Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Cilt 23, Sayı 2, 390-403, 2019

Süleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Sciences
Volume 23, Issue 2, 390-403, 2019

DOI: 10.19113/sdufenbed.492359

Kayaçlarda Doku Katsayısı ile Kesilebilirlik Özellikleri Arasındaki Bağıntıların İncelenmesi

Dilara HİÇYILMAZ GÜZEL*[1], Kamil YILMAZ[2]

[1,2]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 05.12.2018, Kabul / Accepted: 12.04.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.08.2019)

Anahtar Kelimeler
Doku katsayısı,
Spesifik enerji,
Mineraloji

Özet: Kayaçların kesilebilirlik özelliklerini etkileyen en önemli faktör kayaçların dayanımlarıdır. Kayaç dayanımı ise kayacın doku özellikleri ve kayaç oluşturan mineral tanelerinin kayaç içinde bulunma durumuna bağlıdır. Verimi yüksek kesimler yapabilmek adına kesilecek kayaçların mineralojik içeriğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, doku ve mineral tanelerinin geometrik şekillerinin bir bütün olarak ele alındığı doku katsayısı parametresi (TC) ile birim hacim başına harcanan enerji miktarı olarak tanımlanan spesifik enerji (SE) arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmalarda Afyon ve Isparta bölgelerinden alınan 7 farklı türde toplamda 41 adet numune kullanılmıştır. Numuneler ilgili standartlara bağlı olarak fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Her numunenin mineralojik ve petrografik özellikleri mikroskop altında incelenmiştir. Görüntü analiz programı kullanılarak bilgisayar ortamında mikroskop görüntüleri üzerinden partikül analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda spesifik enerji ile doku katsayısı arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Böylece kayaçların doku özelliklerinin sayısallaştırılması için doku katsayısının kullanılabileceği gözlenmiştir. Buna ek olarak, mineral tanelerin geometrik şekilleri, büyüklükleri, idiomorf veya hipidiyomorf mineraller, kayadaki minerallerin varlığı ve mineraller arasındaki artan sınır ilişkilerinin kayaç mukavemetini ve özgül enerji kullanımını etkilediği gösterilmiştir.

Investigation of the Relationship Between the Texture Coefficient with Rock Cuttability Features

Keywords
Texture coefficient,
Specific energy,
Mineralogy

Abstract: The most important factor affecting the cuttability properties of rocks is the strength of the rocks. Rock strength depends on the rock characteristics and the presence of rock-forming mineral grains. The mineralogical content of the rocks need to be known in order to make high yields cuttings. For this reason, the relationship between the tissue coefficient parameter, where the geometric shapes of the textures and mineral grains were considered as a whole, and the specific energy defined as the amount of energy spent per unit volume was investigated. A total of 41 samples were collected from seven different species from Afyon and Isparta. The samples were subjected to physical and mechanical experiments depending on the relevant standards. Mineralogical and petrographical properties of each sample were examined under a microscope. Particle analysis was performed by using microscope images in computer environment using image analysis program. As a result of the study, a significant relationship was found between specific energy and tissue coefficient. Thus, it was observed that the coefficient of tissue coefficient can be used for digitizing the textural properties of the rocks. In addition, geometric shapes of mineral grains, size, idiomorph or hypidiomorphic minerals, the presence of minerals in the rock and increased boundary relationships between minerals have been shown to affect rock strength and specific energy use.

*İlgili yazar dlr.hcylmz@gmail.com

1. Giriş

Maden sektörünün vazgeçilmez unsuru dairesel testereler ile verimli kesimler yapabilmek için kesilecek kayacın dayanımını belirleyen kesilebilirlik önemli bir unsurdur. Verimli kesim; kayacın istenilen boyutlarda mümkün olduğunca az enerji, kısa süre ve kırık-çatlak gibi olumsuz etmenlerin olmamasıyla elde edilir.

Kayaçlarda doku ise kayacı oluşturan kayaç yapıcı mineral taneleri, mikrolitler, varsa damarlar ve tanelerin birbirine bağlanmasını sağlayan matriks malzemesinden oluşur. Mineral tanelerinin birbiriyle olan ilişkileri, aralarındaki mesafe, bu mesafe arasını dolduran matriks, kayacın bileşimindeki mineral yüzdeleri vb. özellikler kayacın dayanımını belirlemektedir. Dayanımın yükselmesi mermercilikte doğaltaşlar üzerinde ebatlama yapabilmek için kullanılan makinalar ile kesim yapılırken kesimin verimsiz olmasına, kesim işleminde kullanılacak olan makinaların zorlanmasına, fazla güç kullanmasına veya bozulmasına neden olur. Bu da kullanılacak kayaçların istenmeyen şekilde kırılması, çatlaması gibi üretimin verimini düşüren ve zaman kaybına sebep olan büyük bir nedendir. Bu nedenle dayanım kayaçların dayanımları kesimi etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu sebeple kayacın dokusal özelliklerinin belirlenmesi ile kayaca ait kesilebilirlik özellikleri arasındaki ilişkinin tanımlanması önemlidir.

Kayaç tane özellikleri ile kesilebilirlik ilişkisini incelemek adına Şengün [1] dairesel testereler kullanarak birçok kayaç kesimi gerçekleştirmiş ve bunların özgül enerjilerini hesaplamıştır. Ayrıca dairesel testerelerle kesme işleminde kayaca bağlı faktörlerde sert mineral tane boyutu, sertlik, dayanım gibi malzeme özellikleri ile numunelerin kesilebilirlik özelliklerini araştırmıştır. Kayaçların sert mineral tane boyutu büyüdükçe, sertlik ve dayanım değerleri arttıkça kesilebilirliklerinin azaldığını vurgulamıştır.

Şengün ve diğerleri [2] bazı doğal taşların kesilebilirliklerini incelemek amacıyla almış oldukları örneklerden ilgili deney standartlarına göre numuneler hazırlayarak kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile kesilebilirlik özelliklerini belirlemiştir. Kesim parametrelerini sabit tutarak ölçülen verileri kullanarak her kayaç türü için spesifik enerji hesaplamıştır. Çalışma sonucunda numunelerin fiziksel özelliklerinden gözeneklilik derecesi ve sertliğinin, mekanik özelliklerden ise kayaç basınç dayanımının kayaçların kesilebilirlikleri üzerinde etkisinin olduğunu vurgulamıştır.

Öztürk [3] kayaçların dayanımlarının malzeme özelliklerine bağlı olduğunu ve mineral kompozisyonlarından etkilendiğini buna bağlı olarak da malzemelerin dayanımlarının, kayacı oluşturan minerallere, bu minerallerin bulunduğu dokuya ve dokunun kompozisyonuna bağlı olarak değiştiğini vurgulamıştır. Bu nedenle agrega numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyleri yaparak doku katsayısı ile ilişkilerini araştırmıştır. Doku katsayısı ile fiziksel-mekanik özellikler arasında bir ilişkinin var olduğunu ve doku katsayısının kullanılabilir bir parametre olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kesilebilirlik özelliklerinin araştırılması yanı sıra kayacı ve kayacı oluşturan minerallerin özelliklerini tanımlamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Farklı kayaç türlerinde kullanılacak enerji değerlerini sayısal olarak belirlemek adına Howarth ve Rowlands [4] tarafından doku katsayısı parametresini belirlemiştir. Kayaçlara ait minerallerin geometrik özellikleri ve bulundukları kayaca ait dokusal tüm özelliklerinin bir arada incelenerek kayaç dayanımlarının sayısallaştırılmasını sağlayan bu parametre ile kesim esnasında dairesel testerelerin kullanmış olduğu birim hacim için harcanan enerji miktarı olan spesifik enerji arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Öztürk ve diğerleri [5] kayaçların doku katsayıları ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiştir. Kayaçlara ait doku katsayısı değerinin artmasıyla kayaç dayanımının yükseldiğini yani kaya sağlamlığını olumlu yönde etkileyen parametrelerin artışının doku katsayısı değerinin artışına sebep olduğunu ifade etmiştir.

Kumtaşı örnekleri üzerinde mineralojik-petrografik analizler, kaya ve kazı mekaniği deneyleri yapan Tiryaki ve diğerleri [6] doku katsayısı ve paketlenme yoğunluğunun, spesifik enerji ile istatiksel açıdan bir ilişkisinin varlığını vurgulamışlardır.

Günaydın [7] andezit, traki andezit, trakit ve kumtaşı numunelerini kullanarak doku katsayıları tespit etmiştir. Ayrıca bu numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek doku katsayısı ile ilişkilerinin olup olmadığını araştırmıştır. Doku katsayısının fiziko-mekanik özellikleri etkilediğini ifade etmiştir.

Bu çalışmada doku katsayısı parametresi ile dairesel testerelerin kesim esnasında kullandıkları özgül kesme enerjisi (spesifik enerji) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Çalışmada amaç kayaçların mineral içerikleri ve dokusal özelliklerinin kesilebilirliklerine ve buna bağlı olarak dairesel testerelerle yapılan kesimlerde verime etkisinin araştırılmasıdır Afyon ve Isparta illerine ait formasyonlar da baskın olarak bulunan 7 farklı kayaç türüne ait toplam 41 numune kullanılarak kayaçların spesifik enerjilerine olumlu ya da olumsuz olarak etki edebilecek fiziksel ve mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri deneylerle tespit edilerek ilişkileri araştırılmıştır. Buna bağlı olarak çıkan sonuçlar doğrultusunda kayaçların kesim parametrelerinden olan spesifik enerji üzerinde doku katsayısı değerinin etkileri

gözlemlenmiş olup, ilişkilere dair tüm veri ve analizlere çalışmada yer verilmiştir.

