

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DÖNÜŞÜM FAKTÖRÜ VE DAYANIM ORANININ BAZALT KAYACININ VE BAZALT
AGREGALI BETONUN DAYANIM TAHMİNİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oumar YOUSOUF MAHAMAT TAHİR

**MAYIS 2022
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DÖNÜŞÜM FAKTÖRÜ VE DAYANIM ORANININ BAZALT KAYACININ VE BAZALT
AGREGALI BETONUN DAYANIM TAHMİNİNDE KULLANIMI**

Oumar YOUSOUF MAHAMAT TAHİR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
“MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 / 04 / 2022
Tezin Savunma Tarihi : 30 / 05 / 2022**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Kadir KARAMAN

ÖNSÖZ

“Dönüşüm faktörü ve dayanım oranının bazalt kayacının ve bazalt agregalı betonun dayanım tahmininde kullanımı” başlıklı olan bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, planlanmasında ve çalışmalarının yürütülmesinde her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam sayın Doç. Dr. Kadir KARAMAN’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Yüksek Lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmam bana her türlü yardımlarını ve göstermiş olduğu katkılardan dolayı Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR, Prof. Dr. Bayram ERÇIKDI ve bölümdeki hocalarıma da teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmaların yürütülmesinde her türlü yardım ve ilgiyi gösteren herkese de sonsuz müteşekkirim.

Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, özellikle Covid-19 salgın döneminde yurt dışında eğitim görmemi sağlayan kıymetli aileme, annem KALTOUMA ve babam YOUSSEUF’a sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Türkiye’de okumama vesile olan Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığına da dünyanın çeşitli dilleriyle teşekkürlerimi sunarım.

Oumar YOUSSEUF MAHAMAT TAHİR
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dönüşüm faktörü ve dayanım oranının bazalt kayacının ve bazalt agregalı betonun dayanım tahmininde kullanımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Kadir KARAMAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/05/2022.

Oumar YOUSSEUF MAHAMAT TAHIR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	1
1.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Önceki Çalışmalar.....	3
1.3.1. Nokta Yüğü Dayanımından Kaya ve Beton Dayanımının Kestirimi	3
1.3.2. Dolaylı Çekme Dayanımından Kaya ve Beton Dayanımının Kestirimi	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
2.1. Kaya Örneklerinin Hazırlanması.....	8
2.2. Kaya Malzemelerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri	9
2.2.1. Kayacın Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	9
2.2.2. Kayacın Brazilian Çekme Deneyi	10
2.2.3. Kayacın Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi	11
2.2.4. Birim Hacim Ağırlığı Deneyi.....	14
2.3. Beton Örneklerinin Hazırlanması.....	17
2.4. Beton Örneklerde Yapılan Çalışmalar	18
2.4.1. Agregaların Elek Analizi	18
2.4.2. Betonun Mekanik Özellikleri (UCS _c , PLI _c ve BÇD _c)	21
2.4.2.1. Betonun Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	21
2.4.2.2. Betonun Brazilian Çekme Dayanımı Deneyi	22
2.4.2.3. Betonun Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi.....	23
3. BULGULAR VE İRDELEME.....	27

3.1.	Mineralojik Analizler	27
3.2.	UCS _R ve PLI _R Arasındaki İlişki	28
3.3.	UCS _R ve BÇD _R Arasındaki İlişki	34
3.4.	Kür Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi	36
3.5.	UCS _C ve PLI _C Arasındaki İlişki	39
3.6.	UCS _C ve BÇD _C Arasındaki İlişki	40
3.7.	Kaya ve Beton Örneklerinde K ve R Katsayılarının Kıyaslanması	42
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
5.	KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ		



ÖZET

DÖNÜŞÜM FAKTÖRÜ VE DAYANIM ORANININ BAZALT KAYACININ VE BAZALT AGREGALI BETONUN DAYANIM TAHMİNİNDE KULLANIMI

Oumar YOUSOUF MAHAMAT TAHIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Kadir KARAMAN
2022, 53 Sayfa

