



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://febed.mehmetakif.edu.tr>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4 (2): 13-19 (2013)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Kaya Malzemesinin Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısının Dolaylı Yöntemlerle İrdelenmesi

Kadir Karaman, Ferdi Cihangir, Ayhan Kesimal

Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Geliş Tarihi (Received): 22.06.2013, Kabul Tarihi (Accepted): 16.10.2013

✉ Yazışmalardan sorumlu yazar (corresponding author): kadirkaraman@ktu.edu.tr (K. Karaman)

☎ 0462 377 42 64 📠 0462 325 7405

ÖZET

Kayaların makaslama dayanım parametreleri (kohezyon, c , ve içsel sürtünme açısı, ϕ), kaya mühendisliği projelerinin tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, bu parametrelerin belirlenmesi deneyim gerektiren, zahmetli ve pahalı bir işlemdir. Bu nedenle bu çalışmada, kaya malzemelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açılarının pratik yönden tahmini amaçlanmıştır. Bu amaçla 24'ü magmatik, 8'i metamorfik ve 5'i tortul kaya olmak üzere bir tünel güzergâhında 37 farklı noktadan alınan farklı kaya türü örnekleri üzerinde tek (TEBD) ve üç eksenli basınç dayanımı (ÜEBD) ile dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı (DÇD) deneyleri yapılmıştır. Kohezyon ve içsel sürtünme açıları deneysel olarak; i) ÜEBD ile ii) TEBD ve DÇD deneylerinden elde edilmiştir. Mohr Coulomb yenilme kriterine göre ÜEBD'nden doğrudan, TEBD ve DÇD deneylerinin sonuçları kullanılarak dolaylı yoldan elde edilen c ve ϕ değerleri arasında korelasyon analizleri yapılmıştır. Analizlere göre c değerlerinin, ÜEBD deneyine gerek kalmadan, DÇD ve TEBD değerleri kullanılarak güçlü bir şekilde tahmin edilebileceği anlaşılmıştır ($r = 0.94$). Ancak, tahmini ve ölçülmüş ϕ değerleri arasında ilişki elde edilememiştir. Bu nedenle projelerin ön analizlerinde kullanılmak üzere ϕ tahmini için farklı yaklaşımlar önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kohezyon, İçsel sürtünme açısı, Mohr Coulomb yenilme kriteri, Üç eksenli basınç dayanımı

Investigation of Cohesion and Internal Friction Angle of Rock Materials by Indirect Methods

ABSTRACT

Shear strength parameters (cohesion (c) and angle of internal friction (ϕ)) of rocks are widely used for rock engineering projects such as tunneling and slope stability. However, direct determination of these parameters is expensive, troublesome and requires technical experience. Therefore, this study aimed to estimate c and ϕ of the rocks through a practical approach. For this purpose, uniaxial compressive strength (UCS), triaxial compressive strength (TCS) and Brazilian tensile strength (BTS) experiments were performed on the rocks which were sampled at different thirty seven points along a tunnel alignment, of which 24 were igneous, 8 were metamorphic, and 5 were sedimentary. c and ϕ were experimentally obtained by TCS, UCS and BTS experiments. Correlation analyses were made between c and ϕ values obtained from TAC (direct), UCS and BTS experiments (indirect) based on the Mohr Coulomb failure criteria. According to the analyses, it was revealed that the c values would be strongly predicted with BTS and UCS values ($r = 0.94$) without using TCS experiment. However, no relationship was obtained between the

estimated and measured ϕ . Therefore, different approaches were suggested in terms of ϕ estimation for the preliminary design of projects.

Key words: Cohesion, Internal friction angle, Mohr Coulomb failure criteria, Triaxial compressive strength

1. GİRİŞ

Kayaların mekanik özellikleri (TEBD, DÇD, vd.) ve makaslama dayanım parametreleri (c ve ϕ), madencilik, inşaat ve mühendislik jeolojisi çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. TEBD, hem Uluslararası Kaya Mekanik Birliği (ISRM, 2007), hem de Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM, 1986) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Kayaların makaslama gerilmesi altında gelişen deformasyona karşı gösterdiği direnci belirlemek için kullanılan c ve ϕ kaya malzemesinin litolojik özelliği ve anizotropisi gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Yang ve ark., 2011). Kaya malzemesinin makaslama ve ÜEBD deneyleri ile ASTM (2004) ve ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Madencilik uygulamalarında, ÜEBD deneyi yaygın kullanıma sahiptir.

