuvvet uygulama yönüne bakılmaksızın alınan ince kesit

Şekil 3. Çeşitli kayaçların doku katsayısı değerleri (Howarth ve Rowlands, 1987)



Şekil 4. Doku katsayısı ile ilerleme hızı arasındaki ilişki (Howarth ve Rowlands, 1987)

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında araziden alınan kumtaşı örneklerinin mineralojik ve petrografik analizleri yapılmış; mühendislik ve kesilebilirlik özellikleri belirlenmiştir (Dikmen, 2002). Örnekler, Ankara ili yakınlarında bulunan, jeolojik yönden daha önce çalışılmış ve genel özellikleri belirlenmiş bölgelerden alınmıştır. Onsekiz farklı lokasyondan farklı kayaç örnekleri alınmıştır. Bir Küresel Yer Gösterici (GPS) cihaz kullanılarak koordinatları belirlenen lokasyonlardan alınan örnekler, öncelikle ayrıntılı bir mineralojik-petrografik analize tabi tutulmuştur. Örnekler üzerinde daha sonra kaya mekaniği deneyleri

yapılarak mühendislik özellikleri ve ön kesme çalışmaları yapılarak, kullanılacak kayaç kesme setinin güç sınırları içinde kesme deneyi yapılabilecek olanlar belirlenmiştir. Lokasyon 8-A, Lokasyon 8-B, Lokasyon 10, Lokasyon 14, Lokasyon 16 ve Lokasyon 18'den alınan örnekler dışındaki kumtaşı örneklerinin, hafif-orta ağırlıktaki galeri açma makineleri ile yapılacak mekanik kazı işlemi için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, 18 ayrı lokasyon örneği içinden, sadece 6 farklı kumtaşı örneği üzerinde standart kesme deneyi yapılmış ve çalışmanın amacına yönelik doku katsayısı hesaplamaları bu lokasyonlardan alınan örnekler için belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örnek Alınan Lokasyonların Koordinatları (Dikmen, 2002)

Kayaç Örneği	Kayaç Türü	Bölge	Konum		
			Doğu	Kuzey	Yükseklik (m)
L8A	Kumtaşı	Haymana-Çayraz	59922	69348	1097
L8B	Kumtaşı	Haymana-Çayraz	59922	69348	1097
L10	Kumtaşı	Haymana	58267	70118	1068
L14	Kumtaşı	Memlik-Değirmentepe	80186	37051	1203
L16	Kumtaşı	Bala (Kuzey)	81045	38875	1210
L18	Kumtaşı	Memlik-Sarıbeyler	80782	40495	1224

4.1. Mineralojik ve Petrografik Analizler

4.1.1. XRF Analizi

Çalışma sırasında alınan örneklerin X-ışınları floresanı (XRF) analizi sonuçları Çizelge 2 'de verilmiştir.

4.1.2. İnce Kesit Çalışmaları

Çalışma sırasında alınan örneklerin doku katsayılarının belirlenebilmesi için, Hacettepe Üniversitesi İnce Kesit Laboratuvarında

örneklerden, karot alma yönüne paralel ve dik olmak üzere ikişer adet ince kesit hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlerin fotoğrafları Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında Nikon Optiphod - Polarize mikroskobu altında Kodak DC-290 sayısal fotoğraf makinesi kullanılarak çekilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, ince kesitlerin Çizelge 3 'te verilen özellikleri saptanmıştır. Bu çizelgedeki veriler incelendiğinde, analizde gözönüne alınan parametrelerin ince kesit alma yönünden etkilenmedikleri görülmektedir.

Çizelge 2. Örneklerle Ait XRF Sonuçları

Kayaç Örneği	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Ateş Kaybı (%)
L8A	0,63	2,38	10,70	61,07	0,00	2,50	15,57	0,00	0,00	4,50	0,09	2,47
L8B	0,66	3,17	13,68	62,38	0,00	4,01	6,90	0,00	0,00	6,06	0,09	4,55
L10	0,60	2,56	12,01	64,26	0,00	3,30	10,35	0,00	0,00	4,92	0,13	2,20
L14	1,86	2,89	9,79	62,37	0,10	1,86	10,82	0,93	0,10	4,74	0,00	4,12
L16	1,75	5,26	9,79	63,92	0,10	1,03	8,04	1,13	0,10	6,80	0,00	1,88
L18	2,06	3,61	9,18	61,34	0,10	1,13	12,89	0,72	0,10	5,36	0,00	4,84

4.1.3. Modal Bileşim

Çalışma sırasında alınan örneklerin modal bileşimleri de belirlenmiştir. Örneklerin modal bileşimleri Çizelge 4'te verilmiştir.

4.1.4. Doku Katsayısı Hesaplamaları

Çalışma sırasında alınan örneklerin doku katsayısı değerleri, hazırlanan ince kesitlerden The Ohio State University Department of Geological Sciences (ABD) laboratuvarlarında belirlenmiştir. Howarth ve Rowlands (1987) tarafından geliştirilen (1) nolu eşitlik kullanılarak bu çalışma için alınmış olan örneklerin doku katsayıları hesaplanmıştır. Bu çalışmada, yalnızca karot alma yönüne dik yönde alınan ince kesitler için doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Sonuçları Çizelge 3'te verilen ince kesit analizi çalışması, çalışmada kullanılan kumtaşlarının petrografik özelliklerinin, ince kesit alma doğrultusundan etkilenmediğini göstermektedir. Bu durum, doku katsayısı değerlerinin de bu durumdan etkilenmeyeceğinin bir göstergesidir. Bölüm 3.1. ve Şekil 3'te verildiği üzere, kumtaşları ile yapılan önceki çalışmalar da bu durumu doğrulamaktadır (Howarth ve Rowlands, 1987). Doku katsayısı hesabında karşılaşılan ve Bölüm 3.1'de anlatılan eksiklikleri giderebilmek amacıyla, matriks

