

## ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİYLE PİROKLASTİK KAYAÇLARIN İNDEKS-DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İsmail İNCE<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-6692-7584)\*

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 42250 Konya, Türkiye

Geliş / Received: 20.02.2018  
Kabul / Accepted: 08.05.2018

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, çalışmaya hız kazandıran ve çalışma maliyetini azaltan elektrik özdirenç yöntemiyle piroklastik kayaçların indeks ve dayanım değerlerini belirlemektir. Bu amaçla 12 farklı piroklastik kayaç örneğinin indeks-dayanım ve elektrik özdirenç değerleri laboratuvarda ölçülmüştür. Kayaçların elektrik özdirenç değerleri ile uyumlu indeks-mekanik özellikleri arasında basit regresyon analizi yapılmıştır. Kayaçların elektrik özdirenç değerleri ile indeks-dayanım özellikleri arasında güçlü belirleme katsayıları bulunmuştur. Elde edilen bu ilişkilere göre, elektrik özdirenç yönteminin, düzgün şekilli numune alınımının güç veya olanaksız olduğu kayalarda ve/veya tarihi yapılarda kayaçların mühendislik özelliklerinin tahmininde tahribatsız bir yöntem olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik özdirenç, indeks-mekanik özellikler, piroklastik kayaç, basit regresyon analizi

## DETERMINATION OF INDEX-STRENGTH PROPERTIES OF PYROCLASTIC ROCKS BY ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

### ABSTRACT

The aim of this study is to determine index and mechanical properties of pyroclastic rocks by means of the relatively fast and cost-effective electrical resistivity method. For this purpose, index-mechanical and electrical resistivity values of 12 different pyroclastic rocks were determined in the laboratory. Simple regression analyses were made between index-mechanical properties of the rock samples compatible with electrical resistivity values. Strong relationships were found between index-mechanical properties and electrical resistivity values. Based on these relationships, the electrical resistivity method can be used to assess index and mechanical properties of rocks as a non-destructive method where collecting regular shaped rock samples are difficult and impossible.

**Keywords:** Electrical resistivity, index-mechanical properties, pyroclastic rocks, simple regression analysis

### 1. GİRİŞ

Elektrik özdirenç tekniği jeofiziğin tahribatsız deney yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin hem saha ve hem de laboratuvar uygulamalarında kullanılabilirliği, yöntemin birçok mühendislik alanında (jeofizik, jeoloji, maden, jeoteknik, hidrojeoloji, petrol ve inşaat vb.) kullanımını yaygınlaştırmıştır. Kayaçların elektriksel özellikleri, gözenekliliğine [1-3], boşluk geometrisine [4, 5], doygunluk derecesine [4-6], kayacın sıcaklığına [7-9] ve maruz kaldığı basınca [10, 11] göre değişiklik gösterir. Son yıllarda, birçok araştırmacı tarafından kayaçların elektrik özdirenç değerleri ile indeks ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır [4, 12-16]. Kate ve Sthapak

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 332 223 21 81; e-mail / e-posta: iince@selcuk.edu.tr