Bu tezin amacı tek bir kaya türü (Karadeniz bölgesinde farklı yerlerinden toplanmış 5 bazalt) ve aynı kayalardan farklı kür sürelerinde (2, 7, 14 ve 28 gün) üretilmiş beton üzerinde dönüşüm faktörü (k) ve dayanım oranını (R) detaylı olarak incelemektir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS_R) ve nokta yük dayanım indeksi (PLI_R) değerleri arasında elde edilen k değerinin ortalaması 17.1 olarak hesaplanmıştır. Literatürden ve bu tez çalışmasından bazaltlara yönelik detaylı araştırma yapılmış ve UCS_R tahmini için önerilen k katsayılarının 17–20 aralığında olabileceği istatistiksel olarak önerilmiştir. Kayaçların dayanım oranı (R) bu çalışmada 10.3 olarak bulunmuş ve bu değerin literatür ile benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Literatürden ve bu tez çalışmasından bazaltlara yönelik detaylı araştırma yapıldığında ise R katsayılarının ortalama 10.5 olduğu görülmüştür. Bazalt kayaçlarının agregalarından oluşturulan betonun kür süresi üzerine UCS_C , PLI_C ve Brazilian çekme dayanım ($BÇD_C$) parametresinin etkisi araştırılmıştır. Kür süresi arttıkça UCS_C , PLI_C ve $BÇD_C$ değerleri de artmıştır. UCS_C tahmini için PLI_C parametresinin katsayıları (k) oldukça dar bir aralıkta (7.2–9.5) değişmiştir. UCS_C tahmini için $BÇD_C$ parametresinden elde edilen R oranları da oldukça dar bir aralıkta (4.3–5.5) değişmiştir. Ortalama k değeri bütün kür süreleri için 8.2 olarak elde edilmiştir. Ortalama R değeri bütün kür süreleri için 5 olarak elde edilmiştir. k ve R oranlarının kayaç örneklerinde beton örneklerine kıyasla yaklaşık 2 kat daha yüksek çıktığı anlaşılmaktadır. Bu çalışma, k ve R değerlerinin ön analizlerde bazalt ve bazalt agregalardan elde edilen betonun dayanım tahmininde dikkatle kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya, Beton, Mekanik özellikler, Dönüşüm faktörü, Dayanım oranı

Master Thesis

SUMMARY

THE USE OF CONVERSION FACTOR AND STRENGTH RATIO IN ESTIMATING THE
STRENGTH OF BASALT ROCK AND BASALT AGGREGATE CONCRETE

Oumar YOUSOUF MAHAMAT TAHIR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Kadir KARAMAN
2022, 53 Pages

The aim of this thesis is to examine in detail the conversion factor (k) and the strength ratio (R) on a single type of rock (5 basalts collected from different places in the Black Sea region) and concrete produced from the same rocks at different curing time (2, 7, 14 and 28 day). The average of k value obtained between rocks' uniaxial compressive strength (UCS_R) and point load index (PLI_R) values was calculated as 17.1. From the literature and this thesis work, detailed research was performed about basalt and it was statistically suggested that k coefficients in the estimation of UCS_R could be in the range of 17-20. The strength ratio (R) of the rocks was found to be 10.3 in this study and it was understood that this value has similarity with the literature. When detailed research was done over basalts from the literature and this thesis work, it was seen that the average of R coefficients was 10.5. The effect of curing time over UCS_C , PLI_C and Brazilian tensile strength ($B\check{C}D_C$) parameters of concrete formed from the basalt aggregates were also investigated. UCS_C , PLI_C and $B\check{C}D_C$ values increased as the curing period increases too. The coefficients of the PLI_C parameter in the UCS_C estimation varied within a narrow range (7.2–9.5). R ratios obtained from the $B\check{C}D_C$ parameter in the estimation of the UCS_C varied in a narrow range too (4.3–5.5). The mean k value for all curing times was obtained as 8.2. The mean R value was obtained as 5 for all curing times. It is understood that k and R ratios are approximately 2 times higher in rock samples compared to concrete samples. This study showed that k and R values can be used with caution in preliminary analysis in estimating the strength of basalt and concrete obtained from basalt aggregates.