yapısını, taneler arasındaki bağları ve bunlara bağlı olarak kayaç parçaları içindeki mineral tanelerinin şekil ve içeriklerini dikkate alan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yeni yöntem, laboratuvarda yapılan bazı delinebilirlik deneyleri sonucunda, elde edilen ilerleme hızı değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında beklenenin tersine bir korelasyonun bulunmasından hareketle geliştirilmeye çalışılmıştır. Kayaç doku katsayısının hesaplanması için öncelikle her bir ince kesit üzerinde 100 adet mineral ve kayaç tanesinin sınırlarının belirlenebildiği bir referans alan seçilmiştir. Seçilen alanda, her bir tane için gerekli olan geometrik parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin yukarıda anlatıldığı şekilde hesaplanan doku katsayısı değerleri ve ilgili diğer veriler Çizelge 5'te verilmiştir.

Burada verilen bazı doku katsayısı değerleri, hesaplamalarda yeni bir yöntem kullanıldığı için, daha önceki çalışmalarda aynı kayaç türleri için hesaplanan değerlerden daha yüksektir. Çizelge 5'te görülmekte olan yüksek doku katsayısı değerleri; ilgili ince kesit örnekleri içerisinde, şekli yuvarlağa oldukça yakın çok sayıda kayaç parçasının bulunması ve bunlar içindeki minerallerin şekil ve içeriklerinin hesaplamalarda dikkate alınması nedeniyle gerçekleşmiştir.

Çizelge 3. Örneklerin İnce Kesit Analizi Sonuçları (Dikmen, 2002)

Kayaç Örneği	Mineral İçeriği	Çimento Tipi	Kayaç Parçası	Tane Boyu	Karakteristik Özelliği
L8A (D-P)	Kalsit, feldispat, kuvars, serisit, klorit, opak mineral	Demiroksit ve Kil	Bazalt, çört, kireçtaşı	Orta taneli	Bol Feldispat içerikli
L8B (D-P)	Bol feldispat, kalsit, kuvars, serisit, muskovit, klorit, opak mineral	Demiroksit ve Kil	Çört, kireçtaşı (+ Bazalt (P))	Orta taneli	Bol Feldispat içerikli
L10 (D-P)	Kalsit, kuvars, feldispat, serisit, klorit, opak mineral	Silika ve Karbonat	Çört, kireçtaşı, bazalt	Orta taneli	Belirgin yönlenme
L14 (D-P)	Kalsit, kuvars, feldispat, muskovit, bağlayıcı az	Silika	Bazalt, kireçtaşı, mermer, çört	Orta taneli	Bol kalsit içerikli
L16 (D-P)	Kuvars, feldispat, kalsit, klorit, muskovit, serisit, opak mineral	Silika	Mermer, çört, bazalt	İri taneli	İri taneli
L18 (D-P)	Kuvars, feldispat, klorit, piroksen, serisit, opak mineral.	Silika	Kuvarsit, bazalt, çört, kireçtaşı	Orta taneli	Piroksen içerikli

(D) : Karot alma yönüne dik yöndeki ince kesit

(P) : Karot alma yönüne paralel yöndeki ince kesit

Çizelge 4. Örnek Kayaçların Modal Bileşimleri (Dikmen, 2002)

<u>Kayaç Örneği</u>	<u>Kuvars (%)</u>	<u>Feldispat (%)</u>	<u>Muskovit (%)</u>	<u>Biotit (%)</u>	<u>Klorit (%)</u>	<u>Serisit (%)</u>	<u>Kalsit (%)</u>	<u>Piroksen (%)</u>	<u>Opak Mineral (%)</u>	<u>Epidot (%)</u>	<u>Kayaç Parçası (%)</u>	<u>Toplam Mafik Mineral (%)</u>	<u>Toplam Feslik Mineral (%)</u>	<u>Toplam Mineral (%)</u>
L8A	38,65	38,65	0,39	3,86	2,32	2,13	6,38	3,70	3,38	0,19	4,06	8,50	84,06	95,94
L8B	38,63	36,87	0,53	3,86	5,62	2,63	5,97	0,0	3,42	0,35	2,11	12,47	82,00	97,89
L10	30,11	23,16	0,23	1,04	3,59	1,39	37,06	0,0	0,87	1,16	1,39	7,18	90,56	98,61
L14	44,05	14,68	5,58	1,76	1,62	1,32	27,75	0,0	1,17	0,15	1,91	4,85	92,07	98,09
L16	27,47	41,21	0,55	0,27	3,30	1,37	10,44	0,0	0,82	0,27	14,29	5,22	79,67	85,71
<u>L18</u>	<u>41,90</u>	<u>13,97</u>	<u>0,84</u>	<u>0,28</u>	<u>3,91</u>	<u>1,12</u>	<u>24,58</u>	<u>0,0</u>	<u>0,56</u>	<u>6,98</u>	<u>5,87</u>	<u>12,29</u>	<u>81,28</u>	<u>94,13</u>

Çizelge 5. Kayaç Örneklerinin Doku Katsayısı Hesabı İle İlgili Veriler (Dikmen, 2002)