Bunların yanı sıra her numune için görüntü analiz programında ince kesitlere ait görüntüler kullanılarak partikül analizleri yapılmış ve çıkan değerler yardımıyla doku katsayıları belirlenmiştir. Tüm deney sonuçları ve doku katsayısı değerleriyle kayaçların kesilebilirlik özellikleri ile doku katsayıları arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Tablo 1'de belirtilen numuneler üzerinde standartlara uygun olarak bazı fiziksel ve mekanik özellikler ile ilgili deneyler yapılmıştır. Ayrıca her numune için ince kesit yapılarak mineralojik ve petrografik tayinler yapılıp, mikroskop altındaki görüntüler üzerinden görüntü analiz programı yardımıyla partikül analizleri yapılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan numuneler ve kodları

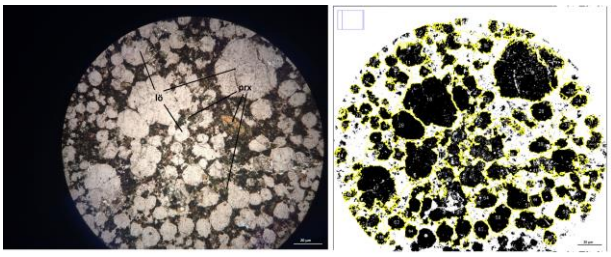
Grup Kodu	Kayaç Kodu	Kayaç Adı	Grup Kodu	Kayaç Kodu	Kayaç Adı
	Is-1A			Af-2	
IS-1	Is-1B	Trakiandezit	AF-1	Af-5	
	Is-1C			Af-10	
	Is-2A			Af-12	Lösitit
IS-2	Is-2B		AF-2	Af-13	Andezitik
	Is-2C			Af-14	Bazalt
	Is-2D	Kumtaşı		Af-4	
	Is-3A			Af-6	
	Is-3B			A-7	
	Is-3C		AF-3	Af-8	
	Is-3D			Af-9	
	Is-4A			Af-11	Bazaltik
	Is-4B			Af-15	Trakiandezit
IS-3	Is-6A			Af-3	
	Is-6B		AF-4	Af-16	Trakiandezit
	Is-6C			Af-17	
	Is-6D	Trakit			
	Is-4C				
	Is-5A				
IS-4	Is-5B	Bazaltik			
	Is-5C	Trakiandezit			
	Is-7A				
IS-5	Is-7B				
	Is-7C				
	Is-7D	Fonolit			

2.1. Mineralojik ve petrografik özelliklerin belirlenmesi

Petrografik özellikleri belirlenen numunelere ait ince kesitler polarizan mikroskop yardımıyla incelenerek kayaç adlandırılmaları (Tablo 1) ve mineralojik içerikleri irdelenmiştir (Tablo 2,3).

2.2. Numunelerin doku katsayısı değerlerinin belirlenmesi

Kayaçların dayanımlarının kesime etkisini öngörebilmek amacıyla kayaç içerisindeki mineral tanelerinin geometrik özellikleri ve içerisinde bulunduğu kayacın dokusal özelliklerini sayısallaştırılmış şekilde bir arada inceleyebilmek amacıyla doku katsayısı hesabı yapılmıştır. Doku katsayısı için gereken değerler; mineral tanesine ait geometrik özellikler; tanenin uzunluğu (maksimum feret çapı), tanenin genişliği (minimum feret çapı), tanenin çevresi, tanenin açısı (tane oryantasyonu) ve hesaplama yapmak için seçilen sınır içerisindeki matriks malzemesinin alanıdır. Her bir numuneye ait ince kesitin mikroskop altındaki görüntüsü android telefonla fotoğraflar büyütme yapılmadan (1X) çekildi ve bilgisayar ortamına aktarıldı. Her numuneye ait doku katsayısı değerini bulabilmek adına minerallerin gerekli geometrik parametreleri hesaplandı. Bu değerleri elde edebilmek için ImageJ adlı sürüm 2.1.4.7 görüntü analizi programında tamamen otomatik olarak, ölçekli fotoğraflar üzerinden partikül analizi yapıldı.



Şekil 1. Af-12 Lösitit numunesine ait mikroskop ve partikül analizi yapılmış görüntüsü

Analiz sonuçları program tarafından otomatik olarak Excel dosyasına kaydedildi.

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

Eşitlik (1) ile hesaplanan doku katsayısına ait parametreler [2] burada;

AW, Tane yığılma ağırlığı,
N_o ,Görünüm oranı (AR) 2,0' dan küçük olan tane sayısı,
N_1 , AR değeri 2.0' dan büyük olan tane sayısı,
FF_0 , AR değeri 2.0' dan küçük olan tanelerin şekil faktörü (FF) değerlerinin aritmetik ortalaması,
AR_1, AR değeri 2.0' dan büyük olan tanelerin AR değerlerinin aritmetik ortalaması,
AF_1, Açı faktörünü ifade etmektedir.

AR parametresi ile sapmayı gözlemlemek mümkün olmaktadır. AR değeri, tanenin uzunluğunun genişliğine oranı olarak tanımlanmaktadır. AR değerinin 2.0 olduğu durum sınır olarak kabul edilmesiyle (Howarth ve Rowlands, 1987) sapmış ve sapmamış taneler ayırt edilir. FF değeri ise tanenin yuvarlaklıktan ne derece sapmış olduğunu tanımlamaya yarayan bir parametredir. Bu sayede FF değeri kullanılarak, tanenin ne derece pürüzlü olduğu hakkında yorum yapmak mümkün olmaktadır. FF değeri Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$FF = 4\times\pi\times\frac{Alan}{(Çevre)^2} \quad (2)$$

AF; açı faktörü sapmış tanelerin yatay eksenle yapmış olduğu dar açıdır. Hesabı Eşitlik 3 yardımıyla yapılır.

$$Q_L = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{x_i}{\frac{N_1(N_1-1)}{2}} \right) x_i \qquad (3)$$

Burada; N_1, sapmış (AR<2.0) tane sayısı, i, ağırlık katsayısı ve x_i, iki açı arasındaki farkın mutlak değerinin dar açı cinsinden değeridir.

Parametrelerin sonuncusu olan AW yani yığılma ağırlığı değeri Eşitlik (4) yardımıyla bulunur.

$$AW = \frac{Toplam\ tane\ alanı}{Referans\ alanı} \qquad (4)$$

Son olarak tüm bu parametreler yardımıyla her bir numuneye ait doku katsayısı Eşitlik (1) ile hesaplanır.

2.3. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi

Alınan numuneler Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarın da TSE ve ISRM'ye göre belirlenen fiziksel özelliklerinin elde edilebilmesi için yapılan deneylerle numunelerin birim hacim ağırlığı (TS EN 1936) [8], görünür porozitesi (TS EN 13755)[9], kütlece su emme oranı (TS EN 13755)[9], sismik hız (TS EN 14579)[10], Schmidt sertliği (ISRM 1981)[11] gibi, mekanik özellik olarak ise nokta yükü dayanım indeksi (ISRM 1981)[11] özellikleri belirlenmiştir.

2.4. Numunelerin spesifik enerjilerinin belirlenmesi

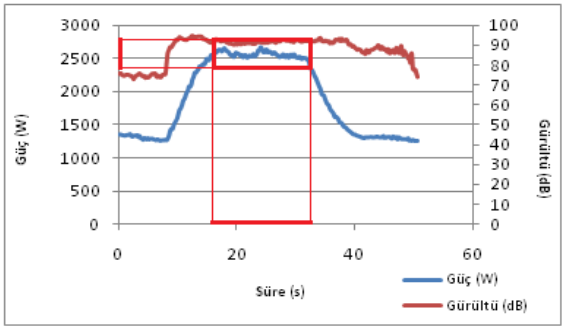
Numuneler yapılan diğer deneylere ait standart deney boyutlardan farklı olarak 5-10-20 cm boyutlarında kullanılmıştır. Dairesel testereyle, bilgisayara bağlı bir düzenek kullanılarak (Şekil 1), ilerleme hızı, çevresel hız, testere çapı, kesme derinliği ve kesim süresi sabit tutularak numunelerin kesimleri esnasında kullanılan güç ve süre değerleri ölçülmüştür.

Her numune üzerinde 3 kez tekrarlanan işlem için güç-süre grafiği hazırlanarak bulunan değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.

Burada güç; kayacın kesimi esnasında dairesel testerenin keski ucunun tamamıyla kayaca temas ederek aşındırmaya başladığı andan itibaren makinenin harcamış olduğu güç, süre ise keski ucunun tamamen kayaca temasının başladığı ve bittiği zaman arasındaki süredir (Şekil 2). Dairesel testerenin bağlanmış olduğu bilgisayar üzerinden tüm numunelerin kayaç kesimlerine ait gerilim (V), frekans ve akım (I) değerleri salt metin dosyaları halinde alınmıştır. Daha sonra Microsoft Excel programı formatına dönüştürülen değerler bir deney için anlık olarak kaydedilen akım ve gerilim değerleri çarpılarak kesim esasında oluşan anlık güç değerleri hesaplanmıştır [4].



Şekil 2. Deneyin yapılmış olduğu düzenek



Şekil 3. Is-2D numunesi 1.kesimi için güç-süre grafiği

Bulunan değerler yardımıyla her numuneye ait spesifik enerji değerleri Eşitlik (5) ve Eşitlik (6) ile hesaplanmıştır.

$$P = V \times I \qquad (5)$$

Burada;
P, anlık çekilen güç (watt),
V, anlık gerilim değeri (volt),
I, anlık akım değerini (amper) ifade etmektedir.

$$P_{net} = P_k - P_b \qquad (6)$$

Burada;

Pnet, kesim için harcanan net güç değeri (watt),
Pk, testere tam kesimde iken çekilen güç değeri (watt),
Pb, testere boşta iken çekilen güç değerini (watt) ifade eder.