Key Words: Rock, Concrete, Mechanical properties, Conversion factor, Strength ratio

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1.	Örnekleme noktaları ve jeolojik bilgiler (Okay ve Sahintürk, (1997) ve Parlak vd., (2013)'ten değiştirilmiştir)	8
Şekil 2.	Kaya örneklerinin hazırlanması	9
Şekil 3.	Kaya örneklerinin UCS _R deneyi.....	10
Şekil 4.	Kaya örneklerinin BÇD _R deneyi	11
Şekil 5.	Nokta yükleme deneyi için gerekli örnekler (ISRM 1985).....	12
Şekil 6.	Geçerli ve geçersiz deneylere ait tipik yenilme yüzeyleri: (a) geçerli çapsal deney, (b) geçerli eksenel deney, (c) geçerli blok deney, (d) geçersiz çapsal deney, (e) geçersiz eksenel deney, (f) geçersiz blok deney (ISRM, 1985).....	12
Şekil 7.	Kaya örneklerinin PLI _R deneyi.....	14
Şekil 8.	Örneğin hacim ölçümü	15
Şekil 9.	Örneğin kütle ölçümü.....	16
Şekil 10.	Beton örneklerinin hazırlanması: (a) blok örnekler, (b) çeneli kırıcı, (c) karışım yapmadan önce hazırlanan malzemeleri, (d) kalıplarda dökülmüş numuneler, (e) kalıplardan çıkartılmış numuneler, (f) kür havuzunda yerleştirilen numuneler.....	18
Şekil 11.	Laboratuvarda kullanılmış (a) elekler (b) agregaların tartılması ve (c) sınıflandırılmış agrega örnekleri	19
Şekil 12.	Kullanılan elek aralığı (TS, 706).....	20
Şekil 13.	Beton örneklerinin UCS _C deneyi.....	22
Şekil 14.	Beton örneklerinin BÇD _C deneyi	23
Şekil 15.	Beton örneklerinin PLI _C deneyi	24
Şekil 16.	Çalışılan kayaçların mineralojik analizleri.....	28
Şekil 17.	UCS _R ve PLI _R arasındaki ilişki	30
Şekil 18.	Dönüşüm faktörü (k) ve UCS _R arasındaki ilişki	32
Şekil 19.	Ölçülen ve tahmini UCS _R ortalamalarının karşılaştırılması.....	34
Şekil 20.	UCS _R ve BÇD _R arasındaki ilişki	34
Şekil 21.	Dayanım oranının dayanım ile ilişkisi	36
Şekil 22.	Kür süresi ve UCS _C arasındaki ilişki.....	37
Şekil 23.	Kür süresi ve PLI _C arasındaki ilişki	38
Şekil 24.	Kür süresi ve BÇD _C arasındaki ilişki	38
Şekil 25.	Değişen kür sürelerinde UCS _C ve PLI _C arasındaki ilişki	39

Şekil 26.	Değişen kür sürelerinde UCS _c ve BÇD _c arasındaki ilişki.....	41
Şekil 27.	Bütün kayalardan yapılan beton için k ve R'nin kür sürelerine göre değişimi	42
Şekil 28.	Kayaç bazında kür süresine göre k değerlerindeki değişim.....	43



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 1. UCS _R ile PLI _R arasındaki korelasyon.....	4
Tablo 2. UCS _C ile PLI _C arasındaki korelasyon.....	5
Tablo 3. UCS _R ile BÇD _R arasındaki korelasyon	6
Tablo 4. UCS _C ile BÇD _C arasındaki korelasyon	7
Tablo 5. Kayaçların tek eksenli basınç ve nokta yükleme dayanımına göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1989)	10
Tablo 6. Kaya malzemelerinin fiziko-mekanik deneyin sonucu	14
Tablo 7. Kayaçların yoğunluk ve porozite deney sonuçları	17
Tablo 8. Sertleşmiş beton yoğunluk ve porozite deney sonuçları.....	21
Tablo 9. UCS _C deney sonuçları	22
Tablo 10. BÇD _C deney sonuçları.....	23
Tablo 11. PLI _C deney sonuçları.....	24
Tablo 12. Regresyon analizleri ve UCS _R /PLI _R oranından elde edilen k katsayıları.....	29
Tablo 13. Literatürde bazaltlar için önerilen k değerleri	29
Tablo 14. Bu çalışma ve literatürden bazaltlara yönelik derlenen veriler	31
Tablo 15. Ölçülen ve tahmini UCS _R değerlerinin çoklu karşılaştırılması.....	33
Tablo 16. Bu çalışma ve literatürden bazaltların dayanım oranı için kullanılan veriler ...	35