Kayaç Örneği	NO+NT	FF O	Ni No+N!	AR,	AF,	Paketlenme Yoğunluğu (AW)	Doku Katsayısı (TC)
L8A	0.69	8.65	0.31	2.21	1.79	0,312	2,246
L8B	0.71	9.26	0.29	2.26	1.75	0,315	2,432
L10	0.21	39.81	0.79	3.21	1.38	0,402	4,767
L14	0.45	19.42	0.55	2.91	1.12	0,520	5,476
L16	0.35	24.88	0.65	2.31	1.09	0,208	2,152
L18	0.40	66.35	0.60	2.61	1.05	0,212	5,973

L10, L14 ve L18 kodlu örneklerin ince kesitleri içindeki kayaç parçalarının büyük çoğunluğu, metamorfik kuvarsit tanelerinden oluşmaktadır. Bu taneler, metamorfizma nedeniyle grift dokulu ve ince-uzun şekillidirler. Kayaç parçaları içindeki bu mineral taneleri de ayrı birer mineral tanesi olarak doku katsayısı hesabına katılmıştır. Bu nedenle, söz konusu kayaç örnekleri için hesaplanan doku katsayısı değerleri, daha önceki doku katsayısı çalışmalarında benzer kayaç türleri için hesaplanandan daha yüksek değerlere karşılık gelmektedir. İnce kesitler içerisinde, ince ve uzun mineral taneleri içeren kayaç parçaları tek bir mineral tanesi gibi ele alındığında, kayaç örnekleri için hesaplanan doku katsayısı değerleri düşmektedir. Bu durumda hesaplanan doku katsayısı değerleri, daha önceki doku katsayısı çalışmalarında benzer kayaç türleri için hesaplanan değerlerle uyum içinde olmaktadır (Howarth ve Rowlands, 1987; Ersoy ve Waller, 1995; Öztürk ve Nasuf, 2002). Ancak, yüksek doku katsayısı değerlerine sahip kayaç örnekleri, aynı zamanda silika ağırlıklı bir matrikse sahip oldukları için, sözkonusu kayaç örneklerine keski aracılığı ile bir yük uygulandığında, ince kesit içindeki kayaç parçalarının tek bir tane yerine bir mineral topluluğu gibi davranmaları mümkün olabilecektir. Bu durumda, keskinin kayaç içinde

oluşturacağı çekme çatlakları, kayaç parçalarının sınırları yerine, kayaç parçaları içindeki minerallerin sınırlarından geçme eğiliminde olacaktır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen doku katsayısı hesaplamalarında, bütün kayaç örnekleri için, ince kesitlerinde bulunan kayaç parçalarının içindeki mineral taneleri de dikkate alınmıştır.

4.2. Kayaçların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

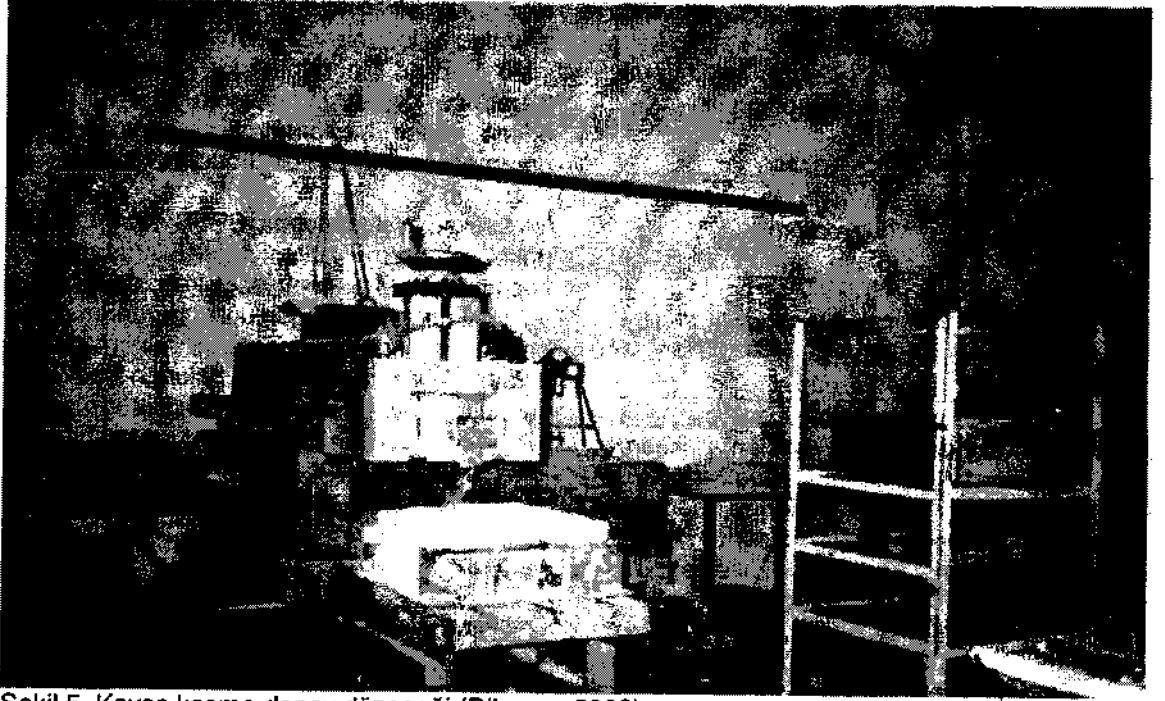
Çalışma kapsamında incelenen kumtaşlarının bazı mühendislik özellikleri ile ilgili veriler Çizelge 6'da verilmiştir. Kayaç örneklerinin mühendislik özellikleri, NCB koni delici sertliği dışında, ISRM standartlarına göre belirlenmiştir (Brown, 1981). NCB koni delici sertliği, İngiliz Kömür İşletmeleri (NCB)'ne bağlı Madencilik Araştırma ve Geliştirme Kurumu (MRDE)'nin ilgili talimatlarına göre belirlenmiştir (Anon, 1977). Shore scleroscope sertliği, C tipi Shore Scleroscope kullanılarak laboratuvarında belirlenmiştir.