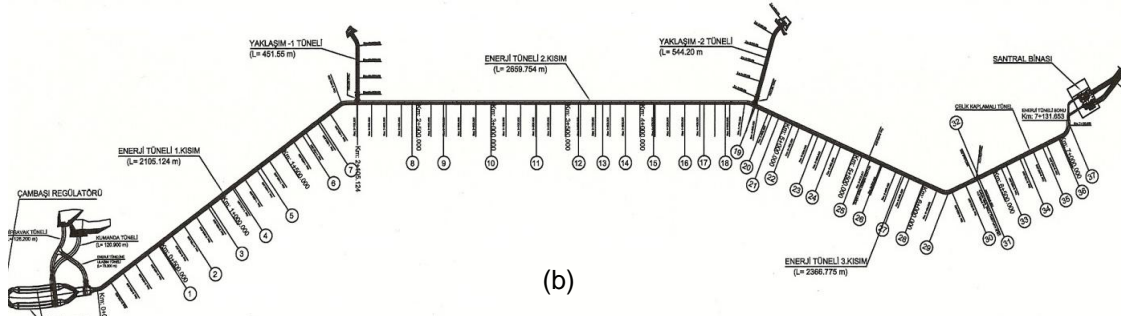
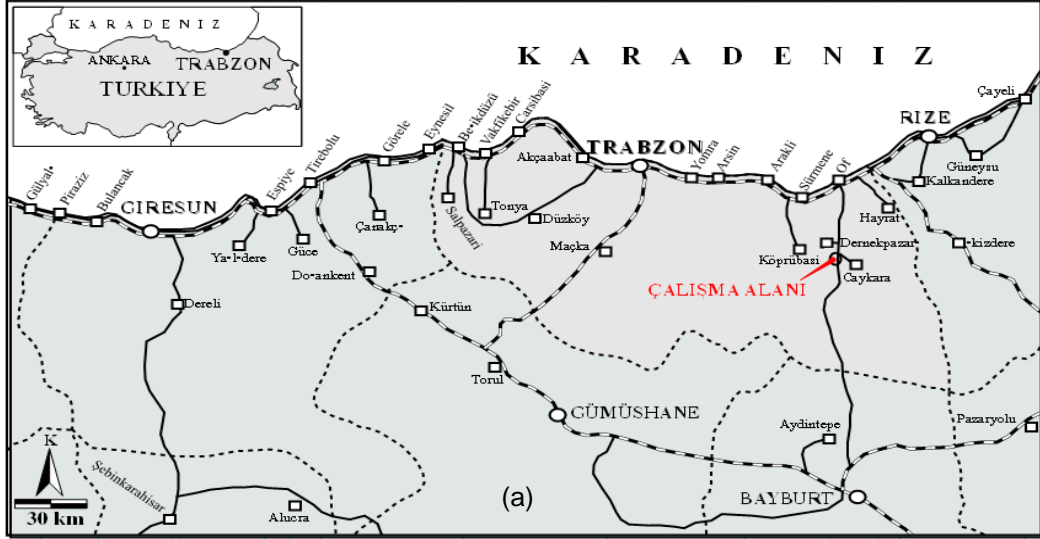
Ancak, TEBD ve ÜEBD deneylerinin yapılmasında pahalı ekipmanlara ve yüksek kalitede karot örneklerine ihtiyaç duyulması ve bu deneylerin oldukça zaman alması gibi nedenlerle pratikte güçlükler yaşanmaktadır (Kahraman ve Alber, 2008; Karaman ve Kesimal, 2012). Ayrıca ÜEBD deneyi için gerekli olan yanal basınç ünitesinin kullanımı ve örneklerin Hoek cell içerisine konulup alınması gibi önem ve dikkat gerektiren çalışmalar da deneyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, birçok araştırmacı, hem laboratuvarında hem de arazide kayaların TEBD değerlerini tahmin etmek amacıyla ultrasonik dalga hızı, nokta yükü dayanım indeksi, Schmidt çekici geri sıçrama deneyleri gibi daha pratik ve ekonomik deney yöntemlerinden yararlanmışlardır (Tuğrul ve Zarif, 1999; Kahraman, 2001; Yağız, 2009; Altındağ, 2012; Karaman ve Kesimal, 2013; Karaman ve Kesimal, 2014). Bununla birlikte, TEBD ve DÇD deneylerinde Hoek hücrelerine ve yanal basınç ünitesine gerek olmadığından dolayı ÜEBD deneyine göre kolay olduğu uygulayıcılar tarafından bilinmektedir. DÇD deneyinde ise kullanılan ekipmanın ÜEBD ve doğrudan çekme deneylerine göre daha pratik ve ucuz oluşu ayrıca daha az dikkat gerektiren bir deney olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilmektedir (Hobbs, 1964; Mellor ve Hawkes, 1971; Hudson ve ark., 1972; Bieniawski ve Hawkes, 1978; Coviello ve ark., 2005; Li ve ark., 2013). Ancak kayaların makaslama dayanım