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Örneğin kesit alanı
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ANOVA	: Varyans analizi
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
B-1	: Bazalt-1
B-2	: Bazalt-2
B-3	: Bazalt-3
B-4	: Bazalt-4
B-5	: Bazalt-5
BÇD	: Brazilian çekme dayanımı
BÇD _C	: Betonun Brazilian çekme dayanımı
BÇD _R	: Kayaçların Brazilian çekme dayanımı
BHA (γ)	: Birim hacim ağırlığı
CEB-FIP	: Uluslararası Avrupa Beton Komitesi (CEB)-Uluslararası Ön Gerilme Federasyonu (FIP)
CEM	: Kalsiyumdan zenginleştirilmiş karışım
D	: Örneğin çapı
D _e	: Eşdeğer karot çapı
D _{max}	: En büyük tane boyutu
F	: Düzenletme faktörü
Is ₍₅₀₎	: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı
Is	: Düzeltmemiş nokta yükleme dayanımı
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu
JSCE	: Japonya İnşaat Mühendisleri Derneği
k	: Dönüşüm faktörü
L	: Numunenin uzunluğu
n ve k	: Sabit
P	: Yenilme yükü
PLI	: Nokta yükü dayanım indeksi
PLI _C	: Betonun nokta yükü dayanım indeksi

PLI _R	: Kayaçların nokta yükü dayanım indeksi
R	: Dayanım oranını
R ²	: Determinasyon katsayısı
TS EN	: Türk Standardı Avrupa Normları
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı
UCS _C	: Betonun tek eksenli basınç dayanımı
UCS _R	: Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı
V	: Hacim
V1	: Hacim 1
V2	: Hacim 2
W	: Örneğin genişliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kayaçların mekanik özellikleri ve davranışını belirlemek veya önceden kestirmek, jeoteknik çalışmaların daha emniyetli ve ekonomik bir şekilde yürütülmesine büyük önem taşımaktadır. Jeoteknik mühendisleri, yeraltı yapılarını tasarlamak için genellikle kayaların basınç dayanımını (UCS) anahtar parametrelerden biri saymaktadır. UCS, ASTM (1984) ve ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir.

Beton, agrega, çimento ile suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak karıştırılıp zaman ile katılaşarak sertleşerek mukavemet kazanan önemli bir yapı malzemesidir.

Betonun en belirgin özelliği basınç dayanımıdır. Basınç dayanımları belirlenirken, küp ve silindir olarak numuneler üzerinde deney yapılmalıdır. Dayanım genellikle taze betondan yapılmış ve çeşitli yaşlarda basınç altında numunelerin test edilmesi yoluyla belirlenir. Genellikle 28. günde TS EN 12390-3'e göre elde edilen sonuçlara bakılarak betonun dayanımı belirlenir.

UCS'nin değeri doğrudan belirlemede deneyi pahalı olması, deney için yüksek kaliteli karot örneklerine ihtiyaç duyulması ve çeşitli problemleri nedenlerden araştırmacılar Brazilian çekme dayanımı (BÇD) ve nokta yükü dayanım indeksi (PLI) gibi pratik ve basit olan dolaylı yöntemlere ihtiyaç duymaktadırlar (Broch ve Franklin, 1972; Fener vd., 2005; Pâmmela vd., 2016).