4.3. Doğrusal Kayaç Kesme Deneyleri

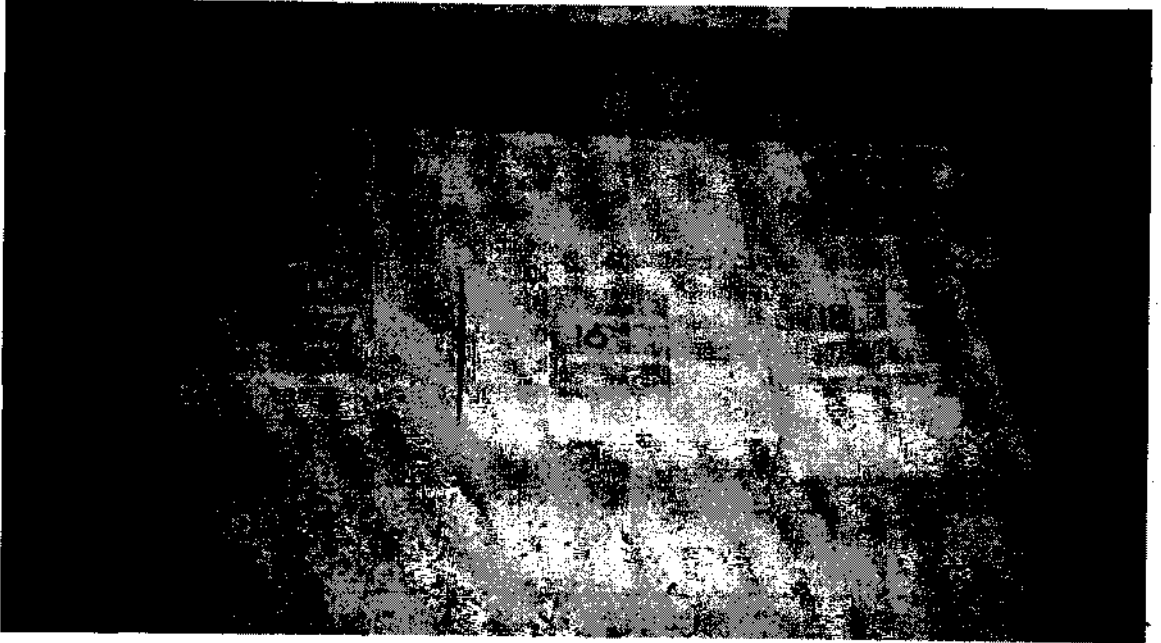
Özgül kesme enerjisinin belirlenmesinde ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan Doğrusal Kayaç Kesme Deney Seti kullanılmıştır (Şekil 5).

Çizelge 6. Kayaç Örneklerinin Bazı Mühendislik Özellikleri (Dikmen, 2002)

Kayaç Örneği	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)	Görünür Gözeneklilik (%)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	NCB Koni Delici Sertliği	Shore Scleroscope Sertliği
L8A	2,45	5,4	62,030	3,510	4,422	41,55
L8B	2,24	13,1	21,267	1,965	1,880	25,70
L10	2,36	6,5	48,173	2,535	3,168	32,90
L14	2,56	3,8	87,533	6,340	3,797	53,70
L16	2,49	5,3	55,750	4,323	3,934	42,70
L18	2,61	3,1	44,287	4,533	3,440	53,35



Şekil 5. Kayaç kesme deney düzeneği (Dikmen, 2002)



Şekil 6. Beton kalıp içerisinde hazırlanmış olan kesme örnekleri (Dikmen, 2002)

Kesme deneyleri, 15x20x20 cm boyutlarında hazırlanmış olan küp blok şekilli beton kalıp içerisindeki kayaç örnekleri (Şekil 6) kullanılarak, Çizelge 7'de verilen koşullarda yapılmıştır.

Çizelge 7. Kesme Denevi Koşulları

Kesme Derinliği	5 mm
Kesme Hızı	150 mm/sn
Ön Açı	-5°
Boşluk Açısı	5°
Keski Ucu	Tungsten karbür (%10 kobalt)
Keski Uç Geniştirliği	12,7 mm

Deneyler sonucunda önce, ortalama kesme kuvveti değerleri belirlenmiş, bu değerler kullanılarak özgül kesme enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Örnek kayaçlar üzerinde yapılan kesme deneylerinin sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Kesme Deneylerinin Sonuçları (Dikmen, 2002)

Kayaç örneği	Ortalama Kesme Kuvveti (kN)	özgül Kesme Enerjisi (MJ/m ³)
L8A	1.084	9,753
L8B	0.832	6,872
L10	1.090	9,972
L14	1.953	20,782
L16	1.460	12,001
L18	1.525	17,070

5. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Doku katsayısı yaklaşımının kayaç kesmede özgül kesme enerjisinin tahmini için kullanılabilirliğini ölçebilmek amacıyla, çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle kapsamlı bir istatistiksel analiz yapılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi; korelasyon analizi, doğrusal

regrasyon analizi ve eğri tahmini (curve fitting) işlemlerini içermiştir, özgül kesme enerjisi ile sözü edilen parametreler arasındaki ilişki literatürde ilk kez bu çalışma kapsamında elde edilen veriler bağlamında araştırıldığı için, bu parametrelere uygun bir model bilinmemektedir.