parametrelerinin (c ve ϕ) dolaylı yoldan tahminine yönelik literatürdeki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, bir tünel güzergahının 37 farklı noktasından alınan farklı türde kaya örneklerinin c ve ϕ değerlerini ÜEBD deneyi ile belirlemek ve bu parametrelerin daha kolay elde edilebilmesine yönelik literatürde var olan (ÜEBD yapma olanağı bulunmadığı durumlarda TEBD ve DÇD deneylerinin sonuçlarından yararlanılarak c ve ϕ 'nin dolaylı olarak belirlenmesi) bir yöntemin güvenilir bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağına kontrolünü yapmaktır. Ancak söz konusu yöntem ile ilgili ayrıntılı bir uygulamaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmayı veri sayısının fazla olması ve farklı jeolojik kökenden kayaları içermesi güçlü kılmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, bir HES tüneline (Çaykara/Trabzon) alınan 24'ü magmatik, 8'i metamorfik ve 5'i tortul kaya olmak üzere toplam 37 farklı kaya türü üzerinde çalışılmıştır (Şekil 1). Arazide her blok örneğinin makroskopik incelemeleri yapılarak çatlak, kırık ve bozunmaya uğramış kesimlerden örnek alınmamasına özen gösterilmiştir. Deneyler taze ve sağlam karot örnekler üzerinde yapılmıştır.

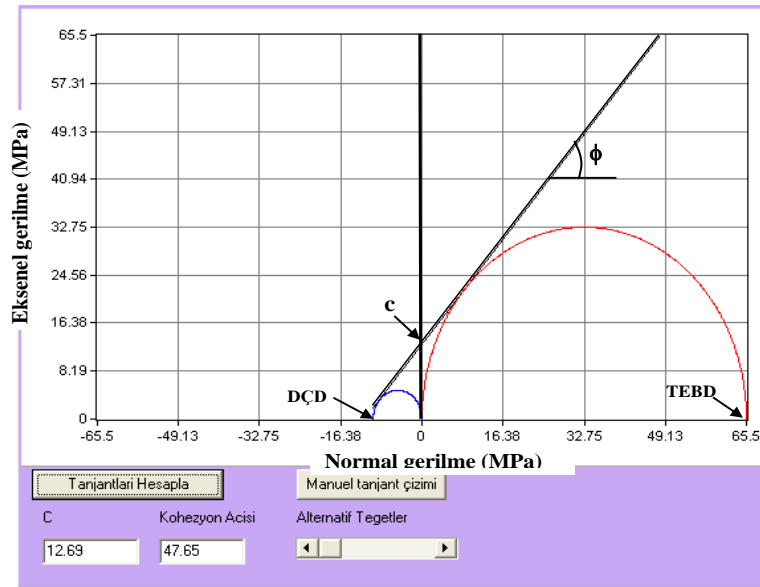
Laboratuvarında karot alma ve düzeltme makineleri deney örneklerinin hazırlanması için kullanılmıştır. TEBD, DÇD ve ÜEBD deneyleri karot örnekleri üzerinde ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. TEBD deneylerinde boy/çap (L/D) oranı 2.5 olan NX (54.7 mm) çaplı karot örnekleri kullanılmıştır. Deneyler, 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres ile yükleme hızı 0.75 MPa/s olacak şekilde uygulanmıştır. DÇD deneyleri, L/D oranı 0.5 ve deney esnasında ortalama yükleme hızı 200 N/s olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir örnekleme noktasına ait TEBD için 5 adet, DÇD için 10 adet örnek deneye tabi tutularak ortalaması alınmıştır. ÜEBD deneylerinde her bir örnekleme noktası için 6 örnek 3 farklı yanal basınç altında (5–15 MPa) deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonuçları Tablo1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (a) ve tünel güzergâhındaki örnekleme lokasyonları (b)

