



Orijinal Araştırma / Original Research

## GRANİTİK KAYAÇLARDA MİNERAL ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE SPESİFİK DEFORMASYON ENERJİSİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MINERAL SHAPE PROPERTIES AND DESTRUCTION SPECIFIC ENERGY IN GRANITIC ROCKS

Ramazan Çomaklı<sup>a,\*</sup>, Ümit Atıcı<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

Geliş Tarihi / Received : 09 Eylül / September 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 18 Kasım / November 2017

**Anahtar Sözcükler:**  
Doku katsayısı,  
Spesifik deformasyon enerjisi,  
Granitik kayaçlar.

**Keywords:**  
Texture coefficient,  
Destruction specific energy,  
Granitic rocks.

### ÖZ

Kayaçların mekanik özelliklerinden birisi Spesifik Deformasyon Enerjisi olup tek eksenli basınç dayanımı testinde elde edilen gerilme deformasyon eğrisi altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Kayaç içerisindeki minerallerin de kayaçların mekanik özelliklerine etkisi vardır. Bu çalışmada mineral şekil özellikleri ile spesifik deformasyon enerjisi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Dokuz farklı kayaç numunesi üzerinde basınç dayanımı testleri yapılmış ve her bir kayaç için gerilme deformasyon eğrileri altında kalan alan hesaplanarak spesifik deformasyon enerjisi değeri bulunmuştur. Kayaçlar içerisindeki mineral özellikleri belirlenirken doku katsayısı yaklaşımı kullanılmış ve her bir kayaç için doku katsayısı değeri belirlenmiştir. Doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve spesifik deformasyon enerjisi (SEDef) ile doku katsayısı (TC) arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur.

### ABSTRACT

One of the mechanical property of rocks is destruction specific energy that estimated from the area (integral) under the stress–strain curve in unconfined compression test. The minerals in the rocks are effective on the mechanical properties of the rocks. In this study, the relation between destruction specific energy and mineral shape properties were investigated. The unconfined compressive tests were performed on nine different rock samples and the destruction specific energy values were estimated with calculating the area (integral) under the stress-strain curve for each rock sample. The texture coefficient approach was used for determining of the mineral shape properties and the texture coefficient values were calculated for each rock sample. The results were analyzed with using linear regression analyze method and a strong relation was found between destruction specific energies and the texture coefficients of rocks.

\* Sorumlu yazar: rcomakli@ohu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-7392-6275>

\*\* uatici@ohu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-2213-6155>

## GİRİŞ

Spesifik deformasyon enerjisi ( $SE_{Def}$ ) kayaçların kırılabilirlik özelliklerine bağlı olarak; basınç etkisindeki gerilme deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilen kayacın mekanik özelliklerinden biridir. Strain Energy, Specific Destruction Energy, Destruction Work gibi İngilizce kavramlarla da ifade edilmektedir (Thuro ve Plinninger, 1999). Kayaçalarda  $SE_{Def}$ ' in belirlenmesi ile tokluk (dayanım) özelliklerine bağlı olarak kayaçların mekanik özellikleri ile delinebilirlik ve kesilebilirlik özellikleri arasındaki ilişkiyi değerlendirilebilmek mümkündür. (Thuro, 1997).  $SE_{Def}$  ilk olarak Thuro ve Spaun (1996) tarafından yapılan bir araştırmada kullanılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar 23 farklı kayaç için  $SE_{Def}$  ile kayaçların delinebilirlik değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmış ve  $SE_{Def}$ ' in artması ile delme işleminin zorlaştığı tespit edilmiştir.

Kayaçların kesilebilirlik ve delinebilirlik özellikleri ile  $SE_{Def}$  arasındaki ilişkiyi Atıcı ve Ersoy (2008) yılında yapmış oldukları çalışma ile incelemiş olup, araştırmacılar 16 farklı kayaç numunesi için laboratuvar ortamında kesilebilirlik ve delinebilirlik testleri yapmışlardır. Bu testler sonucunda bulunan Spesifik Kesme, Delme enerjisi ve kırılabilirlik değerleri ile  $SE_{Def}$  arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışmada  $SE_{Def}$  ile çalışmada kullanılan kayaçlar için Spesifik Kesme, Delme enerjisi ve kırılabilirlik değerleri arasında oldukça anlamlı doğrusal bir ilişkinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Kaya numunelerinden farklı olarak Atıcı ve Ersoy (2007) cüruf ve uçucu kül katkılı kilimli parke taşları için  $SE_{Def}$ ' in dayanım, sertlik ve aşınma direnci değerleri ile arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmada kilimli parke taşları için  $SE_{Def}$  ile çekme ve sertlik değerleri arasında doğrusal, aşınma direnci ile ise ters orantılı bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.