İstatistiksel çalışmalarda SPSS 11 for Windows paket programı kullanılmıştır. Analizde, özgül kesme enerjisi bağımlı değişken; doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu parametreleri ise bağımsız değişkenler olarak alınmıştır. Doku katsayısı eşitliği içinde bulunan paketlenme yoğunluğu parametresi, aynı eşitlik içindeki diğer tüm değişkenlerin çarpanı durumunda olduğu için doku katsayısı parametresi ile birlikte ayrı bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Paketlenme yoğunluğu aynı zamanda başlı başına petrografik bir kayaç özelliğidir.

Öncelikle, bağımlı değişken ile herbir bağımsız değişken arasında doğrusal bir ilişkinin var olup olmadığı korelasyon analizi ile incelenmiştir. Verilerin korelasyon matrisi Çizelge 9'da verilmiştir. Çizelge 9'dan da görülebileceği gibi, değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları dikkate alındığında, özgül kesme enerjisi ile doku katsayısı arasında iyi derecede doğrusal bir ilişki bulunurken; paketlenme yoğunluğu ile özgül kesme enerjisi arasındaki ilişkinin doğrusallık derecesi daha azdır. Ancak, bu durum özgül kesme enerjisi ile paketlenme yoğunluğu arasında herhangi bir ilişki bulunmadığı anlamına gelmemektedir. Çizelge 9'dan elde edilen verilerin ışığında, özgül kesme enerjisi ile doku katsayısı arasında regrasyon analizi yapılmıştır. SPSS paket programı ile çizilen regrasyon doğrusu Şekil 7'de verilmiştir. Regrasyon analizi sürecinde gerçekleştirilen varyans analizinin (ANOVA) sonuçları ise Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 9. Değişkenlerin Korelasyon Analizinin SPSS Çıktısı

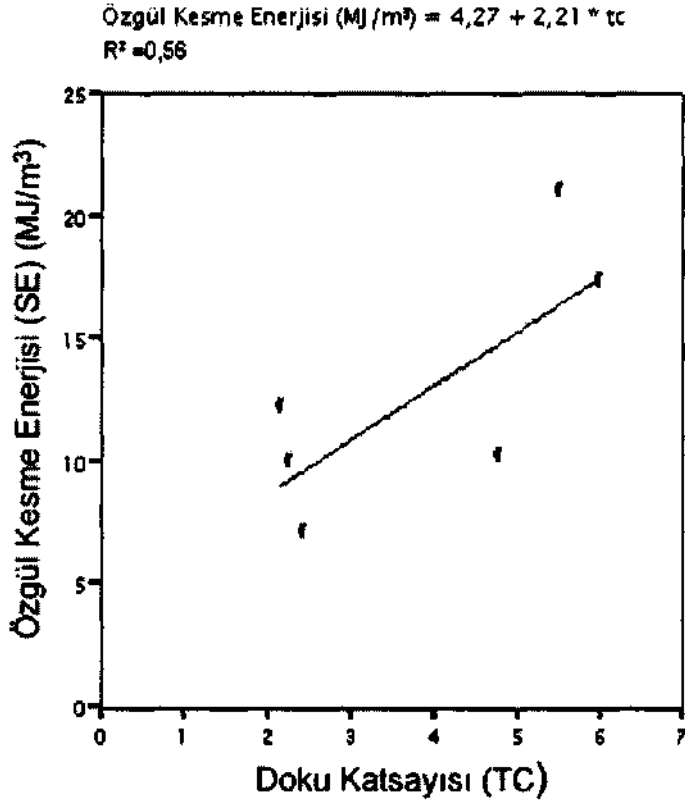
		SE Özgül Kesme Enerjisi (MJ/m ³)	TC Doku Katsayısı	AW Paketlenme Yoğunluğu
SE Özgül Kesme Enerjisi (MJ/m ³)	Pearson Korelasyon	1	0,746	0,340
	Sig. (2-kuyruklu)	0	0,088	0,510
	N	6	6	6
TC Doku Katsayısı	Pearson Korelasyon	0,746	1	0,365
	Sig. (2-kuyruklu)	0,088	0	0,476
	N	6	6	6
AW Paketlenme Yoğunluğu	Pearson Korelasyon	0,340	0,365	1
	Sig. (2-kuyruklu)	0,510	0,476	0
	N	6	6	6

Çizelge 10. Verilerin Varyans Analizlerinin SPSS Çıktısı

ANOVA ^b						
Model		Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
1	Regrasyon	75,191	1	75,191	5,031	0,088 ^a
	Artık	59,787	4	14,947		
	Toplam	134,978	5			

a: Bağımsız Değişken; TC Doku Katsayısı

b: Bağımlı Değişken; SE Özgül Kesme Enerjisi (MJ/m³)



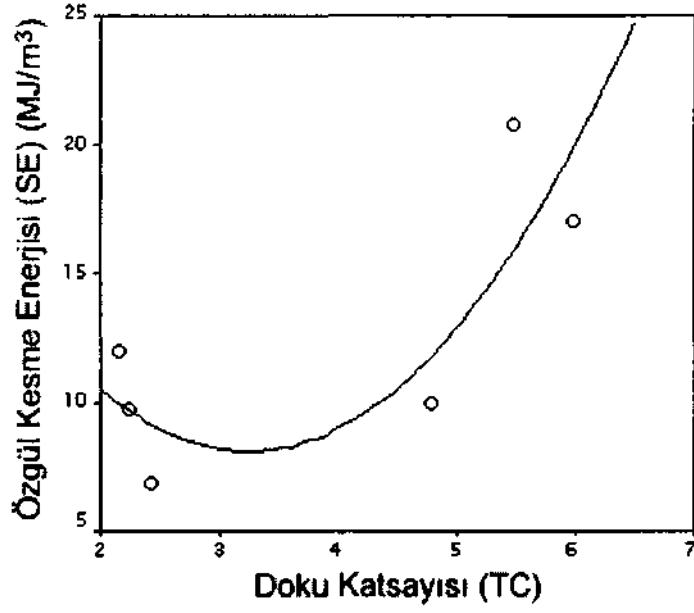
Şekil 7. Regrasyon Analizinin Grafiksəl Sonucunun SPSS Çıktısı