Bu çalışmada, ortalama TEBD (yanal basıncın 0 olduğu durum) ve yukarıda bahsi geçen diğer üç yanal basınç (5–15 MPa) için elde edilen ÜEBD değerleri yardımıyla toplam 4 farklı noktaya ait eğriler çizilmiştir. Dört noktaya ait deney bulgularını kullanarak doğrusal Mohr–Coulomb kriteri ile kayalara ait c ve ϕ değerleri (ölçülen/deneysel c ve ϕ) bulunmuştur. Pratik/dolaylı

yoldan c ve ϕ değerlerinin tahmininde ise Şekil 2’de gösterilen bilgisayar paket programı yardımı ile yalnızca DÇD ve TEBD değerleri esas alınmıştır. Deney sonuçları ile dolaylı olarak bulunan c ve ϕ değerleri (c^d ve ϕ^d) Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. c ve ϕ değerlerinin DÇD ve TEBD ile dolaylı yoldan belirlenmesi (örnek gösterim)

Tablo 1. Deneyleerde kullanılan kaya türleri ve bunların jeomekanik özelliklerinin ortalama değerleri

Kaya türü no.	Örnek noktaları (km)	Kaya türü	TEBD (MPa)	DÇD (MPa)	c ^o (MPa)	φ ^o (der.)	c ^d (MPa)	φ ^d (der.)
1	0+495.10	Bazalt	197	34.4	36	50	41.2	44.6
2	0+702.00	Metabazalt	158	26.3	32	46	32.2	45.6
3	0+919.00	Metabazalt	66	9.36	15	41	12.4	48.7
4	1+110.00	Metabazalt	146	22.4	22	56	28.6	47.2
5	1+325.00	Metabazalt	133	20.64	28	44.5	26.2	47.0
6	1+675.00	Bazalt	95	14.7	21	43	18.7	47.1
7	1+813.80	Bazalt	115.3	22.5	24.5	44	25.5	42.3
8	2+473.00	Bazalt	152.4	23.7	30	47	30.1	47.0
9	2+677.00	Metabazalt	96	18.6	24	37	21.1	42.5
10	3+005.00	Metabazalt	111	16.8	27	39	21.6	47.5
11	3+310.00	Metabazalt	71	15.95	17	43	16.8	39.3
12	3+580.00	Metabazalt	81	14.88	18	43	17.4	43.6
13	3+743.00	Bazalt	75	12.15	14	49	15.1	46.2
14	3+901.00	Bazalt	34	4.4	8	43	6.1	50.4
15	4+090.00	Dasit	61	5.7	14	43	9	56.0
16	4+300.00	Bazalt	87	10.48	19	43	18.9	43.0
17	4+427.00	Dasit	61	5.33	14	40	9.3	57.0
18	4+572.00	Dasit	72	5.84	18	37	10.2	58.0
19	4+772.00	Dasit	65.5	9.83	14	44	12.7	47.7
20	4+874.00	Dasit	56	6.61	11	47	9.6	52.1
21	4+950.00	Kireçtaşı	117	17.16	23	47	22.4	48.1
22	5+052.00	Kireçtaşı	92	11.06	18	45	16	51.8
23	5+235.00	Bazalt	100	16.11	20.7	45	20.1	46.3
24	5+350.00	Kireçtaşı	91	12.67	19	44.5	17	49.1
25	5+545.30	Kireçtaşı	75	10.78	15	50	14.2	46.2
26	5+690.00	Bazalt	77	10.92	16	45	14.5	48.7
27	5+857.50	Volkanik breş	41	5.45	11	39	7.5	49.9
28	6+005.00	Kireçtaşı	120	17.99	24	47	23.2	47.7
29	6+171.00	Bazalt+dasit	94	13.54	20	44	17.8	48.4
30	6+300.00	Bazalt	125	19.33	25	47	24.6	47.1
31	6+400.00	Dasit	68	8.55	14	49	12.1	51.0
32	6+403.00	Dasit	66	7.16	12	49	10.9	53.5
33	6+560.00	Bazalt	107	18.78	21	47	22.4	44.5
34	6+725.00	Dasit	132	20.6	25	47	26.1	46.9
35	6+873.00	Dasit	87	16.46	19	43	18.9	43.0
36	6+994.00	Dasit	110	17.1	18	54	21.7	47.0
37	7+119.80	Dasit	90	14.6	19	44	18.1	46.1