Kayaçların mekanik özellikleri değerlendirilirken kayacın mineralojik özelliklerinin de mekanik özellikler üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Bu konuda yapılmış pek çok çalışma mevcut olup, kayaç içerisindeki mineral özelliklerinin mekanik özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Bunlara örnek olarak Bell, 1978; Howarth ve Rowlands, 1986; Shakoor ve Bonelli, 1991; Tuğrul ve Zarif, 1999 tarafından yapılan çalışmalar verilebilir. Kayaçların dokusal özellikleri de kayacın mekanik özellikleri üzerinde etkili olup; bu iki değer arasındaki ilişki de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Dube and Singh, 1972; Irfan and Dearman, 1978; Hugman and Friedman, 1979; West, 1981, 1986).

Kayaçlar içerisindeki minerallerin tane şekli, yönelmesi ve matris yoğunluğu gibi mineral özelliklerine bağlı olarak Howarth ve Rowlands (1987) tarafından doku katsayısı (texture coefficient) olarak isimlendirilen bir model geliştirilmiştir. Bu model de mineralojik özelliklerine bağlı olarak kayacın dokusal özellikleri değerlendirilerek sayısal değerler elde edilmektedir. Doku katsayısı'nın delinebilirlik çalışmaları sırasında, ilerleme hızı ile iyi bir korelasyon verdiği görülmüştür (Howarth ve Rowlands, 1987). Benzer şekilde Ersoy ve Waller (1995) yaptıkları çalışmada doku katsayısı değerinin kayaçların delinebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Tiryaki vd. (2003) yılında kumtaşı numuneleri üzerinde kaya kesme deneyleri yapmış ve deney sonuçları ile kayaçların doku katsayısı değerleri arasında ilişkiyi araştırmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda doku katsayısı değeri yüksek olan kayacın spesifik enerji değerinin de arttığı görülmüştür. Öztürk ve Nasuf (2007, 2013) yaptıkları çalışmada mekanik, fiziksel ve kesilebilirlik özellikleri belirlenen kayaçların, bu özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkileri araştırmış ve bulunan ilişkiler doğrultusunda kayaçların doku katsayısı değerlerinin kaya mühendisliği alanında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bunun yanında Çomaklı ve Çayırılı (2017) granit ve mermer numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada kayaçların kırılabilirlik özellikleri ile doku katsayısı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmacılar kayaçların kırılabilirlik özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki bulmuşlardır.

Yapılan bu çalışmada ise önceki çalışmalardan farklı olarak kayaçların yenilmesi esnasında ortaya çıkan enerji ile doku katsayısı arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak spesifik deformasyon enerjisi ile kayaçların mineral şekil özelliklerini temsil eden doku katsayısı arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

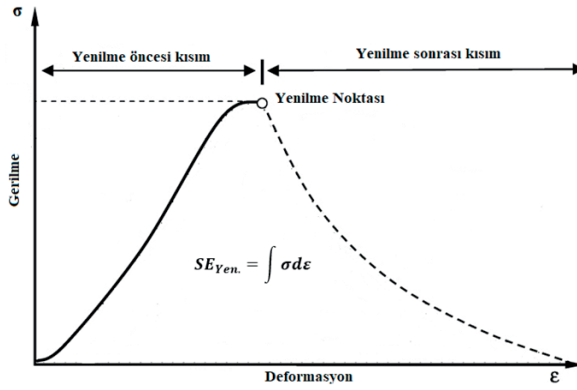
## 1. SPESİFİK DEFORMASYON ENERJİSİ

Kayaçların kesilebilirlik ve delinebilirlik özelliklerine bağlı olarak tanımlanan kayaçların tokluk (kırılabilirlik) özelliği Thuro (1997) tarafından  $SE_{Def}$  olarak tanımlanmıştır. Spesifik deformasyon enerjisi değeri hesaplanırken kayacın basma dayanımı (MPa) ve numunede oluşan maksimum deformasyon değerleri kullanılmaktadır (Eşitlik 1.1). Şekil 1' de verilen tek eksenli basınç daya-

nımı testi ile elde edilen gerilme–deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilen  $SE_{Def}$ , kayaçların kesilebilirlik, delinebilirlik ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesini hedeflemektedir.

$$SE_{Def} = \int \sigma d\varepsilon \dots \dots \dots (1.1)$$

Burada;  $SE_{Def}$ , spesifik deformasyon enerjisi (MJ/m<sup>3</sup>);  $\sigma$ , yenilme noktasındaki maksimum gerilme (MPa);  $\varepsilon$ , maksimum deformasyon.