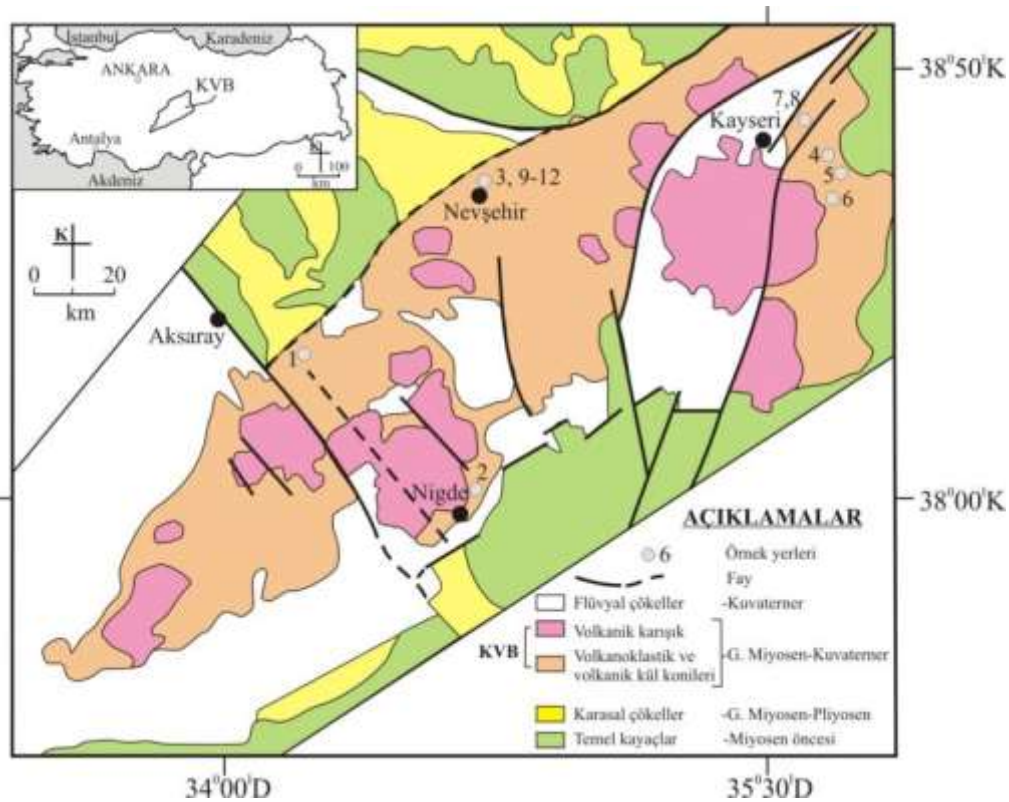
İ. İNCE

[12], Himalaya kayalarında yaptığı çalışmalarda tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ile özdirenç arasında logaritmik bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Matsui ve diğ. [4], farklı kaya birimlerinde (konglomera, kumtaşı, granit, şeyl ve tüf) yaptıkları çalışmalarda ise, kayaların gözeneklilik değeri arttıkça elektrik özdirenç değerlerinin azaldığını göstermişlerdir. Fay breşleri üzerinde yapılan bir başka çalışmada [13] ise tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastisite modülü değerleri ile özdirenç değerleri arasında logaritmik bir ilişkinin olduğu ve dayanım değerlerinin artışıyla özdirenç değerlerinin de arttığı ortaya konmuştur. Kahraman ve diğ. [14] ve Kahraman ve Yeken [15] da magmatik kayalarda yaptıkları çalışmalarda dayanım değerleri (sıkışma ve çekme) ile özdirenç değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir. Su ve Momayez [16] ise kayacın indeks (gözeneklilik, ağırlıkça su emme), dayanım (dolaylı çekme dayanımı, elastisite modülü) ve aşınma (Los Angeles aşınma) özellikleri ile elektrik özdirenç değerleri arasındaki ilişkiyi basit regresyon yöntemiyle incelemişler ve kayacın elektrik özdirenç değerleri ile indeks ve dayanım özellikleri arasında oldukça hassas bir ilişkinin olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada, İç Anadolu Bölge'sinde Kapadokya çevresinde yüzeyleyen piroklastik kayalar kullanılmıştır. Bölgedeki volkanik kayaların; fiziksel-mekanik özellikleri [17-20], bozunma özellikleri [21-27] ve mühendislik jeolojisi problemleri [28-30] değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Boşluklu ve dayanımları zayıf olan piroklastik kayalar üzerinde elektrik özdirenç yöntemiyle yapılan benzer çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu tür zayıf kayaların elektrik özdirenç değerleri ile mühendislik özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamak çok önemlidir. Bu çalışmada, Kapadokya bölgesinde yayılım gösteren indeks ve dayanım değerleri geniş bir aralıkta değişen 12 piroklastik kayaç örneğinin indeks-dayanım değerlerinin elektrik özdirenç yöntemiyle belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. GENEL JEOLJİ

Bu çalışmada kullanılan piroklastik kayaç blokları Kapadokya Volkanik Bölgesinde (KVB) 12 farklı konumdan toplanmıştır (Şekil 1). KVB, İç Anadolu'da KD-GB doğrultusunda uzanan ve uzun eksenli 300 km, genişliği ise 20-50 km arasında değişen Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanik bir bölgedir [31].



Şekil 1. Kapadokya volkanik bölgesinin (KVB) basitleştirilmiş jeoloji haritası (Toprak ve diğ. [34]'den alınmıştır).

**ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİYLE PİROKLASTİK KAYAÇLARIN İNDEKS-DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Bölgedeki kayaçların temelini Miyosen öncesine ait birimler oluşturur. Temel kayaçlar üzerine uyumsuz olarak kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan Erken Miyosen yaşlı Yeşilhisar formasyonu gelir [32]. Yeşilhisar formasyonu üzerinde uyumsuz olarak Ürgüp formasyonu yer alır. Ürgüp formasyonu 8 ignimbirit üyesi (Kavak, Zelve, Sarımaden Tepe, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Kızılkaya and Valibaba), 2 lav akıntısı (Damsa and Topuzdağ) ve bunlarla ardalanmalı flüvyal ve gölsel çökellerden oluşur. Birimin yaşlı Geç Miyosen-Pliyosen'dir [33]. Ürgüp formasyonu üzerine Kuvaterner yaşlı Kumtepe formasyonu gelir. Bütün birimler üzerinde uyumsuz olarak güncel yaşlı alüvyon bulunur.