1.2. Çalışmanın Amacı

Kayaçların tek eksenli basınç dayanım (UCS_R) parametresi uluslararası deney standartlarına uygun ölçüde hazırlanan karot örnekler ve bir yükleme cihazı ile belirlenebilmektedir (ISRM, 2007). Ancak, bu parametrenin doğrudan belirlenmesi projelerin başlangıç aşamalarında nispeten pahalı, zahmetli ve zaman alıcı olabilmektedir. İlaveten, standartlara göre uygun boyutlarda örnek hazırlanması her zaman mümkün olmamakta, özellikle zayıf, lamine ve ileri derecede eklemlili kayalarda bu işlem çoğu kez olanaksız hale gelmektedir. Bu nedenle nispeten daha küçük boyutlarda örnek hazırlama işleminin olduğu dolaylı yöntemlere olan ilgi artmıştır (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Önceki çalışmalarda çok sayıda araştırmacı nokta yükü dayanım indeksini (PLI) pratikliği ve numune hazırlama kolaylığından dolayı UCS_R tahmininde kullanmıştır (Bieniawski, 1975; Broch ve Franklin, 1972; Deere ve Miller, 1966; ISRM, 1985; Smith, 1997; Kahraman, 2001; Palchik ve Hatzor, 2004; Karaman ve Kesimal, 2012; Kılıç ve Teymen, 2008; Mishra ve Basu, 2012; Singh vd., 2012; Youssouf Mahamat Tahir ve Karaman, 2021). Ayrıca Schmidt sertlik, birim hacim ağırlık (γ , BHA), Brazilian çekme (BÇD) deneyleri UCS tahmininde sıklıkla kullanılan dolaylı yöntemler olmuştur (Yağız, 2009; Singh vd., 1983; Karaman vd., 2015).

BÇD, UCS'nin tahmininde kullanılan bir dolaylı yöntemdir. BÇD/UCS arasındaki ilişki dayanım oranı (R) olarak tanıtılmaktadır. BÇD özellikle problemli zemin koşulları (ince tabakalı, proklastik kayalar, oldukça çatlaklı/eklemli kayalar) dikkate alındığında kaya malzemesinin UCS parametresinin tahmininde kullanılabileceği önerilmiştir (Karaman vd., 2015). Literatürde UCS ile BÇD arasındaki ilişkiyi araştıran sınırlı sayıda çalışmalar mevcuttur (Farah, 2011; Kahraman vd., 2012; Nazir vd., 2013; Karaman vd., 2015).

Birçok araştırmacılar farklı kayalar için UCS_R ve PLI_R arasında UCS_R/PLI_R oranından elde edilen dayanım dönüşüm faktörünü (k) araştırmış ve genellikle k değerlerinin 10–24 arasında olduğunu bildirmişlerdir (Bieniawski, 1975; Kaya ve Karaman, 2016; Singh vd., 2012). Ayrıca, literatürde $UCS_R/BÇD_R$ arasındaki orandan (dayanım oranı, R) kaya dayanımının kestirimine yönelik pratik yaklaşımlar bulunmaktadır. Söz konusu oranın yaklaşık 10 olabileceği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Farmer, 1983; Kahraman vd., 2012; Karaman vd., 2015; Sheorey, 1997). Öte yandan R değerinin sağlam kayalar için 4–25, zayıf kayalar için 8–12 arasında değişebileceği Ramamurthy (2001) tarafından ifade edilmiştir.

Son zamanlarda betonda ölçülen PLI_C parametresinden betonun UCS_C dayanımını tahmin etmek için yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır (Karaman ve Bakhytzhan, 2020). PLI_C ve $BÇD_C$ deneylerinin kayaya göre daha homojen olan betonda kullanımı nispeten sınırlı kalmıştır.

Tez çalışmasının amacı, k ve R katsayılarını tek tip kaya (5 farklı yerden alınan bazalt) üzerinde detaylı olarak araştırmak ve literatürle karşılaştırmaktır. Ayrıca, aynı kayalardan üretilen beton numunelerinin farklı kür sürelerinde (2, 7, 14 ve 28 gün) k ve R katsayılarının değişimini incelemektir.

1.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Önceki Çalışmalar

Tek eksenli basınç dayanımı parametresinin doğrudan belirlenmesinde zorluklar olduğu için (pahalı, zaman alıcı, kaliteli numune hazırlanması, vb.), jeoteknik projelerin ilk aşamalarında ve problemli kaya ortamlarında dolaylı yöntemlerle (PLI, BÇD, vb.) tahmin edilebilmektedir.