Şekil 1. Gerilme – deformasyon eğrisi ve yenilme spesifik enerji değerinin hesaplandığı alanın gösterimi

## 2. DOKU KATSAYISI

Doku katsayısı (TC) kayaçların içerisindeki minerallerin şekilsel özelliklerinin tanımlanması için Howarth ve Rowlands (1986) tarafından geliştirilen bir kavramdır. TC ile kayaçların dokusal özelliklerini Eşitlik 2.1 kullanılarak sayısallaştırmak mümkün olmuştur. TC, kayaç içerisindeki tanelerin her birinin şekilsel özellikleri (uzunluk, çevre, alan vb.) ayrı ayrı incelenmekte ve en son sayısal bir değer elde edilmektedir. Doku katsayısının belirlenmesi için kayaca ait ince kesit numunelerinden mikroskop altında alınan dijital görüntüler kullanılmakta ve bu görüntüler bilgisayar programları yardımıyla analiz edilmektedir. Görüntü analizi sonucunda tanelerin ve matriksin yapısına bağlı olarak kayaç için bir TC değeri hesaplanmaktadır.

$$TC = AW \left[ \left( \frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left( \frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

Burada; TC, doku katsayısı; AW, tane yığılma aralığı; AR, tüm tanelerin uzunluk genişlik oranlarının ortalaması; N<sub>0</sub>, AR değeri 2' den küçük olan

tane sayısı; N<sub>1</sub>, AR değeri 2' den büyük olan tane sayısı; FF<sub>0</sub>, AR değeri 2' den küçük olan tanelerin şekil faktörü değerlerinin aritmetik ortalaması; AR<sub>1</sub>, AR değeri 2' den büyük olan tanelerin AR değerinin aritmetik ortalaması; AF<sub>1</sub>, açı faktörüdür.

AR değeri bir tanenin uzunluğunun (maksimum feret çapı), genişliğine (minimum feret çapı) oranı olarak hesaplanırken, tane yığılma ağırlığı (AW) ve şekil faktörü değerleri ise Eşitlik 2.2 ve 2.3 kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 2.2' de verilen referans alanı doku katsayısı değerinin hesaplanması için belirlenen toplam alan değeri belirtmektedir.

$$AW = \frac{\sum \text{Tan ealanı}}{\text{Re feransalanı}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$FF = \frac{4\pi x \text{Tan ealanı}}{\text{Tan çevresi}^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Bir tanenin açısı, en büyük feret çapının yatay eksenle yapmış olduğu açı olarak ifade edilir ve açı faktörü değeri (AF<sub>1</sub>) sadece AR değeri 2' den büyük (AR > 2) olan sapmış taneler için hesaplanır. Açı faktörü değerinin hesaplanması için Eşitlik 2.4 kullanılır.

$$AF_1 = \sum_{i=1}^9 \left[ \frac{x_i}{N_x(N-1)} \right] x_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Burada; x<sub>i</sub>, her sınıf için açısal fark sayısı; N, uzun tane sayısı; i, ağırlık sayısı ve sınıf numarasıdır.

## 3. MATERYAL ve METOT

### 3.1. Kayaçların Mekanik Özellikleri

#### 3.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Deformasyon Deneyi

Tek Eksenli Basınç Dayanım ve deformasyon deneyi kayaçların dayanım, deformasyon ve yapısal karakteristiklerinin belirlenmesinde oldukça geniş kullanım alanı bulan bir deney yöntemidir. Yapılan bu çalışmada tek eksenli basınç dayanımı testleri ISRM (2007) standartlarına göre yapılmış olup testlerde hidrolik pres olarak otomatik kontrollü 3000 KN yükleme kapasiteli pres kullanılmıştır. Deney esnasında yükleme hızı 0,5 kN/sn alınmıştır. Her bir kayaç için en az 7 adet 42 mm çapında ve boy/çap oranı 2 – 2,5 olan düzgün karot numu-

neler kullanılmış ve en yüksek ve en düşük değerler sapma değer olarak kabul edilerek, geriye kalan 5 değerlerin ortalaması alınarak her bir kayaç numunesine ait tek eksenli basınç dayanımı verileri elde edilmiştir. Deney sonuçları toplu olarak Çizelge 1’ de verilmektedir.

### 3.1.2. Schmidt Yüzey Sertlik Deneyi

Bu deney, kayaçların yüzey sertlik değerlerinin belirlenmesi için Schmidt çekici kullanılarak yapılır. Bu çekici silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır ve zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur böylece Schmidt indeksi olarak tanımlanır. Yapılan çalışmada N tipi schmidt çekici kullanılmış olup, ISRM (2007) yöntemine uygun olarak yapılan bu deneyde bir kayaç numunesi üzerinde yirmi ölçüm alınmış ve en yüksek on değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak bir kayaç numunesi için Schmidt sertlik değeri bulunmuştur. Bu test her bir kayaç tipi için en az üç farklı numune üzerinde tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.