Buna göre, Çizelge 10'daki F değerinin anlamlılığını gösteren Sig. (Significance of F) değeri dikkate alındığında, bu değer 0,05'e oldukça yakın bir değer olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu değer 0,05'den büyük olduğu için, özgül kesme enerjisi ile doku katsayısı arasındaki ilişkinin, tekbaşlarına içinde bulunacakları doğrusal bir matematiksel fonksiyon yerine, daha uygun doğrusal olmayan başka bir fonksiyon ile ifade edilmesine karar verilmiştir. Yukarıda verilen istatistiksel çalışmaların ışığında, bağımlı değişken ile herbir bağımsız değişken, ayrı ayrı olmak üzere eğri

tahmini işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda her iki parametrenin de özgül kesme enerjisi ile olan ilişkilerinin, ikinci dereceden polinomlarla ifade edilebileceği anlaşılmıştır (Şekil 8 ve 9). Oluşturulan modellerin ölçülen verilerle uyumunun bir göstergesi olan R² belirleme katsayıları dikkate alındığında, kayaç örneklerinin özgül kesme enerjilerindeki değişimin, istatistiksel olarak %68'inin doku katsayısı ile %86'sının ise paketlenme yoğunluğu ile açıklanabileceği anlaşılmaktadır.

$$SE=1,5733*TC^{**2}-10,2048*TC+24,6721$$

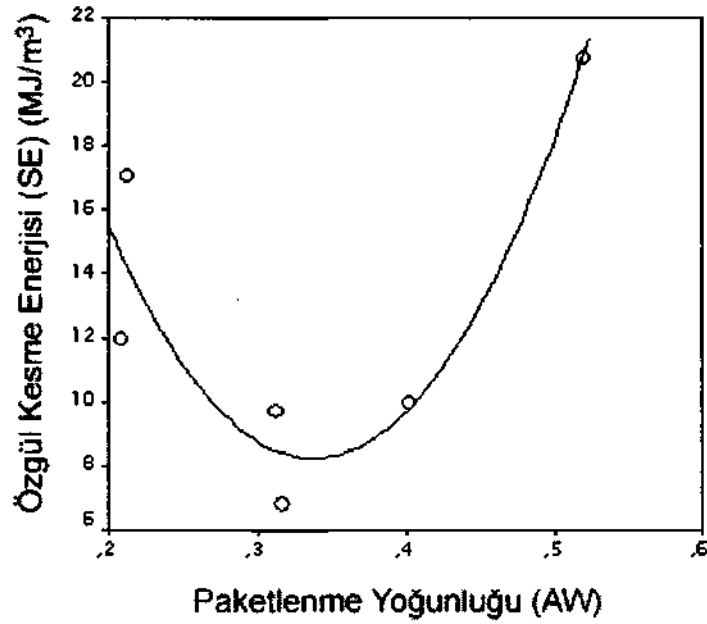
$$R^2=0,68$$



Şekil 8. Özgül kesme enerjisi-doku katsayısı ilişkisi için oluşturulan modelin SPSS çıktısı

$$SE=378,9231*AW^{**2}-256,1189*AW+51,5237$$

$$R^2=0,86$$



Şekil 9. Özgül kesme enerjisi-paketlenme yoğunluğu ilişkisi için oluşturulan modelin SPSS çıktısı

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ankara ili çevresindeki sahalardan alınan kumtaşı örnekleri üzerinde ayrıntılı mineralojik-petrografik, kaya ve kazı mekaniği çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda literatürde ilk kez, doku katsayısı yaklaşımının doğrusal kayaç kesmedeki rolü ve önemi ortaya konmuştur (Dikmen, 2002).

Seçilen kumtaşı örneklerinin mineralojik-petrografik çalışmalar sonucunda hesaplanan doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu değerleri ile laboratuvarda ölçülen özgül kesme enerjisi değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Hesaplanan doku katsayısı, paketlenme yoğunluğu ve özgül kesme enerjisi değerleri arasındaki ilişkiler, SPSS 11 for Windows paket programı kullanılarak, iki Değişkenli Korelasyon, Doğrusal Regresyon ve Eğri Tahmini Yöntemleri ile irdelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, kayaç delinebilirliğinin tahmininde, ilerleme hızının önceden belirlenmesi için kullanılmak üzere Howarth ve Rowlands (1987) tarafından önerilen doku katsayısı yaklaşımının, kayaç kesmeye de uygulanabileceği anlaşılmıştır. Gerçekleştirilen istatistiksel analiz çalışmaları, kumtaşlarının laboratuvar özgül kesme enerjisi değerleri ile doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu değerleri arasında istatistiksel anlamda kabul edilebilir bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur.