1.3.1. Nokta Yüğü Dayanımından Kaya ve Beton Dayanımının Kestirimi

Jeolojik ve Jeoteknik çalışmalarda kullanılmak üzere, UCS'nin önemli girdi parametredir. UCS doğrudan tahmin etmek için, yüksek kaliteli örnek ihtiyaç duyulmaktadır. İlâveten, UCS deneyi pahalı ve projelerin başlangıç aşamasındaki çalışmalarda zaman alıcıdır. Bundan dolayı 1960 yıllarından beri kolay, ucuz ve zaman kazandırıcı bir yöntem olan PLI UCS tahmininde kullanılmıştır (Bieniawski, 1975; Broch ve Franklin, 1972; D'Andrea vd., 1964; Deere ve Miller, 1966; Read vd., 1980). Dönüşüm faktörü (k) aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir:

$$UCS = k * PLI \quad (1)$$

Konu ile ilgili birçok araştırma yapılmış olup kayanın jeolojik kökeninin UCS ve PLI arasındaki ilişkiyi en çok etkileyen faktör olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Broch ve Franklin, (1972) PLI'den UCS'nin tahmin edilmesi için dayanım dönüşüm faktörünü 24 olarak önermişlerdir. Bieniawski (1974) bu dönüşüm faktörünü teyit eden bir eşitlik bulmuştur. Aksine Greminger (1982), Pells (1975), Smith (1997) ve Topal (2000) 24 katsayısının hatalı sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir.

Başarır vd. (2004) UCS_R tahmininde kullanabilecek eşitlikler elde edebilmek için basit doğrusal regresyon analizleri uygulamış ve k değerini 10.957 olarak belirlemişlerdir.

Karaman ve Kesimal (2012) nokta yüğü deney yöntemleri ve porozite değerlerinden tek eksenli basınç dayanım tahmininde 9 farklı kayaç (magmatik, metamorfik ve tortul) kullanmıştır. Çalışmada hem çapsal hem de eksenel PLI_R deneyleri gerçekleştirilip olup UCS_R tahminine yönelik basit regresyon analizleri yapılmıştır. Deneyin sonuçlara göre, UCS_R tahmininde çapsal PLI_R eksenel PLI_R'den daha güvenilir olduğunu görülmüştür.

Kahraman (2014)'a göre, birçok farklı kayaçlar üzerinde yapılan çalışmalar özellikle anizotropik olanları k değerinin 15-50 arasında değiştiğini ifade etmiştir. Diğer çalışmalarda, k yumuşak kayaçlar için düşük lakin sert kayaçlar için daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur (Sabatakakis vd., 2008; Singh vd., 2012). Bu nedenle, tüm kaya türleri için tek bir dönüşüm faktörün uygulanması hatalı sonuçlara yol açacaktır (Kahraman, 2014; Topal, 2000).

Kaya ve Karaman (2016), 490 farklı kaya örnekleri (410 literatürde bulunan ve 80 kendi çalışmasından) için üç (3) yöntem inceleyerek dönüşüm faktörü (k) değerlendirilmiş ve bunu kaya türüne göre değiştiğini doğrulamıştır. Kayaçların kökenlerindeki farklılık nedeniyle farklı k değerleri belirlenmiş ve tüm kaya grupları için genel olarak 16.07 bir dönüşüm faktörü tahmin edilmişlerdir.

Karaman ve Bakhytzhan (2020) farklı kaya tipleri (bazalt dahil) regresyon analizi kullanılarak, genel olarak 14.7 bir dönüşüm faktörü bulunmuşlardır.

Tablo 1. UCS_R ile PLI_R arasındaki korelasyon

Kaynaklar	Korelasyon	Kaya türleri
Broch ve Franklin (1972)	$UCS_R = 24 * PLI_R$	Farklı kayaçlar
Read vd. (1980)	$UCS_R = 20 * PLI_R$	Bazalt
ISRM (1985)	$UCS_R = 20 \dots 25 * PLI_R$	Kumtaşı
Başarir vd. (2004)	$UCS_R = 10.957 * PLI_R$	Dasit
Kaya ve Karaman (2016)	$UCS_R = 16.07 * PLI_R$	Farklı kayaçlar
Karaman ve Bakhytzhan (2020)	$UCS_R = 14.7 * PLI_R$	Farklı kayalar (bazalt dahil)

Genelde kaya dayanımı (UCS_R) arttıkça oluşturulan beton dayanımı (UCS_C) da artar (Richardson, 1989; Robins, 1980; Zacoeb vd., 2006).