### 3.2. Kayaçların Fiziksel Özellikleri

Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yoğunluk ve görünür porozite değerlerine bakılmış olup, kayaç numunelerine ait yoğunluk değerleri belirlenirken düzgün kesilmiş karot numuneleri kullanılmış ve hesaplamalar ISRM (2007) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Karot numunelerinin boy ve çapları belirlenirken en az iki farklı yönde kumpas yardımıyla ölçülmüş ve ölçülen bu değerlerin ortalama değerleri kullanılarak hacimleri hesaplanmıştır. Numunenin kuru ağırlığı, numune ağırlığının 0.01’lik bir hassasiyete kadar tartılabilen bir terazi yardımıyla tespit edilmiş ve yoğunluk değerleri, numune ağırlığının numune hacmine oranından elde edilmiştir. Her kayaç türü için en az üç numune test edilmiş ve sonuçların ortalaması alınmış ve sonuçlar Çizelge 1’ de verilmiştir.

Kayaçların görünür porozite değerleri ise, suya doyurma ve kumpas teknikleri kullanılarak belirlenmiştir (ISRM 2007). Gözenek hacimleri kuru ve suya doymuş ağırlıklardan hesaplanmış ve numune hacimleri kumpas okumalarından elde edilmiştir. Gözeneklilik değerleri, gözenek hacimlerinin örnek hacmine oranından elde edilmiştir. Test, her bir kayaç türü için en az üç kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

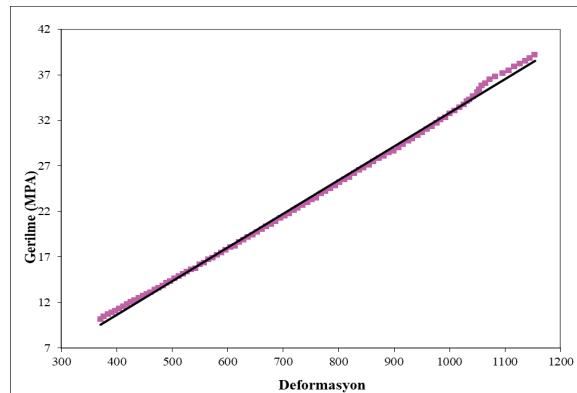
Çizelge 1. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri

Kayaç Adı	$\rho$ (gr/ cm <sup>3</sup> )	$\eta$ (%)	$\sigma_c$ (MPa)	SHH
Roza Porrinno	2,59	1,03	68,36	66,5
Kaman Roza	2,67	1,10	78,56	47
Anadolu Gri	2,64	0,85	121,57	62,5
Aksaray Yaylak	2,64	0,91	98,83	60,8
Bergama Kozak	2,66	1,30	99,08	63,9
Bandırma Blue	2,65	0,92	117,20	55,8
Verde Butterfly	2,99	0,19	183,96	70
Bergama Gri	2,59	1,94	126,06	51,4
Emerald Pearl	2,79	0,87	95,47	61,3

$\rho$ : Yoğunluk,  $\eta$ : Porozite,  $\sigma_c$ : Tek eksenli basınç dayanımı, SHH: Schmidt sertlik değeri.

### 3.3. Spesifik Deformasyon Enerjisinin Hesaplanması

Tek eksenli basınç dayanımı testi yapılırken 9 farklı kayaç numunesinin her biri için Şekil 2’ de örnek olarak verilen gerilme–deformasyon eğrileri çizilmiştir. Elde edilen bu eğriler altında kalan alan Bölüm 2’ de verilen Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanarak kayaç numuneleri için  $SE_{Def}$  değerleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan her bir kayaç numunesi için en az 5 numune üzerinde bu hesaplamalar yapılmış olup ortalama değerleri alınarak kayaçların  $SE_{Def}$  değerleri elde edilmiştir hesaplama sonucunda elde edilen değerler Çizelge 2’ de verilmiştir.