3. Bulgular

3.1. Mineralojik ve petrografik bulgular

Tüm mineralojik ve petrografik incelemeler sonucunda Afyon ve Isparta olarak ayrılan kayaçlar adlandırma kodları ve mineralojik özellikleriyle tablolar halinde verilmiştir (Tablo 2,3).

3.2. Numunelerin doku katsayısı değerleri

Numunelere ait doku katsayısı değerleri belirlenirken ilgili parametreler hesaplanmıştır. Her numune için ayrı ayrı hesaplanan doku katsayısı hesap tablosu Tablo 4 de, tüm numuneler için hesaplanmış olan parametre değerleri Tablo 5 de verilmiştir.

Tablo 2. Isparta numuneleri mineralojik tablosu

G.NO	N.NO	FENOKRİSTALLER							TALİ MİNERALLER			ÖZELLİKLER			
		prx	fel	mi	plj	amf	san	q	ap	o.m	ru	k.k	MATRİKS	DOKU	KAYAÇ ADI
IS-1	Is-1A	√		√	√	√			√	√			plajioklas+ alkali feldispat+ piroksen	porfirik	Trakiandezit
	Is-1B	√		√	√	√			√	√					
	Is-1C	√		√	√	√			√	√					
IS-2	Is-2A		√	√				√				Kireçtaşı	karbonat	detritik	Kumtaşı
	Is-2B		√					√				Kuvarsit+ Kumtaşı			
	Is-2C		√		√			√				Kuvarsit+ Kumtaşı			
	Is-2D		√		√			√			√	Kuvarsit+ Kumtaşı			
IS-3	Is-3A	√		√	√		√		√	√			plajioklas+ sanidin mikrolitleri+ cam	porfirik	Trakit
	Is-3B	√		√	√		√		√	√	√				
	Is-3C	√		√	√		√		√	√					
	Is-3D	√		√	√		√		√	√	√				
	Is-4A			√	√		√						plajioklas,mika ve sanidin mikrolitleri		
	Is-4B			√	√		√		√	√					
	Is-6A	√		√	√		√						volkan camı	afanitik porfirik	
	Is-6B	√		√	√		√							afanitik mikrolitik porfirik	
	Is-6C	√		√	√		√							afanitik porfirik	
	Is-6D	√		√	√		√								
IS-4	Is-4C	√		√	√		√						plajioklas, mika ve sanidin mikrolitleri	porfirik	Bazaltik Trakiandezit
	Is-5A	√		√			√		√	√			piroksen, sanidin, mika ve volkan camı mikrolitleri	glomera porfirik	
	Is-5B	√		√	√		√			√				porfirik	
	Is-5C	√		√	√		√			√				intersertal	
IS-5	Is-7A	√		√	√		√				√		sanidin mikrolitleri	intergranüler	Fonolit
	Is-7B	√		√	√		√				√				
	Is-7C	√		√	√		√				√				
	Is-7D	√		√	√		√				√				

(prx: Piroksen, fel: Feldispat, mi: Mika, plj: Plajiyoklas, amf: Amfibol, san: Sanidin, q: Kuvars, ap: Apatit, o.m: Opak Mineral, ru: Rutil, k.k: Kayaç Kırıntısı)

Tablo 3. Afyon numuneleri mineralojik tablosu

		FENOKRİSTALLER				TALİ MİNERALLER					ÖZELLİKLER		
G. NO	N.NO	prx	mi	plj	lö	ol	ap	nef	san	o.m	MATRİKS	DOKU	KAYAÇ ADI
	Af-2	√			√			√		√	opak mineral + piroksen mikrolitleri		
AF-1	Af-5	√			√			√	√		karbonat + sanidin mikrolitleri	porfirik	Lösitit
	Af-10	√			√			√			karbonatlaşma + kloritleşme		
	Af-12	√			√			√					
AF-2	Af-13	√	√			√					piroksen mikrolitleri + volkan camı	hiyalo mikrolitik porfirik	Andezitik Bazalt
	Af-14	√	√										
	Af-4	√	√	√		√	√				piroksen+ piroksen, plajioklas ve mika mikrolitleri	mikrolitik porfirik	
	Af-6	√	√			√			√	√	piroksen, sanidin ve mika mikrolitleri + volkan camı	hiyalo mikrolitik porfirik	
	Af-7	√	√				√		√		piroksen ve sanidin mikrolitleri+ volkan camı	hiyalo mikro porfirik	
AF-3	Af-8	√	√				√		√		piroksen ve sanidin mikrolitleri	glomoporfirik	Bazaltik Trakiandezit
	Af-9	√	√						√		piroksen ve sanidin mikrolitleri+ vesiküler kalsit	porfirik	
	Af-11	√	√						√		piroksen+ vesiküler kalsit+ piroksen, plajioklas ve mika mikrolitleri	hiyalo mikrolitik porfirik	
	Af-15	√	√						√				
	Af-3	√	√	√						√	piroksen ve plajioklas mikrolitleri+ volkan camı	mikrolitik porfirik	
AF-4	Af-17	√	√						√		piroksen mikrolitleri+ volkan camı		Trakiandezit
	Af-16	√	√				√		√		piroksen, mika ve sanidin mikrolitleri+ volkan camı	porfirik	

(prx: Piroksen, mi: Mika, plj: Plajiyoklas, lö: Lösit, ol: Olivin, ap: Apatit, nef: Nefelin, san: Sanidin, o.m: Opak Mineral)

Tablo 4. Is-1A numunesine ait doku katsayısı parametrelerine ait değerler

Tane No	Alan	Çevre	Max. Feret	Min. Feret	Açı (°)	AR	FF	AW	FF_0	AR_1	$\frac{N(N-1)}{2}$	i	1/N	i/N	AF_1	TC
1	623	308.58	46.95	16.90	78.25	2.78	0.08	0.79	0.17	2.69	21	8	0.14	1.14	1.09	4.04
6	1502	578.91	72.14	26.51	54.22	2.72	0.06	0.79	0.17	2.69	21	6	0.14	0.86	1.09	4.04
9	93342	3077.6	522.18	227.6	1.226	2.29	0.12	0.79	0.17	2.69	21	1	0.14	0.14	1.09	4.04
12	2561	1003.1	90.64	35.98	89.91	2.52	0.03	0.79	0.17	2.69	21	9	0.14	1.29	1.09	4.04
14	671	181.87	49.83	17.14	119.6	2.91	0.25	0.79	0.17	2.69	21	3	0.14	0.43	1.09	4.04
20	4250	677.28	129.08	41.92	173.9	3.08	0.12	0.79	0.17	2.69	21	9	0.14	1.29	1.09	4.04
41	524	223.52	40.89	16.32	101.9	2.51	0.13	0.79	0.17	2.69	21	2	0.14	0.29	1.09	4.04
3	1033	316.52	46.10	28.53	44.8	1.62	0.13	0.79	0.17	2.69						3.99
4	3362	1235.7	80.55	53.15	179.5	1.52	0.03	0.79	0.17	2.69						3.99
7	1144	211.08	51.24	28.43	66.9	1.80	0.32	0.79	0.17	2.69						3.99
13	1506	375.14	59.51	32.22	95.56	1.85	0.13	0.79	0.17	2.69						3.99
16	1699	206.84	54.42	39.75	8.655	1.37	0.50	0.79	0.17	2.69						3.99
17	2332	449.33	73.93	40.16	68.45	1.84	0.15	0.79	0.17	2.69						3.99
21	1092	462.26	49.01	28.37	88.57	1.73	0.06	0.79	0.17	2.69						3.99
24	2644	1004.3	71.90	46.82	37.66	1.54	0.03	0.79	0.17	2.69						3.99
25	8084	547.45	131.04	78.55	139.8	1.67	0.34	0.79	0.17	2.69						3.99
27	1527	748.53	51.85	37.50	177	1.38	0.03	0.79	0.17	2.69						3.99
28	8370	713.56	120.94	88.12	174	1.37	0.21	0.79	0.17	2.69						3.99
29	630	285.02	35.36	22.69	158.4	1.56	0.10	0.79	0.17	2.69						3.99
31	679	244.29	37.15	23.27	68.03	1.60	0.14	0.79	0.17	2.69						3.99
32	548	240.64	31.97	21.82	165	1.47	0.12	0.79	0.17	2.69						3.99
33	9858	676.16	142.06	88.35	106.7	1.61	0.27	0.79	0.17	2.69						3.99
36	28560	1013.8	213.17	170.6	125.6	1.25	0.35	0.79	0.17	2.69						3.99
38	5392	1362.5	92.77	74.00	155	1.25	0.04	0.79	0.17	2.69						3.99
39	1069	544.68	44.37	30.67	102.5	1.45	0.05	0.79	0.17	2.69						3.99
T.Alan	183002														Is-1A	TC 4.02
R. Alan	232718															
N_0	18															
N_1	7															