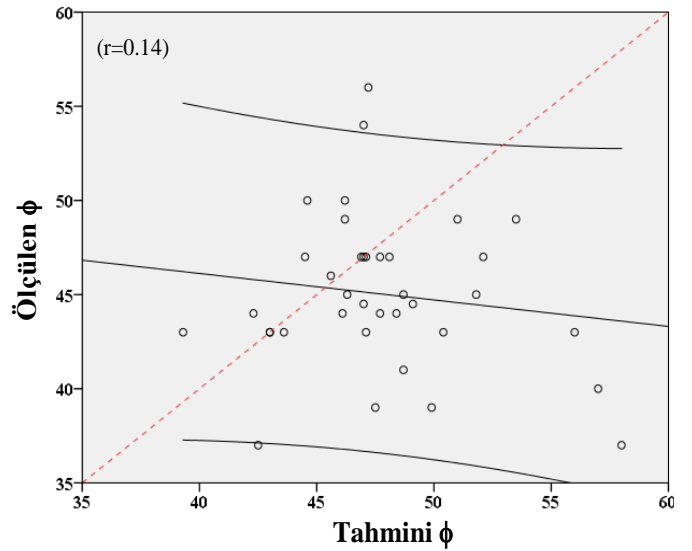
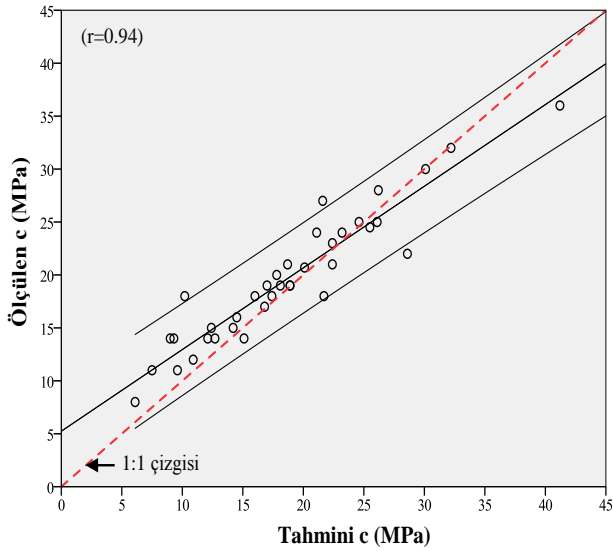
Açıklama: c^o ve φ^o: ÜEBD'den ölçülen c ve φ, c^d ve φ^d: DÇD ve TEBD'den dolaylı yoldan belirlenen c ve φ değerleridir.

3. BULGULAR ve İRDELEME

İlk aşamada ölçülmüş ve dolaylı olarak belirlenen c ve φ değerlerinin korelasyon analizleri yapılmıştır. İkinci aşamada ölçülmüş ve dolaylı olarak belirlenen c ve φ değerlerinin hangi düzeyde örtüştüğü SPSS bağımsız T testi ile araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise φ değerlerinin pratik yoldan tahminine yönelik öneriler sunulmuştur.

Ölçülen ve dolaylı olarak belirlenen c ve φ değerleri arasındaki ilişki Şekil 3'te yer almaktadır. Şekilden 3a'dan görüleceği gibi, dolaylı olarak belirlenen c değerlerinin ölçülen değerlere oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır. Tahmini ve ölçülmüş c değerleri

arasında çok yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiş (r=0.94) ve yapılan analizin %95 güven aralığında anlamlı olduğu belirlenmiştir (Şekil 3a). Ayrıca, tahmini c değerlerinin ölçülen değerlerden biraz düşük olması analizlerde güvenle kullanılabilirliğini ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte, tahmini φ değerleri ölçülen değerlerden genel olarak daha yüksek çıkmıştır. Şekil 2'deki grafikten anlaşılacağı gibi, c değerlerinin biraz düşük olması φ değerlerindeki artışa neden olmaktadır. Tahmini ve ölçülen φ değerleri arasında % 95 güven aralığında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir (r = 0.14).