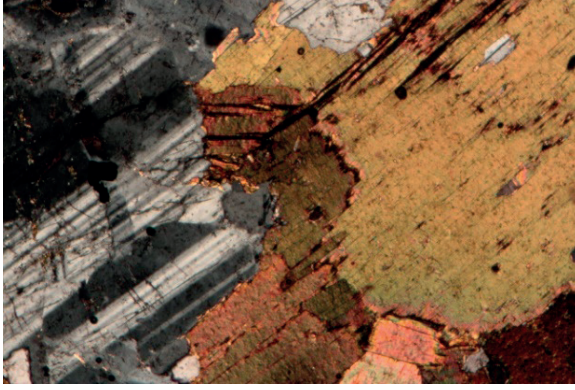


Şekil 2. Verde butterfly numunesi için elde edilen gerilme – deformasyon eğrisi

### 3.4. Doku Katsayısının Hesaplanması

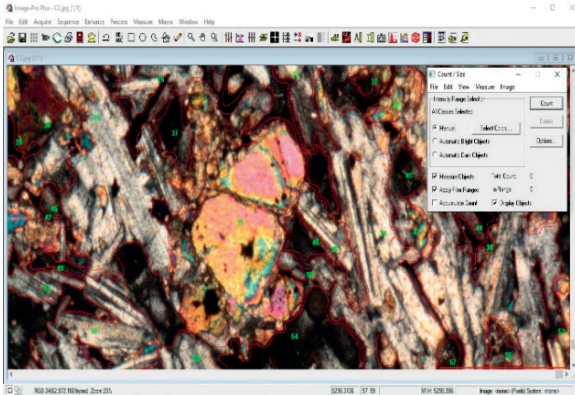
Doku katsayısı hesaplanırken öncelikle kayaçların doku ince kesit numuneleri alınmıştır (Şekil 3) ve

alınan bu görüntüler Image Pro-Plus görüntü analizi programına aktarılmıştır. Tanelerin boyutlarının ve şekilsel özelliklerinin (alan, çevre, pürüzlülük gibi) doğru şekilde tanımlanabilmesi için ince kesit görüntüleri üzerine 0.5 mm uzunluğunda bir referans ölçü yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Kaman Roza numunesine ait ince kesit görüntüsü

Görüntü analizi yapılırken kayaç içerisindeki her bir mineral bilgisayar ortamında görüntü analiz programları kullanılarak ayrı ayrı incelenmiş ve doku katsayısı hesaplamasına dâhil edilmiştir. İnce kesit görüntüsü üzerinde Image Pro-Plus programı yardımıyla mineral tane özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bilgisayar ekran görüntüsü örnek olarak Şekil 4' te verilmektedir. Her bir kayaç numunesi için üç farklı görüntü üzerinde mineral şekil özellikleri belirlenmiştir. Mineral özellikleri belirlendikten sonra Bölüm 2' de verilen eşitlikler kullanılarak her bir kayaç numunesi için 3 farklı TC değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan farklı TC değerlerinin ortalaması alınmış ve her bir kayaç için bir TC değeri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama doku katsayısı değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.



Şekil 4. Image Pro-Plus görüntü analizi programı ekran görüntüsü.

Çizelge 2. Kayaçların spesifik deformasyon enerjisi ve doku katsayısı değerleri.

Kayaç Adı	Def.	SE <sub>Def</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )	TC
Roza Porrinno	0,04025	1,38	1,69
Kaman Roza	0,05417	2,13	2,13
Anadolu Gri	0,05111	3,11	2,12
Aksaray Yaylak	0,04777	2,36	2,31
Bergama Kozak	0,04495	2,23	1,97
Bandırma Blue	0,0529	3,10	2,05
Verde Butterfly	0,1154	10,61	3,66
Bergama Gri	0,0494	3,11	2,06
Emerald pearly	0,0898	4,29	2,63

Def.: Deformasyon, SE<sub>Def</sub>: Spesifik deformasyon enerjisi, TC: Doku katsayısı.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

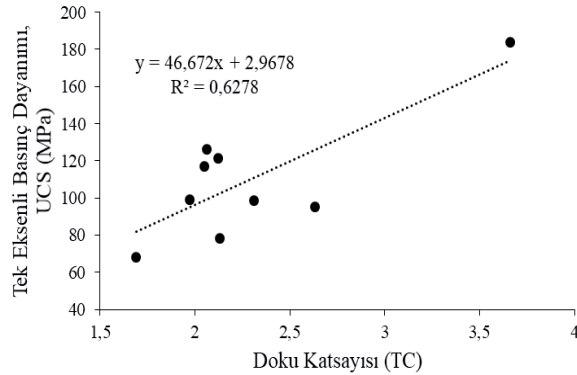
Dokuz farklı kayaç numunesi üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile kayaçların fiziksel, mekanik özellikleri ve SE<sub>Def</sub> değerleri belirlenmiş olup, bu değerler ile kayaçların dokusal özelliklerini temsil eden doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan istatistiksel değerlendirmelerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kayaçların tek eksenli basma dayanım değeri ile TC arasındaki ilişki incelendiğinde iki değer arasında anlamlı sayılabilecek bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 5). Belirlilik katsayısı ( $r^2$ : 0,63) olarak tespit edilmiş olup, bu değer regresyon analizine katılan verilerin % 63' ünün Eşitlik 4.1 ile açıklanabileceğini göstermektedir.