Tablo 5. Numunelere ait doku katsayısı parametreleri sonuçları

N.Kodu	AW	No	N1	AF1	FFO	AR1
Is-1A	0.79	18	7	1.09	0.17	2.69
Is-1B	0.88	15	10	0.88	0.17	2.99
Is-1C	0.72	14	11	1.18	0.11	3
Is-2A	0.4	13	12	1.15	0.38	2.34
Is-2B	0.88	21	6	1.1	0.19	2.8
Is-2C	0.73	12	13	1.23	0.36	2.56
Is-2D	0.64	20	5	0.76	0.09	2.92
Is-3A	0.62	15	10	0.8	0.41	2.59
Is-3B	0.92	15	10	0.98	0.12	2.44
Is-3C	0.72	14	11	0.68	0.08	3.18
Is-3D	0.69	19	6	0.97	0.11	2.71
Is-4A	0.62	15	10	0.88	0.07	2.4
Is-4B	0.74	19	6	1.07	0.1	2.76
Is-4C	0.53	15	10	0.66	0.09	2.61
Is-5A	0.45	15	10	1.04	0.13	2.52
Is-5B	0.57	19	6	1.1	0.12	2.21
Is-5C	0.35	11	14	1.07	0.22	2.65
Is-6A	0.98	21	4	0.95	0.22	2.28
Is-6B	0.41	21	4	0.8	0.15	2.22
Is-6C	0.3	13	12	0.83	0.09	2.82
Is-6D	0.53	13	12	0.85	0.2	3.04
Is-7A	0.8	10	15	1.07	0.12	3.6
Is-7B	0.8	14	11	0.93	0.07	2.27
Is-7C	0.6	17	8	1.03	0.34	2.63
Is-7D	0.6	15	10	0.88	0.17	2.99
Af-2	0.5	17	8	1.13	0.32	2.7
Af-3	0.7	18	7	1	0.09	2.49
Af-4	0.4	13	12	0.8	0.34	3.52
Af-5	0.6	20	5	1.16	0.29	2.66
Af-6	0.6	15	10	1.22	0.14	2.96
Af-7	0.5	16	9	0.89	0.17	2.97
Af-8	0.7	10	15	0.91	0.09	2.77
Af-9	0.6	14	11	1.04	0.23	3.43
Af-10	0.3	20	5	0.84	0.24	3.16
Af-11	0.5	14	11	1.04	0.09	2.89
Af-12	0.9	21	4	0.8	0.2	2.35
Af-13	0.4	14	11	0.82	0.1	2.53
Af-14	0.8	12	13	1.05	0.07	2.52
Af-15	0.3	14	11	1.29	0.07	3.05
Af-16	0.7	13	12	1.08	0.07	2.74
Af-17	0.5	18	7	1.06	0.14	2.57

Numunelere ait deney sonuçlarının ortalama ve standart sapma değerlerini incelendiğinde en yüksek doku katsayısı AF-4 kodlu trakiandezit kayaçlarının oluşturduğu grupta, en düşük doku katsayısı değerleri ise AF-1 kodlu lösitit kayaçlarının oluşturduğu grupta gözlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Numunelere ait doku katsayısı değerleri

	N.NO	TC	TC ORT.	STD. SP.		N.NO	TC	TC ORT.	STD. SP.
ISPARTA	Is-1A	4.02	**4.34**	**0.42**	AFYON	Af-2	1.52	**2.13**	**1.27**
	Is-1B	4.18				Af-5	1.9		
	Is-1C	4.81				Af-10	1.12		
	Is-2A	5.18	**4.33**	**1.69**		Af-12	3.98		
	Is-2B	4.14				Af-13	2.53	**4.48**	**2.75**
	Is-2C	2.06				Af-14	6.42		
	Is-2D	5.95				Af-4	1.17	**2.86**	**1.01**
	Is-3A	1.49	**4.1**	**1.87**		Af-6	3.41		
	Is-3B	5.67				Af-7	2.52		
	Is-3C	5.97				Af-8	4.24		
	Is-3D	5.22				Af-9	2.21		
	Is-4A	5.88				Af-11	3.58		
	Is-4B	5.97				Af-15	2.88		
	Is-6A	4.1				Af-3	5.98	**5.14**	**1.63**
	Is-6B	2.47				Af-16	6.19		
	Is-6C	2.1				Af-17	3.26		
	Is-6D	2.09							
	Is-4C	4.07	**2.92**	**1.31**					
	Is-5A	2.53							
	Is-5B	3.84							
	Is-5C	1.23							
	Is-7A	4.53	**3.92**	**2.5**					
	Is-7B	7.19							
	Is-7C	1.82							
	Is-7D	2.12							

3.3. Numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri

En yüksek birim hacim ağırlık (BHA) değeri kumtaşlarından oluşan IS-2 grubunda gözlenmiştir (Tablo 7). En düşük değer ise IS-3 kodlu trakit numunelerine ait grupta gözlenmiştir (Tablo 7).

Sismik Hız (Vp) deneyi en yüksek değer AF-1 kodlu lösititler oluşan grupta, en düşük değer ise IS-3 kodlu trakitlerden oluşan grupta gözlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 7. Numunelere ait birim hacim ağırlık değerleri

	N.NO	BHA g/cm³	BHA ORT	STD SP.		N.NO	BHA g/cm³	BHA ORT.	STD. SP.
ISPARTA	Is-1A	2.32	**2.33**	0.03	AFYON	Af-2	2.5	**2.52**	0.05
	Is-1B	2.3				Af-5	2.47		
	Is-1C	2.36				Af-10	2.57		
	Is-2A	2.62	**2.63**	0.03		Af-12	2.57		
	Is-2B	2.66				Af-13	2.7	**2.61**	0.13
	Is-2C	2.6				Af-14	2.52		
	Is-2D	2.66				Af-4	2.42	**2.48**	0.11
	Is-3A	2.47	**2.27**	0.2		Af-6	2.49		
	Is-3B	2.49				Af-7	2.58		
	Is-3C	2.39				Af-8	2.38		
	Is-3D	2.37				Af-9	2.59		
	Is-4A	2.36				Af-11	2.6		
	Is-4B	2.32				Af-15	2.31		
	Is-6A	1.96				Af-3	2.55	**2.57**	0.02
	Is-6B	1.96				Af-16	2.57		
	Is-6C	2.34				Af-17	2.58		
	Is-6D	2.05							
	Is-4C	2.38	**2.4**	0.04					
	Is-5A	2.44							
	Is-5B	2.35							
	Is-5C	2.44							
	Is-7A	2.58	**2.52**	0.16					
	Is-7B	2.35							
	Is-7C	2.45							
	Is-7D	2.71							

Tablo 8. Numunelere sismik hız değerleri

	N.NO	HIZ m/s	Vp Ort. km/s	STD. SP.		N.NO	HIZ m/s	Vp Ort. km/s	STD. SP.
ISPARTA	Is-1A	4803	4742	153.9	AFYON	Af-2	5542	5542	774.2
	Is-1B	4855				Af-5	4120		
	Is-1C	4567				Af-10	4323		
	Is-2A	4585	4586	705.1		Af-12	5567		
	Is-2B	5593				Af-13	5598	4864	1038
	Is-2C	3924				Af-14	4130		
	Is-2D	5025				Af-4	4173	4331	404.5
	Is-3A	3234	2604	574.1		Af-6	4984		
	Is-3B	3610				Af-7	4437		
	Is-3C	2375				Af-8	3954		
	Is-3D	1759				Af-9	4574		
	Is-4A	3136				Af-11	4422		
	Is-4B	2176				Af-15	3774		
	Is-6A	2298				Af-3	4649	4835	575.1
	Is-6B	2135				Af-16	5480		
	Is-6C	2612				Af-17	4376		
	Is-6D	2703							
	Is-4C	3597	3597	439.3					
	Is-5A	4637							
	Is-5B	4222							
	Is-5C	4352							
	Is-7A	4427	4427	675.8					
	Is-7B	5792							
	Is-7C	4748							
	Is-7D	4305							

En yüksek Schmidt çekiç sertliği değeri standart sapmaları farklı ancak Schmidt çekiç sertliği değerleri aynı olan IS-4 kodlu bazaltik trakiandezit grubu ve IS-5 kodlu fonolit grubudur. En düşük değer ise IS-3 kodlu trakit numunelerinin oluşturduğu grupta gözlenmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Numunelere ait Schmidt çekiç sertliği değerleri

	N.NO	SCH. Ort.	STD. SP.		N.NO	SCH. Ort.	STD. SP.
ISPARTA	Is-1A Is-1B Is-1C	31.2	2.48	AFYON	Af-2 Af-5 Af-10 Af-12	34	4.8
	Is-2A Is-2B Is-2C Is-2D	28.3	1.53		Af-13 Af-14	33	14
	Is-3A Is-3B Is-3C Is-3D Is-4A Is-4B Is-6A Is-6B Is-6C Is-6D	26.3	4.98		Af-4 Af-6 Af-7 Af-8 Af-9 Af-11 Af-15	27	1.3
	Is-4C Is-5A Is-5B Is-5C	34.1	2.32		Af-3 Af-16 Af-17	30	4.8
	Is-7A Is-7B Is-7C Is-7D	34.1	3.16				

Kütlece su emme (KSE) deneyi değerlerine bakıldığında en yüksek değer IS-3 kodlu trakit numunelerinin oluşturduğu grupta gözlenmiştir. Ancak standart sapma değeri yüksek olduğu için kütlece su emme yüzdesi en yüksek IS-1 grubu trakiandezitler olarak belirlenmiştir. En düşük değer ise kumtaşlarından oluşan IS-2 kodlu grupta gözlenmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Numunelere ait kütlece su emme değerleri