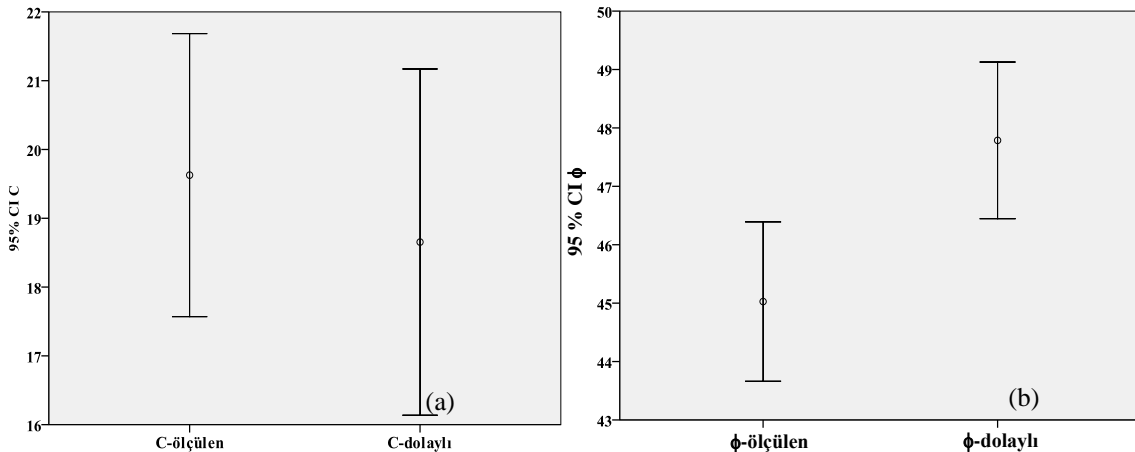
Şekil 3. Ölçülen ve tahmini c (a) ve ϕ (b) değerlerinin korelasyon analizi

Dolaylı yoldan (tahmini) ve ÜEBD deneyinden (ölçülen) tayin edilen c ve ϕ değerleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi için SPSS programı ile bağımsız veri gruplarının ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla bağımsız T testi yapılmıştır. Testten önce ölçülen ve tahmini c ve ϕ veri gruplarının normalite test edilmiştir (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test). 37 nokta için ölçülen ve dolaylı kohezyon (c) değerlerinin normalite testlerinde anlam seviyeleri sırası ile 0.781 ve 0.966 (One-Sample Kolmogorov-Smirnov normalite Testi) olarak elde edilmiş olup normal dağılım göstermektedirler. Dolayısıyla yapılan bağımsız gruplar T-testi için ölçülen ve dolaylı kohezyon değer gruplarının varyanslarının homojen olduğu (Varyansların eşitliğinin Levene's Test ile analizi; $F=1.026$ ve $Sig.:0.315$) görülmüştür. Buna göre ölçülen ve dolaylı kohezyon değer grupları arasında fark olmadığı sonucu ($t=0.607$; $Sig.(T-tailed)=0.546$; $df=72$) elde edilmiştir (Şekil 4a). Sonuç olarak TEBD ve DÇD deneylerinden elde edilen tahmini c değerlerinin kaya mühendisliği projelerinde sağlıklı bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür. Böylece, pratik ve ekonomikliği açısından ÜEBD deneylerine üstünlük sağlayan DÇD ve TEBD deneylerinin c tahmininde kullanılabileceği hem basit

korelasyon hem de (Independent samples T-test) analizleri ile doğrulanmıştır.

Ölçülen ve dolaylı içsel sürtünme açıları için değer grupları normalite testlerinde anlam seviyeleri sırası ile 0.393 ve 0.464 (One-Sample Kolmogorov-Smirnov normalite Testi) olarak elde edilmiş olup, verilerin normal dağılım gösterdiği ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla yapılan bağımsız gruplar T-testi için ölçülen ve dolaylı kohezyon değer gruplarının varyanslarının kohezyon değerlerinde olduğu gibi homojen olduğu ($F=0.062$ ve $Sig.:0.804$) görülmüştür. Yapılan T testine göre ölçülen ve dolaylı " ϕ " değer grupları arasında fark olduğu sonucu ($t=-2.925$; $Sig.(T-tailed)=0.005$; $df=72$) elde edilmiştir (Şekil 4b).