**3. MATERYAL VE YÖNTEM**

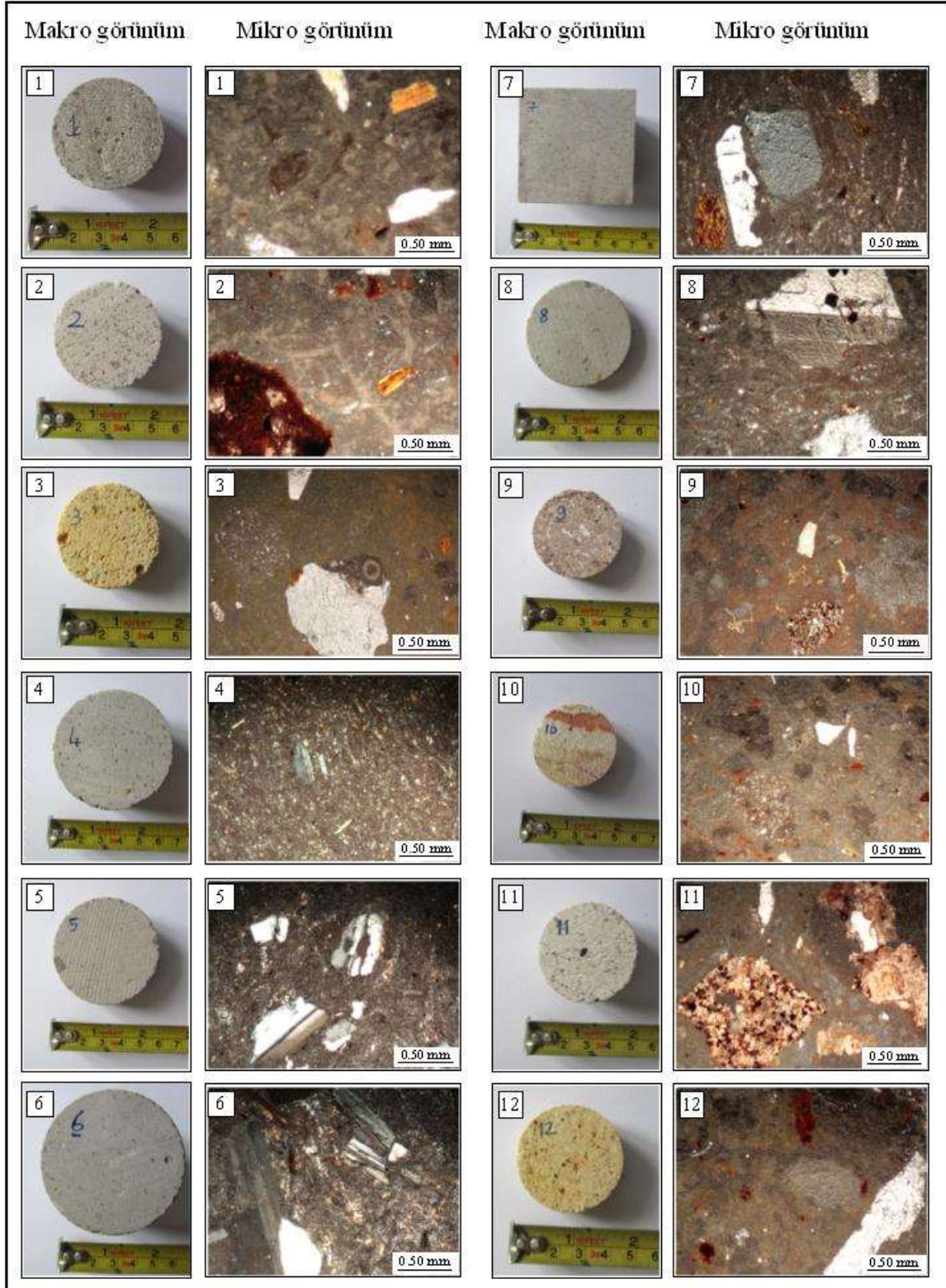
**3.1. Materyal**

Bu çalışmada Kapadokya bölgesinde Ürgüp formasyonun farklı üyeleri içinde açılmış taş ocaklarından derlenen 12 farklı piroklastik kayaç örneği kullanılmıştır. Örneklerin konumları ve petrografik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Ocaklardan alınan numunelerin makro ve mikro resimleri Şekil 2' de verilmiştir. Piroklastiklerin ince kesitlerinde başlıca bileşenini volkanik cam, plajiyoklaz, kayaç parçası, kuvars ve opak mineral oluşturur.

**Tablo 1.** Piroklastik kayaçların dokusal özellikleri ve konum bilgileri (Vk: volkanik cam, Pl: plajiyoklaz, Hb: hornblend, Kp: kayaç parçası, Q: kuvars, Kpx: klinopiroksen, By: biyotit, Op: opak mineral, Shf: silisleşmiş hamur fazı)