	N.NO	ORT.	KSE ORT. %	STD SP.		N.NO	ORT.	KSE ORT. %	STD SP.
ISPARTA	**Is-1A**	2.82	2.86	0.18	AFYON	**Af-2**	0.57	1.74	1.49
	Is-1B	3.05				**Af-5**	3.08		
	Is-1C	2.7				**Af-10**	2.96		
	Is-2A	1.01	0.91	0.28		**Af-12**	0.33		
	Is-2B	0.54				**Af-13**	0.47	1.27	1.14
	Is-2C	1.19				**Af-14**	2.08		
	Is-2D	0.89				**Af-4**	3.23	2.6	0.72
	Is-3A	2	5.56	4.25		**Af-6**	1.94		
	Is-3B	1.65				**Af-7**	2.28		
	Is-3C	3.39				**Af-8**	3.43		
	Is-3D	3.88				**Af-9**	1.95		
	Is-4A	2.71				**Af-11**	1.99		
	Is-4B	3.53				**Af-15**	3.41		
	Is-6A	12.29				**Af-3**	1.72	1.49	0.77
	Is-6B	12.6				**Af-16**	0.63		
	Is-6C	3.82				**Af-17**	2.12		
	Is-6D	9.73							
	Is-4C	2.48	2.27	0.46					
	Is-5A	1.97							
	Is-5B	2.81							
	Is-5C	1.81							
	Is-7A	1.26	1.16	0.25					
	Is-7B	1.19							
	Is-7C	0.81							
	Is-7D	1.38							

Numunelere ait görünür porozite (GP) değerlerine bakıldığında en yüksek değer IS-3 kodlu trakit numunelerinin oluşturduğu grupta gözlenmiştir. Ancak standart sapma değeri yüksek olduğu için görünür porozite değeri en yüksek IS-1 grubu trakiandezitler olarak belirlenmiştir. En düşük değer IS-2 kodlu kumtaşlarının oluşturduğu grupta gözlenmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. Numunelere ait görünür porozite değerleri

	N.NO	ORT	GP ORT. %	STD SP.		N.NO	ORT	GP ORT. %	STD SP.
ISPARTA	**Is-1A**	6.55	**6.63**	**0.31**	AFYON	**Af-2**	1.48	**4.21**	**3.5**
	Is-1B	6.98				**Af-5**	7.22		
	Is-1C	6.37				**Af-10**	7.26		
	Is-2A	2.64	**2.38**	**0.71**		**Af-12**	0.89		
	Is-2B	1.42				**Af-13**	1.26	**3.25**	**2.81**
	Is-2C	3.1				**Af-14**	5.24		
	Is-2D	2.37				**Af-4**	7.82	**6.39**	**1.5**
	Is-3A	4.93	**11.86**	**7.9**		**Af-6**	4.79		
	Is-3B	4.1				**Af-7**	5.86		
	Is-3C	8.1				**Af-8**	8.15		
	Is-3D	9.21				**Af-9**	5.06		
	Is-4A	6.39				**Af-11**	5.15		
	Is-4B	8.19				**Af-15**	7.85		
	Is-6A	24.11				**Af-3**	4.4	**3.83**	**2**
	Is-6B	24.68				**Af-16**	1.62		
	Is-6C	8.92				**Af-17**	5.49		
	Is-6D	19.97							
	Is-4C	5.89	**5.43**	**1.01**					
	Is-5A	4.81							
	Is-5B	6.61							
	Is-5C	4.41							
	Is-7A	3.15	**2.91**	**0.65**					
	Is-7B	2.97							
	Is-7C	2							
	Is-7D	3.53							

Nokta yükü dayanım indeksi (NYD) sonuçlarına ait değerler ortalaması ve standart sapma değerleri ele alındığında en yüksek nokta yükü dayanım indeksi değeri AF-2 kodlu lösitit kayaçlarından oluşan grupta, en düşük değer ise IS-3 kodlu trakit kayaçlarının oluşturduğu grupta gözlenmiştir. Deneylere ait sonuçlar ortalaması Tablo 5'de ve standart sapma değerlerleri Tablo 6' da verilmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. Numunelere ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri

	N.NO	ORT.	NYD Mpa	STD SP.		N.NO	ORT.	NYD Mpa	STD SP.
ISPARTA	**Is-1A**	0.69	**0.6**	**0.08**	AFYON	**Af-2**	3.47	**2.27**	**2.16**
	Is-1B	0.54				**Af-5**	0.34		
	Is-1C	0.58				**Af-10**	0.55		
	Is-2A	0.65	**0.9**	**0.33**		**Af-12**	4.7		
	Is-2B	1.37				**Af-13**	1.31	**1.02**	**0.4**
	Is-2C	0.86				**Af-14**	0.74		
	Is-2D	0.7				**Af-4**	0.72	**0.48**	**0.15**
	Is-3A	0.36	**0.38**	**0.38**		**Af-6**	0.64		
	Is-3B	1.39				**Af-7**	0.37		
	Is-3C	0.57				**Af-8**	0.51		
	Is-3D	0.13				**Af-9**	0.42		
	Is-4A	0.33				**Af-11**	0.43		
	Is-4B	0.24				**Af-15**	0.3		
	Is-6A	0.17				**Af-3**	0.76	**0.58**	**0.32**
	Is-6B	0.15				**Af-16**	0.76		
	Is-6C	0.27				**Af-17**	0.21		
	Is-6D	0.19							
	Is-4C	0.47	**0.77**	**0.58**					
	Is-5A	1.62							
	Is-5B	0.36							
	Is-5C	0.61							
	Is-7A	1.58	**1.83**	**0.27**					
	Is-7B	1.74							
	Is-7C	1.77							
	Is-7D	2.22							

3.4. Numunelerin spesifik enerji değerleri

Numunelerin spesifik enerji değerlerine bakıldığında en yüksek değer AF-2 grubuna ait andezitik bazalt numunelerinde gözlenmiştir. En düşük spesifik enerji değeri ise IS-3 kodlu trakit numunelerinde gözlenmiştir. Numunelerin spesifik enerji hesap tabloları Tablo 13,14,15 'de, spesifik enerji değerleri ortalamaları ve standart sapma değerleri Tablo 16'de verilmiştir.

Tablo 13. Numunelere ait spesifik enerji hesap tablosu-1

		Ws ort	h ort	L ort	Q	Pk	Pb	Pnet	SE	SE_{ort}
		mm	mm	mm	cm^2/dak	Watt	Watt	Watt	J/mm^3	J/mm^3
ISPARTA	Is-1A-1	3.725	22.105	197.05	110.5	2341.1	844.5	1496.5	2.181	2.111
	Is-1A-2	3.775	21	195.97	105	2254.1	853.3	1400.8	2.12	
	Is-1A-3	3.805	21.89	196.37	109.5	2261.6	851.2	1410.4	2.032	
	Is-1B-1	3.88	20.15	199.42	100.8	2341.57	1251.63	1089.9	1.673	1.844
	Is-1B-2	3.79	19.92	199.59	99.6	2412.5	1193.7	1218.8	1.937	
	Is-1B-3	3.855	19.995	199.65	100	2384.2	1150.3	1233.9	1.921	
	Is-1C-1	3.74	22.415	202.76	112.1	2726.9	1121.5	1605.4	2.298	2.435
	Is-1C-2	3.725	23.25	201.23	116.3	2966.8	1150.4	1816.3	2.517	
	Is-1C-3	3.72	22.995	201.53	115	2926.06	1150.44	1775.6	2.491	
	Is-2A-1	3.895	20.96	199.75	104.8	2816.82	1421.33	1395.5	2.051	2.068
	Is-2A-2	3.95	21.08	198.42	105.4	2835.3	1203.7	1631.6	2.351	
	Is-2A-3	3.985	20.46	198.86	102.3	2549.2	1325.8	1223.4	1.801	
	Is-2B-1	3.805	23.895	200.77	119.5	2455.4	858.4	1597	2.108	2.169
	Is-2B-2	3.92	22.78	198.47	113.9	2488.5	858.8	1629.7	2.19	
	Is-2B-3	3.87	23.31	199.77	116.6	2491.2	830.3	1660.9	2.209	
	Is-2C-1	3.75	22.84	201.37	114.2	1711.1	836.5	874.6	1.225	1.156
	Is-2C-2	3.855	23.43	201.38	117.2	1676.8	835.9	840.8	1.117	
	Is-2C-3	3.805	22.61	201.15	113.1	1648.9	842.6	806.3	1.125	
	Is-2D-1	3.77	21.005	198.72	105	2559.28	1308.66	1250.6	1.895	1.865
	Is-2D-2	3.865	21.59	198.11	108	2530.65	1236.85	1293.8	1.861	
	Is-2D-3	3.88	21.655	198.61	108.3	2473.35	1186.29	1287.1	1.838	
	Is-3A-1	3.93	23.825	203.65	119.1	2485.011	854.741	1630.3	2.089	2.242
	Is-3A-2	4.07	22.125	202.77	110.6	2480.1	827.6	1652.5	2.202	
	Is-3A-3	3.43	23.55	202.9	117.8	2478.8	840.7	1638.1	2.434	
	Is-3B-1	3.93	21.51	200.67	107.6	2898.5	1132.4	1766.1	2.507	2.421
	Is-3B-2	3.88	21.92	200.91	109.6	2861.1	1151.7	1709.5	2.412	
	Is-3B-3	3.865	21.68	200.64	108.4	2852.9	1216.9	1636	2.343	
	Is-3C-1	3.795	19.845	200.5	99.2	1849.5	1108.6	740.9	1.181	1.468
	Is-3C-2	3.84	19.235	200.47	96.2	2166.1	1135.3	1030.8	1.675	
	Is-3C-3	3.84	19.46	200.29	97.3	2119.8	1155	964.8	1.549	
	Is-3D-1	3.88	23.455	201.24	117.3	1942.3	1124.7	817.6	1.078	1.124
	Is-3D-2	3.64	23.33	200.82	116.7	1924	1111.1	812.9	1.149	
	Is-3D-3	3.75	23.325	201.16	116.6	1954.5	1119.8	834.7	1.145	
	Is-4A-1	3.945	21.68	198.41	108.4	2875.7	1201.3	1674.4	2.349	2.458
	Is-4A-2	3.915	21.955	200.51	109.8	3024.6	1174.2	1850.4	2.583	
	Is-4A-3	3.9	21.92	199.49	109.6	2921.5	1181.5	1740	2.442	
	Is-4B-1	3.86	20.745	198.12	103.7	2141.1	1162.6	978.5	1.466	1.637
	Is-4B-2	3.8	21.3	197.21	106.5	2376.2	1214	1162.2	1.723	
	Is-4B-3	3.865	21.275	197.36	106.4	2390.3	1211.1	1179.2	1.721	
	Is-6A-1	3.77	22.26	199.14	111.3	1675.2	1138.1	537.1	0.768	0.872
	Is-6A-2	3.675	22.27	197.66	111.3	1790.2	1155.2	635	0.931	