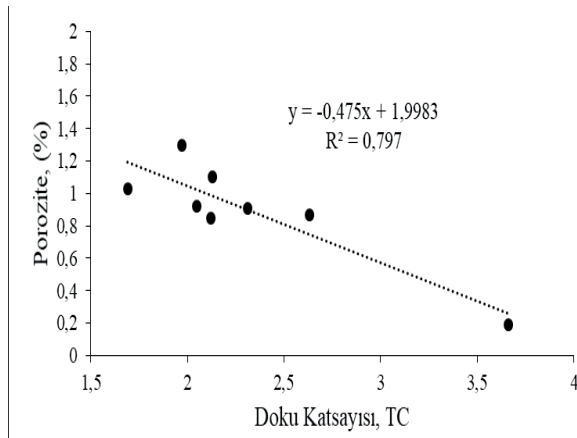
$$UCS=2,97+46,672TC..... (4.1)$$

Öztürk vd. 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada tek eksenli basma dayanımı ile TC arasındaki ilişkinin güçlü olmasını, kayaçların dayanım özelliklerini mineralojik ve petrografik özelliklerinin etkilemesinden kaynaklandığını belirterek açıklamıştır. Ancak bulunan bu ilişki oranı daha önce yapılan çalışmalarda bulunan ilişkilere oranla daha az anlamlı olup, bu durum ise kayaçların mekanik ve dokusal özelliklerinin aynı kayaç türleri için bile oldukça geniş farklılıklar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, TC hesaplanmasında kayaçların mineral ve matriks özellikleri göz önüne alınarak hesaplanmakta olup, kayacın

dayanım değeri ile oldukça yüksek bir korelasyon değerine sahip olan, porozite değerleri kullanılmaması da dayanım ve TC değerleri arasındaki korelasyonun beklenildiği kadar yüksek çıkmasını açıklamaktadır. Şekil 6' te görüldüğü gibi Bergama gri numunesi sapma değer olarak kabul edilerek, hesaplamalara dâhil edilmez ise TC ile porozite değerleri arasında oldukça anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Bu durum da yine porozite değeri ile tek eksenli basınç dayanımı değeri arasındaki ilişkinin çok güçlü olmasıyla açıklanabilir.



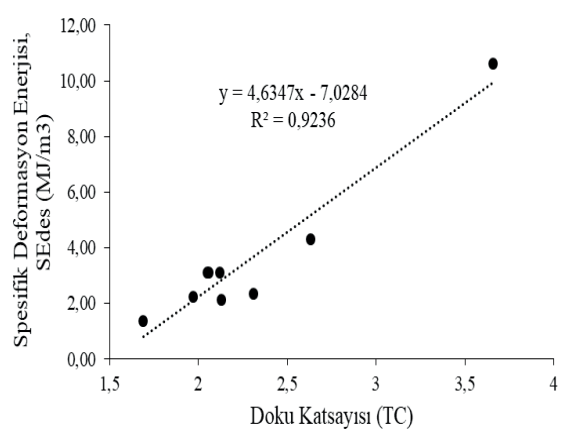
Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı ile doku katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 6. Porozite ile doku katsayısı arasındaki ilişki

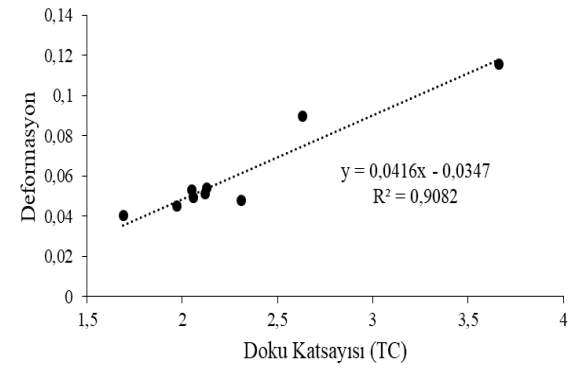
Benzer şekilde kayaç mekanik özelliklerinden birisi olan  $SE_{Def}$  ile TC arasında oldukça anlamlı bir korelasyon ( $r^2:0.92$ ) vardır (Şekil 7). Şekil 7' de görüldüğü gibi, kayaçlarda TC arttıkça  $SE_{Def}$  değerinin de arttığı görülmektedir.

Deformasyon ile TC arasındaki korelasyonun (Şekil 8) dayanıma göre oldukça yüksek çıkmasının sebebi ise,  $SE_{Def}$ ' in bir dayanım değeri olmayıp, kayaçların yenilme sırasında absorbe ettikleri enerji ile ilgili bir kavram olmasından kaynaklanmaktadır.