Geçerliliği kayaç delme çalışmaları sırasında ölçülen ilerleme hızı parametresi ile doku katsayısı modeli, kayaç kesmede özgül kesme enerjisi temelinde incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve istatistiksel analizler, doku katsayısının diğer parametrelerle birlikte, özgül kesme enerjisi ile önemli bir korelasyon içinde olduğunu göstermiştir. Kayaçların mekanik aletlerle delinmesi işlemi, kesme işleminden bazı farklılıklar içerir. Bu farklılıklar temel olarak, kesicilerin ve delicilerin kayaç parçalanması sırasındaki hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Bir delici, kayacı baskın olarak, kayaç yüzeyine dik olarak etkiyen kuvvetlerin etkisi ile parçalamaktadır. Kesme işleminde bu duruma ters olarak keskinler kayacı, kayaç yüzeyine hemen hemen paralel doğrultuda etkiyen kuvvetlerin yardımıyla parçalamaktadır. Bununla birlikte, yükleme yönü ve keski geometrisi ne olursa olsun, kayacın parçalanması, çatlak oluşumu ve yayılması yoluyla gerçekleşmektedir. Kayaç kesme sürecinde keski, başlangıçta

keskin olan kenarının altındaki gerilme konsantrasyonu nedeniyle malzemenin içine girerek malzemeyi öğütür. Keski bu yolla malzemenin içinde ilerlerken giriş yarığını iter ve malzemenin içine doğru çatlaklar oluşturur. Bu çatlaklardan biri serbest yüzeye ulaşırsa malzemenin ana kırılması oluşarak malzeme parçaları üretilir.

Bu çatlaklanma ve çatlak yayılımı sürecinde kayaç dokusu, içerdiği tanelerin bazı geometrik özellikleri dolayısıyla kayaç parçalanmasına karşı koymaktadır. Kayacın doku katsayısı arttıkça, çatlak oluşumuna ve yayılımına direnci ile birlikte kayacı kesmek için gereken kuvvetlerin de artması beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan kayaç kesme deneyleri, kumtaşlarının doku katsayısı değerleri arttıkça, bu durumu doğrularak, özgül kesme enerjisi değerlerinin de arttığını göstermiştir. Bu anlamda, doku katsayısı olarak bilinen ve kayacın mekanik aletlerle parçalanmaya karşı direnci olarak ifade edilen parametrenin, kayaç kesme sürecinde de etkin bir rol oynaması anlaşılabilir bir durumdur.

Bununla birlikte doku katsayısının, kayaç delme çalışmalarında ölçülen ilerleme hızı ile arasındaki ilişki konusunda, literatürde özellikle kumtaşları için, birbiri ile uyum içinde olmayan sonuçlar bulunmaktadır (Howarth ve Rowlands, 1987; Ersoy ve Waller, 1995). Bazı kumtaşlarının yüksek doku katsayısı değerlerine sahip olmalarına karşın, mekanik dayanımlarının düşük olduğu ve dolayısıyla yüksek hızlarda delinebildikleri görülmüştür (Ersoy ve Waller, 1995). Özellikle, iri taneli ve gözenekli kumtaşlarında gözlenen bu durum, doku katsayısı hesabında matriks yapısı ve kayaç parçaları içindeki mineral taneleri ile ilgili bazı özelliklerin yeterince dikkate alınmadığını göstermektedir.

Bu noktadan hareketle, bu makale kapsamında doku katsayısı hesabında kullanılan; matriks yapısını, taneler arasındaki bağları ve bunlara bağlı olarak kayaç parçaları içindeki mineral tanelerinin şekil ve içeriklerini dikkate alan yeni yöntemin kullanılması önemli yararlar sağlayacaktır. Bu yöntem kullanıldığı için, bundan önceki bazı delme çalışmalarında kumtaşları için ilerleme hızı ile doku katsayısı arasında gözlenen ters korelasyon, bu çalışmada gözlenmemiş ve beklenen sonuca ulaşabilmiştir. Özgül kesme enerjisi değerleri

dikkate alındığında; MO, L14 ve L18 kodlu örnekler için hesaplanan değerlerin, en yüksek değerler arasında olduğu görülmektedir. Bu durum, özellikle dayanımı yüksek bir matrikse sahip kayaç örneklerinin doku katsayısı değerlerinin hesabında, ince kesitlerinde görülen kayaç parçaları içinde bulunan mineral tanelerinin dikkate alınması gerektiği şeklindeki yaklaşımı doğrulamaktadır. Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz ve deneyler, doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu parametrelerinin, özgül kesme enerjisinin tahmininde tek başlarına kullanılamayacaklarını ortaya koymuştur.

Ülkemiz mekanik kazı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu tür projelerde, mekanik kazıya konu olacak kayaç ortamlarında, kayaç kesilebilirliğinin ve keski performansının belirlenebilmesi için, güvenilir, kısa zamanda ve kolayca hesaplanabilecek parametrelere sahip tahmin modellerine ihtiyaç duyulabilecektir. Bu çalışma sonucunda kumtaşları için elde edilen bulgular, laboratuvar özgül kesme enerjisi değerlerinin, ince kesit çalışmaları ile kolaylıkla hesaplanabilen doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğu değerleri ile iyi bir ilişki içinde olduğunu ortaya koymuştur. Günümüzde teknolojinin geldiği noktada, görüntü işleme tekniklerinin ve bilgisayar yazılımlarının yeteneklerinin sınırları içinde, doku katsayısı gibi petrografik kayaç özelliklerini ince kesitlerden belirlemek oldukça kolay, ucuz ve güvenilirdir. Doku katsayısı yaklaşımının, kesilebilirlik tahmininde tam anlamıyla kullanılabilmesi için, kumtaşları dışındaki kayaçların daha güçlü kesme düzenekleri kullanılarak kesildiği çalışmalar yapılmalıdır. Bu parametrelerle birlikte, kayaç kesme sürecinde etkin olan süreksizlikler gibi diğer önemli parametreleri de içine alan bir tahmin eşitliğinin geliştirilmesi için yeni çalışmalar yapılması yararlı olacaktır.