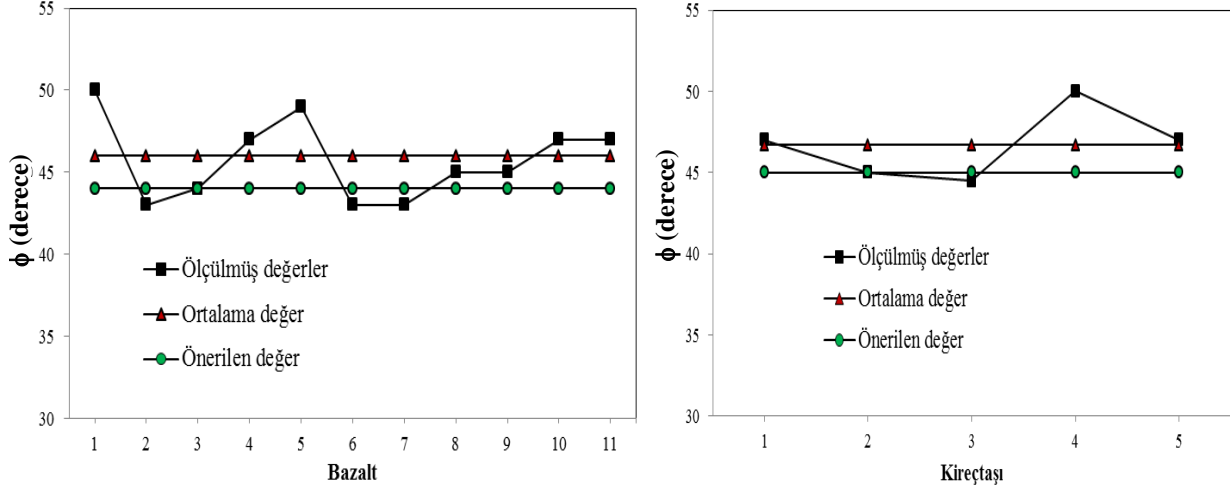
Korelasyon analizi ve bağımsız T testi, ölçülen ve tahmini c değerlerinin birbirine yakın ve grup özellikleri (ortalama, anlamlılık seviyesi, en düşük, en yüksek değer vb.) açısından da benzer olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla c değerlerinin literatürde önerildiği gibi TEBD ve DÇD'dan güvenle tahmin edilebileceği doğrulanmıştır. Ancak, tahmini ϕ değerlerinin ölçülen değerlerden biraz daha yüksek olabileceği bu çalışmada

Şekil 4. Ölçülen ve tahmini c (a) ve ϕ (b) değerlerinin bağımsız T testi

Tablo 2. ϕ değerlerinin pratik yoldan tahmin önerisi

Kaya tipi	Örnek sayısı	Φ Min.-Maks. (ort \pm std. sp.)	Önerilen Φ değerleri	C (MPa) Min.-Maks. (Ort.)
Bütün kayalar	37	37-56 (45 \pm 4)	-	-
Vulkanik kayalar	24	37-54 (45 \pm 4)	41	8-36 (19)
Bazalt	11	43-50 (46 \pm 2)	44	8-36 (21)
Dasit	11	37-54 (45 \pm 5)	40	11-25 (16)
Metabasalt	8	37-56 (44 \pm 6)	38	15-32 (23)
Kireçtaşı	5	44.5-50 (47 \pm 2)	45	15-24 (20)

Açıklama: Min: en düşük, maks: en yüksek, ort: ortalama, std. Sp: standart sapma

Şekil 5. ϕ Değerlerinin pratik tahmini (bazalt ve kireçtaşları için örnek gösterim)

anlaşılmış ve gruplar arasındaki farklılıklar da bağımsız T testi ile doğrulanmıştır. Bu nedenle özellikle projelerin ön destek tasarımı veya ön analizlerinde kullanılmak üzere ϕ değerleri için pratik tahminler önerilmiştir. Bu yaklaşımların yalnızca benzer nitelikteki kayalar için uygun olabileceğine dikkat edilmektedir. ϕ Değerleri kaya tipi ve jeolojik kökene göre farklılık arz ettiğinden, bu çalışmada kaya tipleri (bazalt, dasit, kireçtaşı vb.) ayrı ayrı ele alınmıştır. Tablo 2'de ϕ değerlerinin o grup için en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri verilmiştir. Önerilen ϕ değerleri her grup verileri için ortalamadan standart sapma değerini çıkartarak oluşturulmuş ve iki grup kayaç için Şekil 5a ve 5b'de örnek olarak gösterilmiştir. Tüm kayalar için güvenli olmayacağı kanısıyla öneride bulunulmamıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan volkanik breş sayısı yetersiz olduğundan değerlendirmeye alınmamıştır. Sonuç olarak üç eksenli basınç dayanımının yapılamadığı durumlarda DÇD ve TEBD deneylerinden elde edilen ϕ değerlerinin, gerçek değerlerden yüksek olabileceğine dikkat edilmeli ve dikkatle kullanılmalıdır. Bu çalışmada c değerlerinin bütün analizlerde güvenle tahmin edilebileceği görülmüştür. Bu nedenle, Tablo 2'deki kohezyon değer aralıkları ayrıca dikkate alınarak pratik yoldan ϕ değerleri söz konusu kayaç tipleri için tahmin edilebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir HES tünel güzergâhındaki 37 farklı noktadan alınan kayaç örnekleri üzerinde TEBD, ÜEBD ve DÇD deneyleri yapılmıştır. ÜEBD deneyi ile ölçülen c ve ϕ değerleri, DÇD ve TEBD deneyleri ile tahmini c ve ϕ