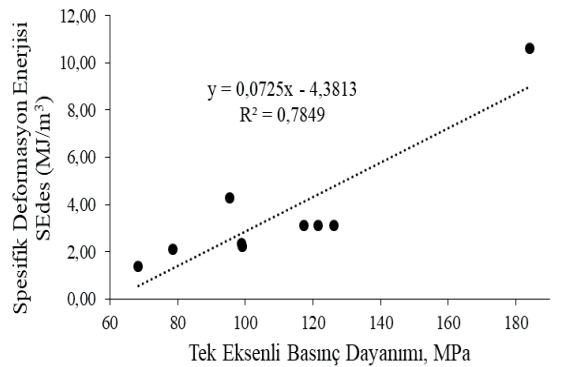


Şekil 7. Spesifik deformasyon enerjisi ile doku katsayısı arasındaki ilişki

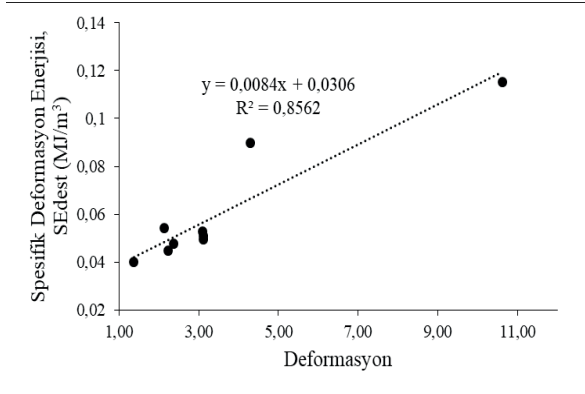
Böylece TC gibi  $SE_{Def}$ ' de hesaplamalar sırasında dayanımı birincil parametre olarak göz önünde tutmamaktadır. Şöyle ki; kayaçların deformasyon oranları ile  $SE_{Def}$  arasındaki ilişkinin ( $r^2 = 0,86$ ) basınç dayanımı ile  $SE_{Def}$  arasındaki ilişkiden ( $r^2 = 0,78$ ) daha yüksek çıkması doku katsayısının dayanımdan çok deformasyon özelliklerinden etkilendiğini göstermektedir (Şekil 9,10).



Şekil 8. Deformasyon ile doku katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 9. Spesifik deformasyon enerjisi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 10. Spesifik deformasyon enerjisi ile deformasyon arasındaki ilişki

TC hesaplamalarında deformasyon için oldukça önemli olan porozite değerleri hesaplamada dâhil edilmemesine rağmen, Tiryaki ve Dikmen 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada, TC modelinin kayaçların dokusal yapılarının, kayacın yük altında çatlaklanmasına karşı fiziksel bir engel oluşturduğu düşüncesinden hareket edilerek geliştirildiğini belirtmektedir.  $SE_{Def}$  ise kayaçlarda yük altında oluşan çatlakların absorbe ettiği enerjisi temel olarak geliştirilmiş bir model olduğu için, iki parametre arasında yüksek korelasyonun çıkması, her iki parametrenin de kayaçlardaki çatlak yapıları ve ilerlemeleri temel alınarak geliştirilmiş modeller olmasından kaynaklanmaktadır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada dünya çapında farklı bölgelere ait 9 farklı granit kayacı için fiziksel, mekanik ve dokusal özellikleri belirlenerek, bu özelliklerin arasındaki ilişki değerleri incelenmiştir. Mekanik özellikler ile TC arasında dayanım açısından oldukça anlamlı sayılamayacak bir ilişki belirlenmişken, Deformasyon ile TC arasında oldukça anlamlı sayılabilecek bir ilişki mevcuttur.

Mekanik özellikler ile  $SE_{Def}$  arasındaki ilişki incelendiğinde ise, kayaçlarda deformasyon ve dayanım değerleri ile  $SE_{Def}$  arasında anlamlı bir ilişkinin varlığı görülmektedir.  $SE_{Def}$  hesaplamasında kullanılan bu veriler ile anlamlı bir ilişkinin olması gayet normaldir.

TC ile  $SE_{Def}$  arasındaki ilişki incelendiğinde ise yine oldukça anlamlı bir ilişkinin ( $r^2:0,92$ ) olduğu görülmekte olup, bunun nedeni ise iki modelinde kayaçların yenilme esnasında çatlakların oluşması, ilerlemesi kullanılarak geliştirilmiş modeller olmasından kaynaklanmaktadır.

$SE_{Def}$  kayaçlarda kesilebilirlik, delinebilirlik araştırmalarında oldukça kabul görmüş ve kullanılabilirliği pek çok araştırmacı tarafından ortaya konulmuş bir modeldir. Ancak,  $SE_{Def}$  kayaçlarda tek eksenli basınç dayanımı testi ile elde edilen gerilme–deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilmekte olup, bu deney düzgün boyutlu numunelere ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca kayaçlarda deformasyon değerlerinin belirlenmesi de dayanım testleri sırasında ekstra ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. TC ise ince kesitlerin bilgisayar ortamında sayısallaştırılması ile elde edilen yöntemler olup, şekilsiz ve çok küçük numunelerle elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan 9 adet granit numunesi yetersiz olup, bundan sonraki araştırmalarda bu konu daha fazla incelenme ihtiyacı duymaktadır. Ancak, kayaçlara delinebilirlik, kesilebilirlik özelliklerinin tahmininde uygun boyutlarda numunelerin olmaması veya deformasyonun belirlenmesinde kullanılacak gerilim pulu veya extansometrelerin kullanma imkânlarının olmaması durumunda, oldukça küçük ve şekilsiz numunelerden elde edilen ince kesitlerle elde edilecek olan TC değerleri ile tahminlerin yapılabilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: FE-B2016/27-BAGEP, 2016.