Örnek No	Konumları	Renk	Makro Özellikler
1	Selime/Aksaray	Gri	İnce-orta taneli, gözenekli, afanitik porfirik dokulu
2	Gümüşler/Niğde	Açık pembe	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
3	Karayazı/Nevşehir	Açık sarı	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
4	Kayseri-1	Gri	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
5	Mimar Sinan/Kayseri	Gri	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
6	Turanlar/Kayseri	Gri	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
7	Kayseri-2	Gri	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
8	Kayseri-3	Gri	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
9	Karayazı/Nevşehir	Lila	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
10	Karayazı/Nevşehir	Sarı-beyaz	İnce taneli, afanitik porfirik dokulu
11	Karayazı/Nevşehir	Açık pembe	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
12	Karayazı/Nevşehir	Sarı	İnce-orta taneli, afanitik porfirik dokulu
Mikro özellikler			
Örnek No	Bileşenlerin % dağılımı	Doku	Kayaç Adı
1	Vk:50, Pl:25, By:7, Q:9, Kp:8, Op:1	Hiyalin porfirik	Plajiodasitik tuf
2	Vk:72, Pl:12, By:4, Q:6, Kp:5, Op:1	Hiyalin porfirik	Plajiodasitik tuf
3	Vk:73, Pl:12, Q:7, Kp:7, Op:1	Hiyalin porfirik	Plajiodasitik tuf
4	Vk:54, Pl:15, Hb:7, By:7, Kpx:8, Kp:7, Op:2	Hipokristalin porfirik	Andezitik tuf
5	Vk:49, Pl:30, Hb:4, Kpx:6, Kp:10, Op:1	Hipokristalin-porfirik	Andezitik tuf
6	Vk:53, Pl:30, Hb:4, Kpx:10, Kp:5, Op:2	Hipokristalin-porfirik	Andezitik tuf
7	Vk:53, Pl:30, Hb:16, Kpx:4, Q:3, Kp:3, Op:1	Hipokristalin-porfirik	Andezitik tuf
8	Vk:52, Pl:28, Hb:2, Kpx:13, Q:3, Kp:4, Op:1	Hipokristalin-porfirik	Andezitik tuf
9	Vk:37, Pl:20, Q:7, Hb:2, By:8, Kp:25, Op:1	Hiyalin porfirik	Plajiodasitik tuf
10	Shf:31, Pl:20, Q:15, Hb:2, By:5, Kp:15, Op:2	Porfirik	Plajiodasitik tuf
11	Shf:44, Pl:24, Q:18, By:6, Kp:7, Op:1	Porfirik	Plajiodasitik tuf
12	Shf:38, Pl:23, Q:10, Hb:3, By:10, Kp:15, Op:1	Porfirik	Plajiodasitik tuf





Şekil 2. Piroklastik kayaların makro ve mikro (çapraz nikol) görüntüleri (resimlerdeki numaralar kayaç örnek numaralarını temsil etmektedir).

## ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİYLE PİROKLASTİK KAYAÇLARIN İNDEKS-DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

### 3.2. Yöntem

Deneyel çalışmalar için, taş ocaklarından yaklaşık 20 cm x 30 cm x 30 cm boyutlarında mümkün olduğunca homojen kayaç örnekleri derlenmiştir. Bu örneklerden kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ilgili standartlara uygun NX (54 mm) çaplı karot örnekleri hazırlanmıştır. Kayaç örneklerinin kuru yoğunluk ( $\rho_d$ ), ağırlıkça su emme ( $W_a$ ), gözeneklilik ( $n$ ) ve P-dalga hızı ( $V_p$ ) gibi indeks özellikleri ISRM [35]'de önerilen yöntemlere göre belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) boy/çap oranı 2-2,5 kat olan NX çaplı karot örneklerinde ASTM [36]'de belirtilen esaslara göre belirlenmiştir.

Elektrik öz direnç ( $\rho$ ) ölçümleri, laboratuvarında 54 mm çapında yaklaşık 110 mm uzunluğundaki karot örnekleri üzerinde yapılmıştır. Alt ve üst yüzeyleri pürüzsüz ve paralel hale getirilen karot numuneler saf suda doygun hale getirilmiştir. Örneklerin doygunluğu ağırlık artışının ölçümü ile kontrol edilmiş ve örneklerde artık ek ağırlık artışı olmadığı anda örnekler tam olarak doymuş kabul edilmiştir. Öz direnç ölçümlerinde Şekil 3'deki düzenek kullanılmıştır. Deneylerde örneklerle aynı çaplı dairesel bakır elektrotlar kullanılarak örneklere, 12 V doğru akım (DC) uygulanmış ve tepkisi oda sıcaklığında laboratuvarında ölçülmüştür. Örneklerin elektrik öz direnç değerleri aşağıdaki formüllerden hesaplanır:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (1)$$

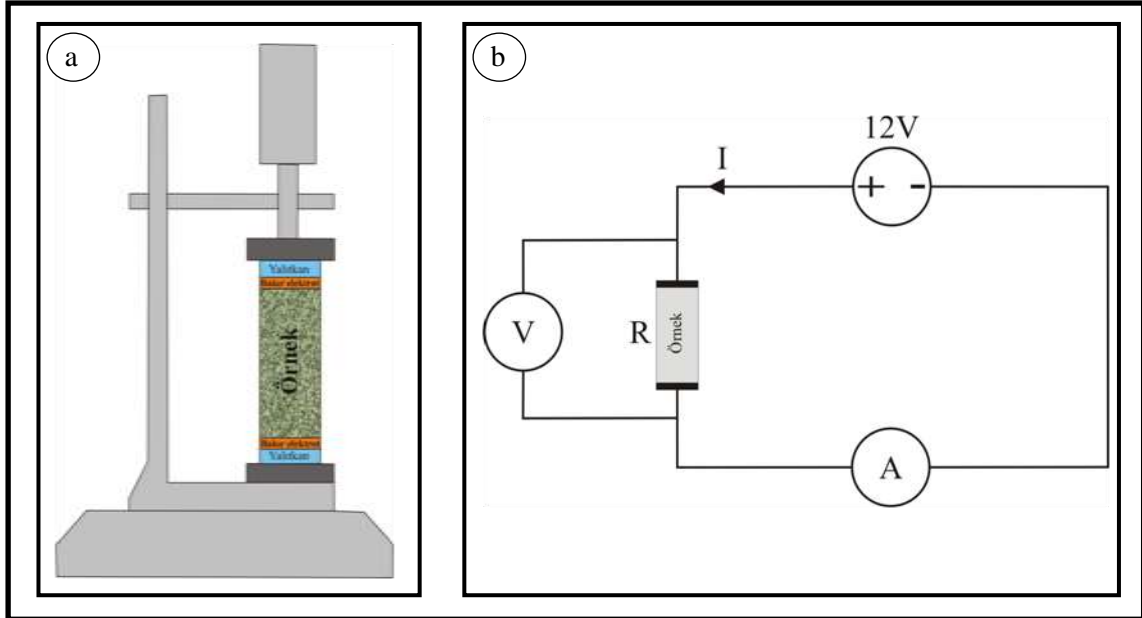
Burada;  $\rho$ : elektrik öz direnç,  $R$ : direnç,  $A$ : numunenin kesit alanı ve  $L$ : numunenin boyudur.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Burada;  $R$ : direnç,  $V$ : volt ve  $I$ : akım değerlerini gösterir.

### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan piroklastik kayaçlardan elde edilen indeks özellikleri (kuru yoğunluk, gözeneklilik, ağırlıkça su emme, P dalga hızı), tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elektrik öz direnç değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu özelliklere ilişkin verilerin istatistiksel analizleri Tablo 3'de sunulmuştur.



**Şekil 3** Elektrik öz direnç ölçümlerinde kullanılan cihaz; **a.** şematik gösterim **b.** elektronik devre tasarımı (V: voltmetre, A: ampermetre, 12V: DC voltaj kaynağı, I: akım, R: direnç).

**Tablo 2** Örneklerin bazı fiziko-mekanik özellikleri ve elektrik özdirenç değerleri ( $\rho_d$ : kuru yoğunluk, n: gözeneklilik, Wa: ağırlıkçasu emme, Vp: P-dalga hızı, UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı,  $\rho$ : elektrik özdirenç).

Örnek no	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	n %	Wa %	Vp km/s	UCS MPa	$\rho$ $\Omega$ m <sup>2</sup> /m
1	1,54	24,81	16,13	2,30	10,55	181,23
2	1,30	36,83	28,23	2,02	7,57	37,97
3	1,54	28,45	18,45	2,49	24,51	242,00
4	1,94	14,84	7,64	2,64	48,76	306,10
5	1,82	20,16	11,08	2,27	32,00	369,02
6	2,03	15,32	7,54	2,65	59,71	504,18
7	2,01	12,67	6,30	2,57	42,13	399,13
8	1,80	21,33	12,11	2,73	28,17	307,51
9	1,44	31,31	21,68	2,13	6,87	102,53
10	1,72	20,55	12,00	2,52	12,50	262,69
11	1,56	29,25	18,73	2,15	8,76	99,72
12	1,64	28,68	17,48	2,52	13,57	130,40

**Tablo 3** Örneklerden elde edilen istatistiksel veriler

Değişkenler	Veri	Ortalama	Std. Sapma	Varyans	Minimum	Maksimum
$\rho_d$ - gr/cm <sup>3</sup>	12	1,70	0,23	0,05	1,30	2,03
n -%	12	23,68	7,44	55,29	12,67	36,83
Aw -%	12	14,78	6,54	42,78	6,30	28,23
Vp -km/s	12	2,42	0,23	0,05	2,02	2,73
UCS -MPa	12	24,59	17,87	319,27	6,87	59,71
$\rho$ - $\Omega$ m <sup>2</sup> /m	12	245,21	140,05	19612,90	37,97	504,18

Çalışmada kullanılan piroklastik kayaların kuru yoğunluk değerleri 1,30-2,03 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişirken, gözeneklilik değerleri % 12,67 ile % 36,83 arasındadır. NBG [37] kuru yoğunluk sınıflamasına göre örnekler ‘çok düşük’ yoğunluklu kayaç sınıfındadır. NBG [37]’ in gözeneklilik sınıflamasına göre, deneylerde kullanılan piroklastik kayaçlar ‘yüksek - çok yüksek’ gözenekli kayaç özellikleri göstermektedir. Bu kayaçların ağırlıkça su emme değerleri ise % 6,30 ile % 28,23 arasındadır. P-dalga hızı en yüksek 8 nolu örnekte 2,73 km/s, en düşük ise 2 nolu örnekte 2,02 km/s olarak ölçülmüştür. Piroklastik kayaçların UCS değerleri, geniş bir aralıkta olup, 6,87-59,71 MPa arasında değişmektedir. ISRM [38] UCS sınıflamasına göre, örnekler “düşük -yüksek dayanımlı kaya” sınıfındadır. Bu çalışmada kullanılan örneklerin özdirenç değerleri ise 37,97  $\Omega$ m<sup>2</sup>/m ile 504,18  $\Omega$ m<sup>2</sup>/m arasında değişmektedir.