Tablo 14. Numunelere ait spesifik enerji hesap tablosu-2

		Ws	h	L	Q	Pk	Pb	Pnet	SE	SEort
		mm	mm	mm	cm2/dak	Watt	Watt	Watt	J/mm3	J/mm3
ISPARTA	Is-6B-1	3.745	23.88	200.04	119.4	1199.6	831.8	367.8	0.494	0.516
	Is-6B-2	3.785	24.375	199.94	121.9	1260.6	851.3	409.3	0.532	
	Is-6B-3	3.765	24.62	200.18	123.1	1259.3	855.3	404	0.523	
	Is-6C-1	3.795	20.575	198.56	102.9	1890	858.2	1031.8	1.586	1.593
	Is-6C-2	3.8	21.75	199.04	108.8	1918.4	863.6	1054.8	1.531	
	Is-6C-3	3.83	20.905	198.64	104.5	2002.1	893.5	1108.6	1.662	
	Is-6D-1	3.91	22.42	197.77	112.1	1371.7	873.5	498.2	0.682	0.68
	Is-6D-2	3.835	21.795	198.08	109	1298.8	859	439.8	0.631	
	Is-6D-3	3.51	22.08	197.79	110.4	1342.4	873.2	469.2	0.726	
	Is-7A-1	3.81	23.25	196.91	116.3	2524.4	822.4	1702	2.306	2.448
	Is-7A-2	3.83	22.885	196.94	114.4	2694.5	841.5	1853	2.537	
	Is-7A-3	3.77	22.875	197.14	114.4	2668.9	871	1797.9	2.502	
	Is-7B-1	3.975	22.2	200.02	111	2764.8	991.3	1773.5	2.412	2.518
	Is-7B-2	3.83	21.3	199.58	106.5	2704.1	937.7	1766.4	2.598	
	Is-7B-3	3.91	22.155	199.88	110.8	2766.4	930.6	1835.8	2.543	
	Is-7C-1	3.89	21.06	197.51	105.3	2730.3	1155.6	1574.7	2.307	2.341
	Is-7C-2	3.87	20.875	197.67	104.4	2736.2	1149.6	1586.6	2.357	
	Is-7C-3	3.84	21.055	197.41	105.3	2729.3	1139.3	1590	2.36	
	Is-7D-1	3.885	20.805	202.42	104	2785.7	1153.3	1632.4	2.424	2.58
	Is-7D-2	3.87	20.83	204.39	104.2	2929	1169	1760	2.62	
	Is-7D-3	3.89	20.75	204.04	103.8	2957.2	1142.7	1814.5	2.698	
AFYON	Af-2-1	3.995	27.035	203.17	135.2	3027.9	859.8	2168.1	2.409	2.494
	Af-2-2	3.965	26.275	202.71	131.4	3069.5	849.1	2220.5	2.558	
	Af-2-3	4	26.515	202.6	132.6	3063.6	840.5	2223.1	2.515	
	Af-5-1	3.48	21.115	199.06	105.6	1990.958	874.087	1116.9	1.824	1.629
	Af-5-2	3.8	20.69	199.76	103.5	1852.317	892.2581	960.1	1.465	
	Af-5-3	3.75	20.65	199.39	103.3	1927.296	896.25	1031	1.598	
	Af-10-1	3.9	20.95	200.4	104.8	2192.659	1154.031	1038.6	1.525	1.4
	Af-10-2	3.9	21.04	202.42	105.2	2061.385	1146.632	914.8	1.338	
	Af-10-3	3.9	21.305	201.51	106.5	2059.098	1132.5	926.6	1.338	
	Af-12-1	3.985	18.57	146.1	92.9	3957.929	1126.102	2831.8	4.592	4.394
	Af-12-2	3.965	19.085	165.93	95.4	3845.889	1128.863	2717	4.309	
	Af-12-3	4	18.765	149.43	93.8	3828.913	1150.776	2678.1	4.282	
	Af-3-1	3.705	21.23	201.58	106.2	2964	1146.19	1817.8	2.773	2.805
	Af-3-2	3.115	21.42	201.76	107.1	2855.961	1172.455	1683.5	3.028	
	Af-3-3	3.92	21.295	201.96	106.5	3001.261	1183.406	1817.9	2.613	
	Af-16-1	3.875	22.025	201.66	110.1	2811.556	1135	1676.6	2.357	2.492
	Af-16-2	3.895	21.56	201.65	107.8	2971.735	1142.413	1829.3	2.614	
	Af-16-3	3.935	21.575	201.68	107.9	2911.403	1138.529	1772.9	2.506	
	Af-17-1	3.69	23.495	200.67	117.5	1933.946	891.8919	1042.1	1.442	1.519
	Af-17-2	3.765	23.065	196.39	115.3	2020.6	884.2632	1136.3	1.57	
	Af-17-3	3.695	23.235	201.7	116.2	1982.432	876.7612	1105.7	1.545	

Tablo 15. Numunelere ait spesifik enerji hesap tablosu-3

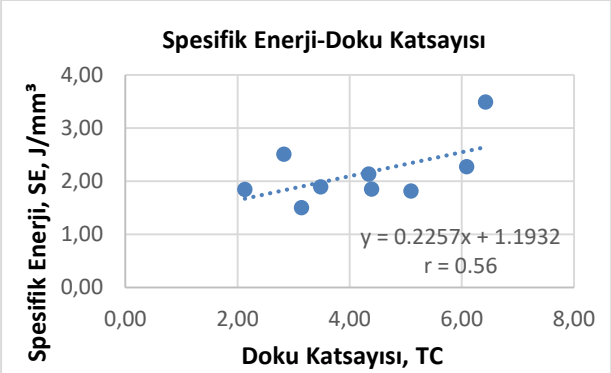
		Ws	h	L	Q	Pk	Pb	Pnet	SE	SEort
		mm	mm	mm	cm2/dak	Watt	Watt	Watt	J/mm3	J/mm3
AFYON	Af-4-1	3.945	21.68	198.41	108.4	2192.659	1154.031	1038.6	1.457	1.345
	Af-4-2	3.915	21.955	200.51	109.8	2061.385	1146.632	914.8	1.277	
	Af-4-3	3.9	21.92	199.49	109.6	2059.098	1132.5	926.6	1.301	
	Af-6-1	3.9	22.425	202.75	112.1	2988.39	1196.788	1791.6	2.458	2.248
	Af-6-2	3.895	22.765	202.46	113.8	2793.256	1194.382	1598.9	2.164	
	A-6-3	3.905	24.99	204.82	125	2894.671	1169.483	1725.2	2.121	
	Af-7-1	3.9	20.715	203.02	103.6	2161.297	1209.634	951.7	1.414	1.463
	Af-7-2	3.82	21.545	203.14	107.7	2224.82	1213.737	1011.1	1.474	
	Af-7-3	3.855	21.305	203.49	106.5	2242.753	1216.131	1026.6	1.5	
	Af-8-1	3.58	22.59	200.58	113	2021.852	877.2	1144.7	1.698	1.568
	Af-8-2	3.73	22.695	199.92	113.5	1933.881	866.25	1067.6	1.513	
	Af-8-3	3.77	22.74	200.89	113.7	1912.595	846.6087	1066	1.492	
	Af-9-1	3.875	24.22	201.86	121.1	2323.538	1194.221	1129.3	1.444	1.429
	Af-9-2	3.825	23.535	203.22	117.7	2263.101	1180.688	1082.4	1.443	
	Af-9-3	3.905	23.7	202.77	118.5	2256.519	1177.35	1079.2	1.399	
	Af-11-1	3.92	24.63	204.87	123.2	2353.544	857.129	1496.4	1.86	1.778
	Af-11-2	3.945	24.49	204.32	122.5	2258.277	857.8125	1400.5	1.739	
	Af-11-3	3.945	24.38	203.75	121.9	2246.805	857.1364	1389.7	1.734	
	Af-15-1	3.825	23.395	204.37	117	1864.577	855.0923	1009.5	1.354	1.407
	Af-15-2	3.915	22.92	202.28	114.6	1931	878.9524	1052	1.407	
	Af-15-3	3.865	23.005	202.54	115	1934.311	852.2069	1082.1	1.46	
	Af-13-1	3.935	23.57	215	117.9	4194.833	1120.6	3074.2	3.978	4.257
	Af-13-2	3.835	23.755	198.29	118.8	4546.5	1125.882	3420.6	4.506	
	Af-13-3	4.02	23.965	198.88	119.8	4556.773	1115.411	3441.4	4.287	
	Af-14-1	3.99	11.1315	184.58	55.7	2450.531	853.1077	1597.4	4.316	2.72
	Af-14-2	3.815	21.715	183.46	108.6	2253.947	880.5405	1373.4	1.989	
	Af-14-3	3.845	22.565	184.04	112.8	2227.292	886.1757	1341.1	1.855	