değerleri elde edilmiştir. SPSS bağımsız T-testi ve basit korelasyon analizlerine göre ölçülen ve tahmin edilen c değerlerinin birbirine benzerlik arz ettiği ve aralarında çok yüksek korelasyona sahip oldukları görülmüştür. Dolayısıyla c'nin ÜEBD deneyine gerek kalmadan, DÇD ve TEBD değerleri kullanılarak Mohr zarfı yardımı ile güçlü bir şekilde tahmin edilebileceği doğrulanmıştır. Ölçülen ve tahmini ϕ değerleri arasında T-testi ve basit korelasyon analizlerine göre bir ilişki kurulamamıştır. Bu nedenle özellikle projelerin ön destek tasarımı veya ön analizlerinde kullanılmak üzere ϕ değerleri için pratik tahminler c değer aralıkları da dikkate alınarak önerilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yürütülmesine katkıda bulunan Enerji-Sa A.Ş.'ye ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonuna (Proje no: 9706) teşekkür ederler.

5. KAYNAKLAR

- Altındağ, R. (2012). Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *The Southern Afr. Inst. Min. Metall.* 112: 229-237.
- ASTM, (1986). Standard test method of unconfined compressive strength of intact rock core specimens. D2938.
- ASTM, (2004). Standard test method for triaxial compressive strength of undrained rock core specimens without pore pressure measurements. D2664.

- Bieniawski, Z.T., Hawkes, I. (1978) Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 15: 99-103.
- Coviello, A., Lagioia, R., Nova, R., (2005). On the measurement of the tensile strength of soft rocks. *Rock Mech. Rock Eng.* 38 (4): 251–273.
- Hobbs, D.W., (1964). The Strength and the Stress-Strain Characteristics of Coal in Triaxial Compression. *Journal of Geology*, 72: 214-231.
- Hudson, J.A., Rummel, F., Brown, E.T., (1972). The controlled failure of rock disks and rings loaded in diametral compression. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 9: 241-248.
- ISRM., (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey. 628 pp.
- Kahraman, S., (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 38:991-994.
- Kahraman, S., Alber, M., (2008). Triaxial strength of a fault breccia of weak rocks in a strong matrix. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 67:435–441.
- Karaman, K., Kesimal, A., (2012). Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde nokta yükü deney yöntemleri ve porozitenin değerlendirilmesi, *Madencilik*, 51 (4): 3–14.
- Karaman, K., Kesimal, A. (2013). Evaluation of the influence of porosity on the Engineering properties of volcanic rocks from the Eastern Black Sea Region: NE Turkey, *Arab. J. Geosci.* DOI 10.1007/s12517-013-1217-6.
- Karaman, K., Kesimal, A., (2014). A comparative study of Schmidt hammer test methods for estimating the uniaxial compressive strength of rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. DOI: 10.1007/s10064-014-0617-5.
- Li, D., Ngai, L., Wong, Y., (2013). The Brazilian Disc Test for Rock Mechanics Applications: Review and New Insights. *Rock Mech. Rock Eng.* 46:269-287.
- Mellor, M., Hawkes, I., (1971). Measurement of tensile strength by diametral compression of discs and annuli. *Engineering Geology*, 5:173-225.
- Tugrul, A., Zarif, I.H., (1999). Correlation of mineralogical and textural characteristics with Engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Eng. Geol.*, 51:303–317.
- Yagiz, S., (2009). Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. *Bull. Eng. Environ.*, 68:55–63.
- Yang, S.Q., Jing, H.W., Li, Y.S., Han, L.J., (2011). Experimental investigation on mechanical behavior of coarse marble under six different loading paths. *Experimental Mechanics*, 51:315–334.
-