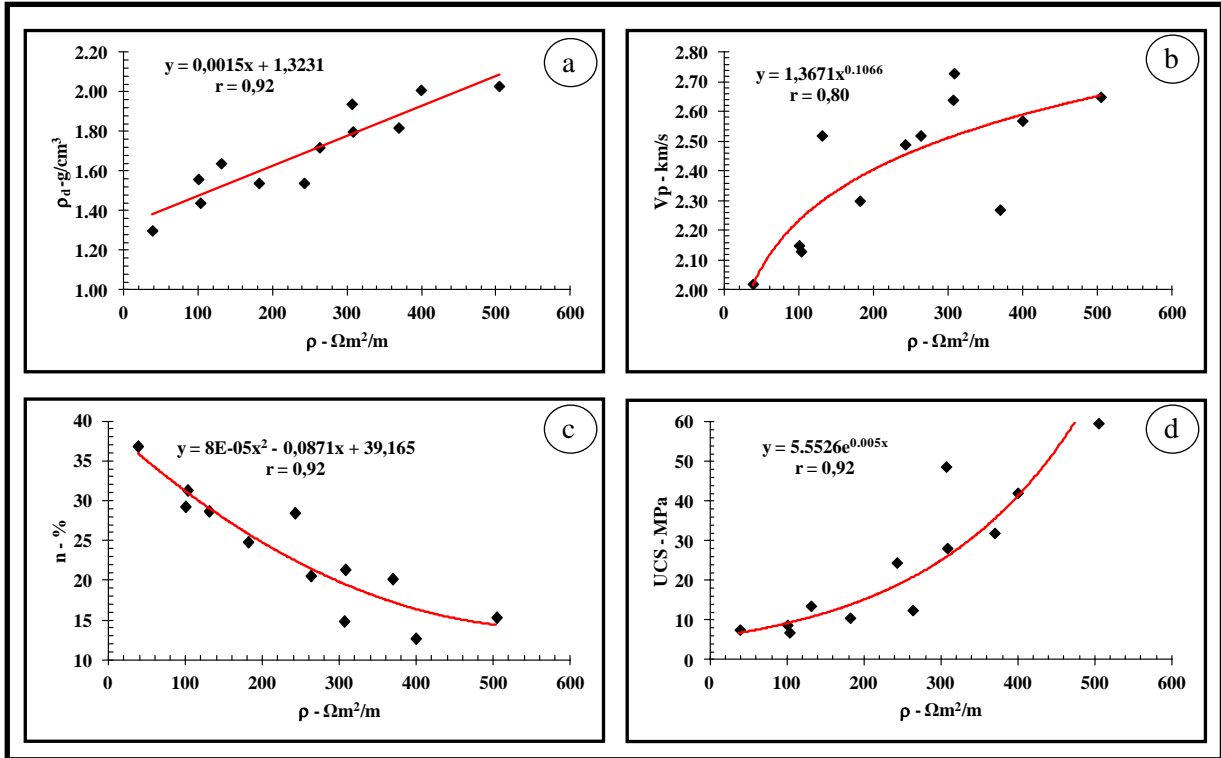
Kayaç örneklerinin indeks (kuru yoğunluk, gözeneklilik, p dalga hızı) ve UCS değerleri ile elektrik özdirenç değerleri arasındaki ilişkiler, basit regresyon (doğrusal, üst, üstel, logaritmik ve polinom) analizleriyle incelenmiştir. Elde edilen eşitliklerin % 5 önem düzeyi ( $\alpha=0,05$ ) güvenilirliği için, p değerinin 0,05 den küçük olması şartı aranmıştır. Bu şartı sağlayan en anlamlı eşitliğin belirlenmesinde ise belirleme katsayısı (r) en yüksek olan eşitlik tercih edilmiştir. Geliştirilen eşitlikler Tablo 4’de verilmiştir. Kayaç örneklerinin elektrik özdirenç değerleri ile indeks-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler Şekil 4’de grafik olarak sunulmuştur. Geliştirilen denklemlerin geçerliliği varyans incelemesi ile denetlenmiş ve sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir. % 5 önem düzeyinde ( $\alpha=0,05$ ), edinilen istatistiksel modellerin piroklastik kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin tahmininde güvenilir olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 4** Örneklerin elektrik özdirenç değerleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler

Kayaç Özellikleri	Eşitlikler	r
Gözeneklilik (n)	$n = 8 * 10^{-5} * \rho^2 - 0,0871 * \rho + 39,165$	0,92
Kuru yoğunluk ( $\rho_d$ )	$\rho_d = 0,0015 * \rho + 1,3231$	0,92
P dalga hızı ( $V_p$ )	$V_p = 1,3671 * \rho^{0,1066}$	0,80
Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS)	$UCS = 5,552 * e^{0,005*\rho}$	0,92

**ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİYLE PİROKLASTİK KAYAÇLARIN İNDEKS-DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

İncelenen kayaçların kuru yoğunlukları ile elektrik özdirenç değerleri arasında doğrusal bir ilişki belirlenmiş olup, r değeri 0,92 dir (Şekil 4.a). Kayaçların kuru yoğunluk değerlerinin artışıyla elektrik özdirenç değerlerinin de arttığı görülmüştür. P-dalga hızı ile elektrik özdirenç değeri arasındaki ilişkide r değeri 0,80 olarak bulunmuştur (Şekil 4,b). P-dalga hızı kayaçın dokusal özelliklerine (tane boyutu, gözeneklilik, vb) bağlı olarak değişmektedir [39]. Bu çalışmada eğriden sapan noktalara ait kayaç örnekleri incelendiğinde P-dalga hızını doğrudan etkileyen özelliklerinden biri veya birkaçının varlığı belirlenmiştir. Gözeneklilik ile elektrik özdirenç değerleri arasında r değeri 0,92 olan polinomsal bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.c). Kayaç örneklerinin gözeneklilik değerleri artarken, özdirenç değerleri azalmaktadır. UCS ile elektrik özdirenç değerleri arasında r değeri 0,92 olan üstel bir ilişki saptanmıştır. Piroklastik kayaç örneklerinin UCS değerleri artarken elektrik özdirenç değerleri de artmaktadır (Şekil 4.d).