Tablo 16. Numune gruplarına ait spesifik enerji ve standart sapma değerleri

	N.NO	SE J/mm³	SE ORT.	STD SP.		N.NO	SE J/mm³	SE ORT.	STD SP.
ISPARTA	Is-1A	2.11	2.13	0.3	AFYON	Af-2	2.49	2.48	1.36
	Is-1B	1.84				Af-5	1.63		
	Is-1C	2.44				Af-10	1.40		
	Is-2A	2.07	1.82	0.46		Af-12	4.39		
	Is-2B	2.17				Af-13	4.26	3.49	1.09
	Is-2C	1.16				Af-14	2.72		
	Is-2D	1.86				Af-4	1.34	1.61	0.32
	Is-3A	2.24	1.50	0.71		Af-6	2.25		
	Is-3B	2.42				Af-7	1.46		
	Is-3C	1.47				Af-8	1.57		
	Is-3D	1.12				Af-9	1.43		
	Is-4A	2.46				Af-11	1.78		
	Is-4B	1.64				Af-15	1.41		
	Is-6A	0.87				Af-3	2.81	2.27	0.67
	Is-6B	0.52				Af-16	2.49		
	Is-6C	1.59				Af-17	1.52		
	Is-6D	0.68							
	Is-4C	2.54	2.06	0.33					
	Is-5A	1.84							
	Is-5B	1.86							
	Is-5C	1.98							
	Is-7A	2.52	2.51	0.11					
	Is-7B	2.34							
	Is-7C	2.58							
	Is-7D	2.58							

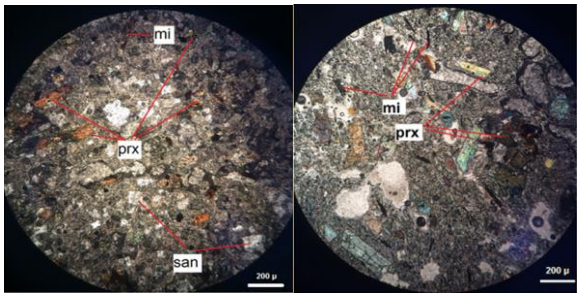
4. Verilerin değerlendirilmesi

Şekil 4' de görüldüğü gibi numunelerin doku katsayısı ile spesifik enerjileri arasında r=0.56 katsayılı bir ilişki gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Kayaç gruplarına ait spesifik enerji ortalamaları ile doku katsayısı ortalamaları arasındaki ilişki

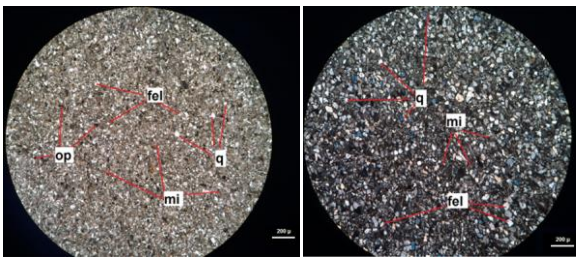
IS-1 grubu ve AF-4 grubu içerisindeki kayaçlar ele alındığında en yüksek doku katsayısı değerleri (Tablo 6) mikrolitik porfirik dokulu Af-3 ve Af-17 numunelerinde gözlenmiştir (Şekil 5). Bu doku fenokristal olarak bulunan minerallerin küçük, ince taneli bir formda gene fenokristallerin etrafını çevirdiği bir matriks veya hamurdan meydana gelir. Mikrolitik tanelerin matriks içinde birbirleriyle olan yakınlıkları ise doku katsayısını yükseltmektedir.



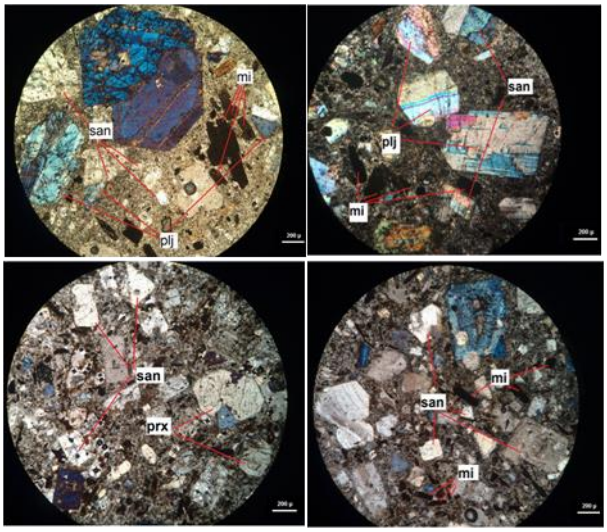
Şekil 5. Af-3 ve Af-17 numunelerine ait incekesit görüntüsü

IS-2 grubunda bulunan kumtaşlarında doku katsayısı ve buna bağlı spesifik enerji kullanımı farklılık göstermektedir. Mineralojik olarak ele alındığında detritik dokulu olan Is-2A ve Is-2D numunelerinin yüksek çıkan doku katsayılarının (Tablo 6) sebebi tanelerin yuvarlaklıklarının yüksek olması ve fenokristaller arasını küçük çaptaki mineral tanelerinin sıkı bir bağlamla bulunmasıdır (Şekil 6). Bu da kayaç dayanımını yükseltmektedir.

IS-3 grubu ele alındığında gruba ait numuneler arasında mineralleri büyük, köşeli ve geometrik şekilli fenokristallerin yoğun olarak bulunduğu Is-3B, Is-3C, Is-4A ve Is-4B kodlu trakit numunelerinde (Şekil 7) doku katsayılarının yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 6).



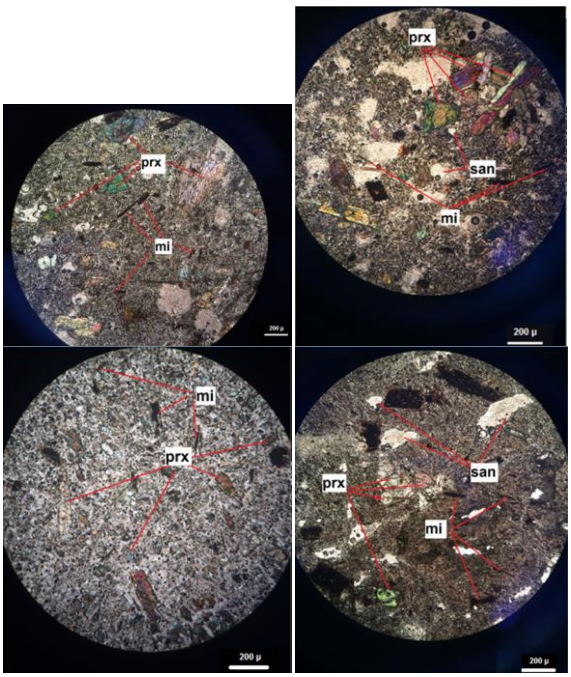
Şekil 6. Is-2A ve Is-2D numunelerine ait incekesit görüntüsü



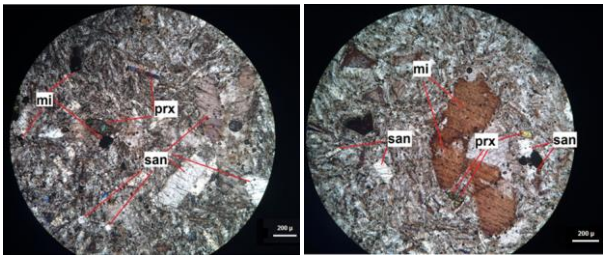
Şekil 7. Is-3B, Is-3C, Is-4A ve Is-4B numunelerine ait incekesit görüntüleri

IS-4 ve AF-3 grubunu oluşturan bazaltik trakiandezit numunelerinde çeşitli doku tipleri gözlenmiştir (Tablo2,3). Ancak bu iki gruba ait tüm numunelerde kayaç hamurunu oluşturan mikrolitik mineraller yoğun olarak gözlenmiştir(Şekil 8). İki grupta da doku katsayısı yüksek olan (Tablo 6) Is-4C, Af-6, Af-8 ve Af-11 kodlu numunelerde (tıpkı IS-3 grubunda olduğu gibi) büyük ve köşeli mineraller gözlenmiştir (Şekil 8). Bu mineraller arasını dolduran mikrolitik yapıdaki taneler arası sıkı bir matriks söz konusudur.

IS-5 grubuna ait fonolitler de farklı doku katsayıları elde edilmiştir. Bu gruba ait tüm numuneler intergranüler doku tipine sahiptir. İntergranüler doku kayaçlar içerisinde fenokristal olarak minerallerin aralarını sık bir bağlamla plajioklas minerallerinin doldurmasıyla meydana gelir. Ancak IS-5 grubunda en yüksek doku katsayısına (Tablo 6) sahip olan Is-7A ve Is-7B numuneleri mineralojik olarak ele alındığında diğer numunelere göre fenokristalleri arası tamamen plajioklas mineraliyle dolmuştur (Şekil 9). Yani bu iki numuneye ait fenokristaller arasında neredeyse hiç boşluk olmamakla birlikte taneler arası tamamen plajioklas minerali ile dolu olup plajioklaslarla fenokristaller bütünüyle sınır ilişkisi içerisindedir. Bu da kayacın dayanımını yükseltmektedir.