Bu çalışmalar sonucunda, uygulamada güvenle kullanılacak özgül kesme enerjisi tahmin eşitliklerinin türetilmesi mümkün olabilecektir. Bu eşitlikler kullanılarak, kayaç özelliklerine uygun kazı makinasının seçimi daha güvenilir ve ucuz bir şekilde yapılabilecektir. Bu şekilde, ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan mekanik kazı makinalarının zarar görmesi ve kazı maliyetinin artması önlenerek, ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanacağına inanılmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından 0102602013 nolu "Mekanik Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri ile Kesilebilirlik ve Aşındırıcılık Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi" isimli araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Anon, 1977; "NCB Cone Indenter", MRDE Handbook No.5. Staffordshire: Mining Research and Development Establishment, 12 sayfa

Azzoni, A., Bailo, F., Rodena, E., Zaninetti, A., 1996; "Assessment of Texture Coefficient for Different Rock Types and Correlation with Uniaxial Compressive Strength and Rock Weathering", Rock Mechanics and Rock Engineering, Cilt 29, Sayı 1, s.39-46.

Bell, F.G., 1978; "The Physical and Mechanical Properties of Fell Sandstones", Northumberland, England, Engineering Geology, Cilt 12, s.1-29.

Bilgin, N., Seğrek, T. ve Shahriar, K., 1988; "Golden Horn Clean Up Contributes Valuable Data", Tunnels and Tunnelling, Haziran, s.41-44.

Brown, E.T., 1981; "Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRMR Suggested Methods", Pergamon Press, Oxford, 211 sayfa.

Dikmen, A.Ç., 2002; "Kayaçların Dokusal, Bileşimsel ve Mühendislik Özelliklerinin Özgül Kesme Enerjisine Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 112 s. (Yayınlanmamış).

Ersoy, A. ve Waller, M.D., 1995; "Textural Characterisation of Rocks", Engineering Geology, Cilt 39, s.123-136.

Evans, I. ve Pomeroy CD., 1973; "The Strength, Fracture and Workability of Coal", Pergamon Press Ltd., London, 277 sayfa.

Fahy, M.P. ve Guccione, M.J., 1979; "Estimating Strength of Sandstone using Petrographie Thin-Section Data", Bulletin of Association of Engineering Geology, Cilt 16, s. 467-485.

- Howarth, D.F. ve Rowlands, J.C., 1986; "Development of an Index to Quantify Rock Texture for Qualitative Assessment of Intact Rock Properties", Geotechnical Testing Journal, Cilt 9, S.169-179.
- Howarth, D.F. ve Rowlands, J.C., 1987; "Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties", Rock Mechanics and Rock Engineering, Cilt 20, s. 57-85.
- Hughes, H.M., 1972; "Some Aspects of Rock Machining", Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr., Cilt 9, s.205-211.
- Hugman, R.H. ve Friedman, M, 1979; "Effects of Texture and Composition on Mechanical Behaviour of Experimentally Deformed Carbonate Rocks", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Cilt 63, s.1478-1489.
- İrfan, T.Y. ve Dearman, W.R. 1978; "The Engineering Petrography of a Weathered Granite in Cornwall, England", Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Cilt 11, s.233-244.
- McFeat-Smith, I., 1977; "Rock Property Testing for the Assessment of Tunnelling Machine Performance", Tunnels and Tunnelling, Mart, s.29-33.
- McFeat-Smith, I. ve Fowell, R.J., 1977; "Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunnelling Machines", Proceedings of a conference on rock engineering, Newcastle Upon Tyne, England, s.581-602.
- Onodera, T.F. ve Asoka Kumara, H.M., 1980; "Relation Between Texture and Mechanical Properties of Crystalline Rocks", Bulletin of Int. Association of Engineering Geology, Cilt 22, s.173-177.
- Öztürk, CA. ve Nasuf, E., 2002, "Farklı Yükleme Koşullarında Kayaçların Dokusal Özelliklerinin İncelenmesi", 6. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.147-151.
- Shakoor, A. ve Bonelli, R.E., 1991; "Relationship Between Pétrographie Characteristics, Engineering Index Properties and Mechanical Properties of Selected Sandstones", Bulletin of Association of Engineering Geology, Cilt 28, s.55-71.
- Tiryaki, B., 1994; "Mekanik Kazıcılarda Kesici Kafa Dizaynının Optimizasyonu", Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 108 s. (Yayınlanmamış).
- Tuğrul, A. ve Zarif, I.H., 1999; "Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey", Engineering Geology, Cilt 51.S.303-317.
- Ulusay, R., Türel, K. ve Ider, M.H., 1994; "Prediction of Engineering Properties of a Selected Litharenite Sandstone from its Pétrographie Characteristics using Correlation and Multivariate Statistical Techniques", Engineering Geology, Cilt 37, s. 135-157.
- Roxborough, F.F., 1973; "Cutting Rock with Picks", The Mining Engineer, Haziran, s. 445-455.
- Rostami, J, Neil, D.M. ve Özdemir, L, 1393; "Roadheader Application for the Yucca Mountain Experimental Study Facility". Final Report for Raytheon Services, Nevada U.S.A., Earth Mechanics Institute, Colorado School of Mines, 122 sayfa.
- West, G., 1986; "A Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments", International Journal of Mining and Geology, Cilt 4, s.73-78.