**Şekil 4** Örneklerin elektrik özdirenç değerleri ile indeks-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler. a) kuru yoğunluk; b) P dalga hızı; c) gözeneklilik; d) tek eksenli sıkışma dayanımı

**Tablo 5** Elde edilen modellerin varyans analizi

Kayaç özellikleri	r	t test	F test	p < 0,05
n	0,92	-3,265	25,583	0,000
$\rho_d$	0,92	7,314	53,499	0,000
$V_p$	0,80	4,250	18,064	0,002
UCS	0,92	7,323	53,626	0,000

**5. SONUÇLAR**

Kapadokya bölgesinden alınan 12 farklı piroklastik kayaç örneğinin indeks-mekanik özellikleri ile elektrik özdirençleri arasındaki ilişkileri ortaya koyma amacı ile yapılan bu araştırmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Piroklastik kayaçların elektrik özdirenç değerleri ile gözeneklilik, kuru yoğunluk ve P-dalga hızı değerleri arasındaki en anlamlı ilişki sırasıyla polinom, doğrusal ve üssel fonksiyonlarda elde edilmiştir. Buna karşılık, aynı kayaçların elektrik özdirenç değerleri ile UCS değerleri arasındaki en anlamlı ilişki üstel fonksiyon ile sağlanmıştır. Bu veriler, kayaçların elde edilen elektrik özdirenç değerleri ile indeks-dayanım özellikleri arasında

## İ. İNCE

oldukça yüksek ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Kayaçların elektrik özdirenç değerleri, kuru yoğunluk ve P-dalga hızının artışıyla artarken, gözenekliliğin artışıyla azalmaktadır. Buna karşılık, elektrik özdirenç değerleri UCS değerlerinin artışıyla uyumlu bir şekilde üstel olarak artmaktadır.

Kayaçlar için elektrik özdirenç yöntemi, basit, hızlı, tahribatsız, ekonomik ve tekrar edilebilir bir yöntemdir. Bu yöntemin özellikle örnek almanın zor, olanaksız veya sınırlı olduğu kayaçlarda, tarihi ve kültürel yapılarda, kayaçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde çalışmaya hız kazandıran ve çalışma maliyetini azaltan bir yaklaşım olabileceği düşünülmektedir.

**TEŞEKKÜR**

Makaleye görüş ve eleştirileri ile katkı sağlayan hakemlere teşekkürlerimi sunarım.

**KAYNAKLAR**

- [1] BOYCE, R., E., “Electrical resistivity of modern marine sediments from the Bering Sea”, *Journal of Geophysical Research*, 73, 4759-4766, 1968.
- [2] KERMABON, A., GEHİN, C., BLAVIER, P., “A deep-sea electrical resistivity probe for measuring porosity and density of unconsolidated sediments”, *Geophysics*, 34, 554-571, 1969.
- [3] KELLER, G.,V., “Engineering applications of electrical geophysical methods, Subsurface Exploration for Underground Excavation and Heavy Construction”, ASCE, 128-143, 1974.
- [4] MATSUİ, T., PARK, S.G., PARK, M.K., MATSUURA, S., “Relationship Between Electrical Resistivity and Physical Properties of Rocks”, In *Proceedings of an International Conference on Geotechnical & Geological Engineering*, 19-24. Melbourne, Australia, 2000.
- [5] KHAİRİ, H., HARİTH, Z.Z.T., “Influence of pore geometry, pressure and partial water saturation to electrical properties of reservoir rock: Measurement and model development”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 78, 687-704, 2011.
- [6] RAHMAN, T., LEBEDEV, M., ZHANG, Y., BARİFCANİ, A., IGLAUER, S., “Influence of Rock Microstructure on its Electrical Properties: An Analysis Using X-ray Microcomputed Tomography”, *Energy Procedia* 114, 5023-5031, 2017.
- [7] LİERA, F., SATO, M., NAKATSUKA, K., YOKOYAMA, H., “Temperature dependence of the electrical resistivity of water-saturated rocks”, *Geophysics*, 55, 576-585, 1990.
- [8] MOSTAFA, M., AFİFY, N., GABER, A., ABOZİD, E., “Electrical Resistivity of Some Basalt and Granite Samples from Egypt”, *Egyptian Journal of Solids*, 26, 25-32, 2003.
- [9] ZHANG, W., SUN, Q., ZHU, S., HAO, S., “The effect of thermal damage on the electrical resistivity of sandstone”, *Journal of Geophysics and Engineering*, 14, 255-261, 2017.
- [10] GOKHALE, C.S., “Studies on strength, deformation and electrical resistivity behaviour of certain sedimentary rocks”, Ph.D. thesis, Indian Institute of Technology, Delhi, India, 1999.
- [11] SUN, Q., ZHU, S., XUE, L., “Electrical resistivity variation in uniaxial rock compression”, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1869-1880, 2015.
- [12] KATE, J., STHAPAK, A., “Engineering behaviour of certain Himalayan rocks”, *The 35th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*, 783-788. Reno, Nevada, 1995.
- [13] KAHRAMAN, S., ALBER, M., “Predicting the physico-mechanical properties of rocks from electrical impedance spectroscopy measurements”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 43, 543-553, 2006.
- [14] KAHRAMAN, S., OGRETİCİ, E., FENER, M., YEKEN, T., “Predicting the physico-mechanical properties of igneous rocks from electrical resistivity measurements”, *Eurorock’06, European Regional ISRM Symposium*, 557-560, Liege, Belgium, 2006.
- [15] KAHRAMAN, S., YEKEN, T., “Electrical resistivity measurement to predict uniaxial compressive and tensile strength of igneous rocks”, *Bulletin of Materials Science*, 33, 731-735, 2010.
- [16] SU, O., MOMAYEZ, M., “Indirect estimation of electrical resistivity by abrasion and physico-mechanical properties of rocks”, *Journal of Applied Geophysics*, 143, 23-30, 2017.
- [17] BABA, A., KAYA, A., TÜRK, N., “Fairy chimneys Cappadocia and their engineering properties”, *Journal of Applied Sciences*, 5(5), 800-805, 2005.
- [18] KORKANÇ, M., “İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir taşı”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1), 49-60, 2007.



*ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİYLE PİROKLASTİK KAYAÇLARIN İNDEKS-DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ*

- [19] YASAR, E., TOLGAY, A., TEYMEN, A., “Industrial usage of Nevşehir-Kayseri (Turkey) tuff stone”, World Applied Sciences Journal, 7(3), 271-284, 2009.
- [20] KORKANÇ, M., SOLAK, B., “Estimation of engineering properties of selected tuffs by using grain/matrix ratio”, Journal of African Earth Sciences, 120, 160-172, 2016.
- [21] TOPAL, T., DOYURAN, V., “Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey”, Environmental Geology, 34(1), 5-20, 1998.
- [22] ERGÜLER, Z.A., “Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs”, Engineering Geology, 105, 186-199, 2009.
- [23] KORKANÇ, M., “Deterioration of different stones used in historical buildings within Niğde province, Cappadocia”, Construction and Building materials, 48, 789-803, 2013.
- [24] ÖZBEK, A., “Investigation of the effects of wetting-drying and freezing-thawing cycles on some physical and mechanical properties of selected ignimbrites”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73(2), 595-609, 2014.
- [25] İNCE İ., FENER M., GÖKÇE M.V., “The effects of freeze-thaw cycles on pyroclastic rocks used in Gümüşler Monastery, Niğde”, Recent Advances in Earth Sciences, Environment and Development Turkey, 4th International Conference on Sustainable Tourism and Cultural Heritage (STACH '15), 135-139. Konya, Turkey, 2015.
- [26] İNCE, İ., FENER, M., “A prediction model for uniaxial compressive strength of deteriorated pyroclastic rocks due to freeze–thaw cycle”, Journal of African Earth Sciences, 120, 134-140, 2016.
- [27] ÖZŞEN, H., BOZDAĞ, A., İNCE, İ., “Effect of salt crystallization on weathering of pyroclastic rocks from Cappadocia, Turkey”, Arabian Journal of Geosciences, 10(258), 1-8, 2017.
- [28] TOPAL, T., DOYURAN, V., “Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff”, Engineering Geology, 47, 175-187, 1997.
- [29] ULUSAY, R., GOKÇEOĞLU, C., TOPAL, T., SONMEZ, H., TUNCAY, E., ERGÜLER, Z. A., KASMER, O. “Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urgüp (Cappadocia), Turkey”, Environmental Geology, 50(4), 473-494, 2006.
- [30] KORKANÇ, M., TUĞRUL, A., SAVRAN, A., ÖZGÜR, F.Z., “Structural–geological problems in Gümüşler archeological site and monastery”, Environmental Earth Sciences, 73(8), 4525-4540, 2015.
- [31] TOPRAK, V., “Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocian Volcanics, Turkey”, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 55-67, 1998.
- [32] TEMEL, A., GUNDOĞDU, M.N., GROUND, A., Le PENNEC, J.L., “Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia Turkey): petrology and geochemistry”, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 447-471, 1998.
- [33] TEMEL, A., “Kapadokya eksploziv volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri”, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1992.
- [34] TOPRAK, V., KELLER, J., SCHUMACHER, R., “Volcano-tectonic Features of the Cappadocian Volcanic Province”, International Volcanological Congress-Excursion Guide, 58. Ankara, Turkey, 1994.
- [35] ISRM, The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006 (ed., Ulusay, R&Hudson, J.), ISRM Turkish National Group, Ankara (Turkey), 2007.
- [36] ASTM, D2938, Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 1986.
- [37] NBG, Engineering Geology and Rock Engineering, Norwegian Group of Rock Mechanics, Fornebu, Norway, 1985.
- [38] ISRM, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials, In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 16, 135-140, 1979.
- [39] FENER, M., “The effect of rock sample dimension on the P-wave velocity”, Journal of Nondestructive Evaluation, 30, 99-105, 2011.