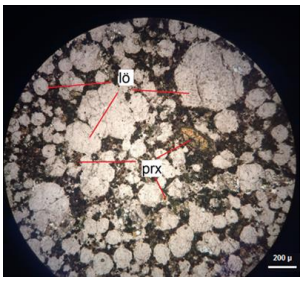


Şekil 8. Is-4C, Af-6, Af-8 ve Af-11 numunelerine ait incekesit görüntüleri



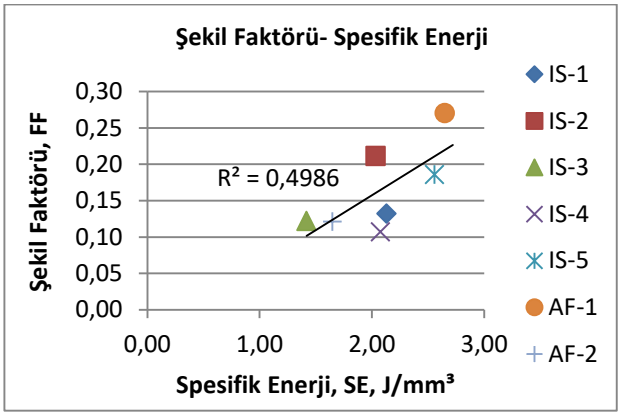
Şekil 9. Is-7A ve Is-7B numunelerine ait incekesit görüntüleri

Son grup olan AF-1 grubunu oluşturan lösititler porfirik dokulu kayaçlardır. Doku katsayısı ele alındığında Af-12 numunesi diğer lösitit numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır (Tablo 6). Bunun sebebi diğer numunelere oranla bu numunede mineral tane boyları daha büyüktür (Şekil 10). Büyük formda olan bu fenokristaller arasında önemli ölçüde sınır ilişkisi gözlenmektedir (Şekil 10). Bu durumda kayacın bağlamı yüksek olmakla birlikte dayanımı artmıştır.

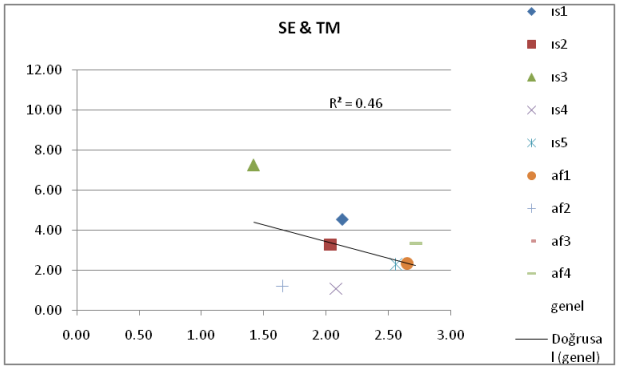


Şekil 10. Af-12 numunesine ait incekesit görüntüsü

Numunelerin spesifik enerjileri ve tanelere ait şekil faktörü arasındaki ilişki araştırılırken başta anlamlı bir ilişki elde edilemezken sapan değerlere sahip olan AF-4 ve AF-3 kodlu numune gruplarına ait değerler çıkartıldığında Şekil 11 'de görüldüğü üzere numunelerin spesifik enerji ve şekil faktörü değerleri ortalamalarının kullanıldığı grafikte tanelere ait şekiller ile kesilebilirlikleri arasında anlamlı bir ilişki vardır .



Şekil 11. Kayaç gruplarına ait spesifik enerji ortalamaları ile şekil faktörü değerlerinin ortalamaları arasındaki ilişki



Şekil 12. Kayaç gruplarına ait spesifik enerji ve numunelerin içerisindeki tanelerin alanlarının toplamın matrikse oranı değerlerinin ilişkisi

Tanelerin şekillerinin ve büyüklüklerinin, kayaç içerisindeki kapladıkları alanın ve bulunma oranlarının spesifik enerjiyi ne kadar etkilediğini belirleyebilmek amacıyla yapılan grafik Şekil 12 'de verilmiştir. Başta düşük bir katsayı elde edilen ilişkide AF-2 kodlu numune grubuna ait değerler çıkartıldığında R^2= 0.46 katsayılı bir ilişki elde edilmiştir. Bu durumda mineral tanelerinin kayaç içerisindeki bulunma oranları, matriks içerisindeki mineral tanelerinin kapladığı alanın ve tane büyüklüklerinin kayacın dayanımını etkilediği aynı zamanda spesifik enerji kullanımını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Lösitit numunelerinin oluşturduğu AF-1 kodlu grupta en yüksek sismik hız (Tablo 8) ve nokta yükü dayanım indeksi (Tablo 12) değerinin çıkması lösitit kayacını oluşturan tanelerin hem büyük boyutta ve yuvarlaklığının yüksek olması hem de kayaç içerisinde kırık, çatlak ve gözenekliliğin diğer kayaç numunelerine oranla daha az olmasıdır.

Schmitd çekiç sertliği değerlerine bakıldığında IS-4 kodlu bazaltik trakiandezit numuneleri ve IS-5 kodlu fonolit numunelerinde yüksek çıkmıştır (Tablo 9).

Nedeni büyük, çok büyük, öz şekilli, yarı özşekilli tanelerin bulunma oranının diğer kayaçlara göre fazla olmasıdır.

Kütlece su emme (Tablo 10) ve görünür porozite (Tablo 11) değerleri en yüksek çıkan grup IS-3 kodlu trakit numunelerinin oluşturduğu gruptur. Kütlece su emme ve görünür porozite değerlerinin yüksek çıkması trakit kayacına ait numunelerin içerisinde mevcut olan gözeneklerin tamamına yakınının suyla dolduğunu yani numuneler içerisinde volkanik kayaçlarda sıkça gözlenen gaz boşluklarının fazla olmasından dolayıdır. Aynı zamanda bu durum kayaca ait birim hacim ağırlık (Tablo 7) ve spesifik enerji (Tablo 16) değerinin düşük çıkmasına yani kayacın kesilebilirliğinin kolaylaşmasını sağlamaktadır.

5. Tartışma ve Sonuç

Genel olarak tüm çalışma ele alındığında en düşük doku katsayılarına (TC) sahip olan lösitit numuneleri kumtaşlarına oranla daha yüksek yuvarlaklık katsayısına (FF) sahiptir. Ancak lösitit kayaçlarında spesifik enerji değeri (SE) kumtaşına oranla daha yüksek olarak bulunmuştur (Tablo 16). Bu durumda tane yuvarlaklık katsayısı kayaç dayanımını etkilediği açıktır. Bunun yanı sıra litaretür de geçen tane yuvarlaklığının öneminin yanında kayaçlar içerisinde bulunan fenokristallerin öz şekilli, yarı özşekilli, geometrik şekilli ve tane büyüklükleri de doku katsayılarını ciddi derecede etkilemektedir. Buna bağlı olarak kayaç dayanımlarının da artmasıyla spesifik enerji kullanımı artmaktadır.

Kayaçlara ait doku tipleri ele alındığında ise taneler arasını dolduran hamur veya matriks içerisinde mikrolitik yapıdaki minerallerin yoğunluğu ve tüm taneler arası sınır ilişkisi arttıkça doku katsayısı yükselmekte ve kayaç dayanımı artmaktadır.

Sonuç olarak kayaç dayanımının sayısallaştırılabileceği, tane yuvarlaklığının önemli olduğu, mineral tane büyüklüğünün, fenokristallerin geometrik şekillerinin, hamur veya matriksin içerisinde bulunan mikrolitik yapıdaki minerallerin yoğunluğunun ve mineral taneleri arası temasın arttıkça kayaç dayanımının yükseldiği gözlenmiştir. Bunların yansıra spesifik enerji ile doku katsayısı arasında doğru orantılı anlamlı bir ilişki elde edilmiş olup dairesel testerelerin kullanımında doku katsayısı parametresinin kullanılabilirliği hem zaman kazancını hem de kesime ait verimi arttırabileceği anlaşılmıştır.

Kaynakça

[1] Şengün, N. 2009. Kayaçların Kırılma Tokluğu ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler ile Kesme Verimi Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 180s, Isparta.

[2] Şengün N., Altindağ R., Erinç Koçcaz C., "Isparta Yöresinde Bulunan Bazı Mağmatik Kökenli Kayaçların Kesilebilirlik Analizi", DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt.11, ss.22-31, 2009.

[3] Öztürk, C.A. 2006. Kayaç dokusal özelliklerinin sınıflandırılması ve kaya mühendisliği uygulamaları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 220s, İstanbul.

[4] Howarth, D.F., Rowlands, J.C. 1987. Quantitative Assessment Of Rock Texture And Correlation With Drillability And Strength Properties. Rock Mechanics and Rock Engineering, 20(1987), 57-85, England.

[5] Öztürk, C. A., Nasuf, E., ve Bilgin, N., 2004. The Assessment of Rock Cuttability and Physical and Mechanical Rock Properties From a Texture Coefficient, J. South African Ins. Mining and Metallurgy, 7, 397-403.

[6] Tiryaki, B. vd., 2003. Kayaç Kesmede Keski Performansının Tahmini İçin Doku Katsayısı Yaklaşımının Kullanılabilirliği, Madencilik Dergisi, Cilt 42, Sayı 2, Syf 27-43.

[7] Günaydın, S. 2006. Kayaçların doku katsayıları ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Isparta.

[8] TS EN 1936, 2010. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, TSE, Ankara.

[9] TS EN 13755, 2009. Doğal taşlar-Deney metotları-Atmosfer basıncında su emme tayini, TSE,Ankara.

[10] TS EN 14579, 2006. Doğal taşlar - Deney yöntemleri-Ses hızı ilerlemesinin tayini, TSE, Ankara.

[11] ISRM 1981, Rock Characterization, Testing and Monitoring –ISRM Suggested Methods, Pergamon Press‟, Oxford, Brown, E.T. (ed), 211 p.