## KAYNAKLAR

- Atıcı, U., Ersoy, A., 2007. Evaluation of Destruction Specific Energy of Fly Ash and Slag Admixed Concrete Interlocking Paving Blocks (CIPB). Construction and Building Materials. 22, 1507-1514.
- Atıcı, U., Ersoy, A., 2008. Correlation of Specific Energy of Cutting Saws and Drilling Bits with Rock Brittleness and Destruction Energy. Journal of Materials Processing Technology. 209, 2602-2612.
- Bell, F.G., 1978. The Physical and Mechanical Properties of Fell Sandstones, Northumberland, England. Eng. Geol. 12, 1-29.
- Çomaklı, R., Çayırılı, S., 2017. Kayaç Dokularındaki Minerallerin Bazı Şekil Özellikleri ile Kayaç Kırılabilirliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. 6 (2), 670 – 680.

- Ersoy, A. ve Waller, M.D., 1995. Textural Characterisation of Rocks. *Engineering Geology*. 39,123-136.
- Dube, A.K., Singh, B., 1972. Effect of Humidity on Tensile Strength of Sandstone. *J. Mines, Metals Fuels*. 20(1), 8-10.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C., 1986. Development of An Index to Quantify Rock Texture for Qualitative Assessment of Intact Rock Properties. *Geotech. Testing J.* 9, 169-179.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C., 1987. Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties. *Rock Mech. Rock Eng.* 20, 57-85.
- Hugman, R.H., Friedman, M., 1979. Effects of Texture and Composition on Mechanical Behaviour of Experimentally Deformed Carbonate Rocks. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 63(9), 1478-1489.
- ISRM 2007. In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.) *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring. 1974–2006*. Ankara, Turkey.
- Irfan, T.Y., Dearman, W.R., 1978. Engineering Petrography of a Weathered Granite. *Q. J. Eng. Geol.* 11, 233-244.
- Öztürk, C. A., Nasuf, E., 2007. Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları. *İTÜ Mühendislik Dergisi*. 6, 69-80.
- Öztürk, C.A., Nasuf, E., 2013. Strength Classification of Rock Material Based on Textural Properties. *Tunneling and Underground Space Technology*. 37, 45-54.
- Öztürk, C.A., Nasuf, E., Kahraman, S., 2014. Estimation of Rock Strength from Quantitative Assessment of Rock Texture. *J. South Afr. Inst. Min. Metall.* 114 (6), 471-480.
- Shakoor, A., Bonelli, R.E., 1991. Relationship Between Petrographic Characteristics, Engineering Index Properties and Mechanical Properties of Selected Sandstones. *Bulletin of Association of Engineering Geology*. 28, 55-71.
- Thuro, K., Plinninger, R.J., 1999. Roadheader Excavation Performance - Geological and Geotechnical Influences, In: Vouille, G. & Berest, P. (eds.): *Proc. 9th ISRM Int. Congr. on Rock Mech.* Rotterdam, Brookfield (Balkema). 1241-1244.
- Thuro K. 1997. Prediction of Drillability in Hard Rock Tunnelling by Drilling and Blasting. In: Golser J, Hinkel WJ, Schubert W, editors. *World Tunnel Cong.* 97, Vienna, Austria: Proceedings. *Tunnels for People, Tunnels für Menschen*. 1 Rotterdam, Brookfield, Balkema. 103–8.
- Thuro K., Spaun, 1996. Drillability in Hard Rock Drill and Blast in Tunnelling. *Felsbau* 14, 103 – 109.
- Tiryaki, B., Dikmen., A. Ç., Kadioğlu, Y. K., Özbilgin, D., Tiryaki, N., Bölükbaşı, N., 2003, Kayaç Kesmede Keski Performansının Tahmini İçin Doku Katsayısı Yaklaşımının Kullanılabilirliği. *Madencilik Dergisi*. 42 (2), 27-43.
- Tuğrul, A., Zarif, I.H., 1999. Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey. *Engineering Geology*. 51, 303-317.
- West, G., 1981. A Review of Rock Abrasiveness Testing for Tunnelling. *Proc. Int. Symp. Weak Rock*, Tokyo. Balkema, Rotterdam. 585-593.
- West, G., 1986. A Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments. *International Journal of Mining and Geology*. 4, 73-78.