UCS_C ve PLI_C arasındaki ilişkiyi hakkında ilk araştırma Robins (1980) tarafından yapılmıştır ve test sonuçları aralarında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir. 1989'da Richardson üç farklı çapta numuneler kullanarak hem eksenel hem de çapsal test yöntemlerini uygulamış ve benzer bir ilişki elde etmiştir.

Selçuk ve Gökçe (2015), normal dayanımlı betonun basınç dayanımını (<60 MPa) dolaylı olarak tahmin etmek için regresyon analizi yoluyla UCS_C ve PLI_C arasında bir ilişki kurmuştur (Tablo 2).

Madandoust vd. (2018), 7, 14, 28 ve 42 günlük ıslak ve kuru koşullarda farklı çaplarda (50 mm ve 70 mm) beton karotları üzerinde UCS_C/PLI_C ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen bulgular, Richardson (1989) önerildiği katsayıları ile uygundur.

Karaman ve Bakhytzhan (2020) farklı kaya tiplerinden oluşturulan beton için kayalarındaki dönüşüm faktörlüye uyumlu UCS_C/PLI_C oranı elde etmişlerdir.

Tablo 2. UCS_C ile PLI_C arasındaki korelasyon

Kaynaklar	Korelasyon
Richardson (1989)	$UCS_C = k * PLI_C^n$ ($k=6.68$ ila 15 ; $n=1.1$ ila 1.85)
Selçuk ve Gökçe (2015)	$UCS_C = 4.256 * PLI_C^{2.367}$
Madandoust vd. (2018)	$UCS_C = 9.21 * PLI_C^{1.481}$
Karaman ve Bakhytzhan (2020)	$UCS_C = 14.3 * PLI_C$

1.3.2. Dolaylı Çekme Dayanımından Kaya ve Beton Dayanımının Kestirimi

BÇD deneyi, doğrudan UCS testine göre özel bir özen ve pahalı teknikler gerektirmeyen ve numune hazırlama kolaylığı nedeniyle bazen tercih edilmektedir (Coviello vd., 2005; Bieniawski ve Hawkes, 1978; Hudson vd., 1972; Mellor ve Hawkes, 1971).

Bazı çalışmalara göre, BÇD_R'nin UCS_R ile genel olarak PLI_R'den daha iyi bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir (Farah, 2011). Vutukuri vd. (1974) UCS_R/BÇD_R oranının çoğu kaya türü için 10 ila 50 aralığında olabileceğini vurgulamıştır. Farmer (1983), Kahraman vd. (2012) ve Sheorey (1997), birkaç kaya türü için UCS_R'nin BÇD_R'den 10 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Din ve Rafiq (1997) tarafından UCS_R/BÇD_R oranı 7.5 olarak önerilmiştir. Ancak, Ramamurthy (2001)'e göre sağlam kayalar için dayanım oranı (R) 4 ile 25 arasında ve daha homojen ve izotropik kayalar için ise, 8 - 12 arasında değişmektedir.

Karaman vd. (2015) tarafından farklı kayaç türü (volkanik, metamorfik ve tortul) üzerinde yapılan çalışmalar literatüre katkı sağlamıştır. Elde edilen bulgular Nazir vd.

(2013)'nin sonuçları uyumlu çıkmıştır. Yazarlar, sorunlu zemin koşulları ile karşılaşıldığında, $B\check{C}D_R$ 'den UCS_R 'yi tahmin etmenin pratik bir yaklaşım sunabileceğini ifade etmişlerdir.

Pâmmela vd. (2016), tortul kayaçlar dışındaki bir grup kaya türü için $B\check{C}D_R$ 'den UCS_R 'yi tahmin etmede doğrusal olmayan bir korelasyonun daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Söz konusu denklemin Kahraman vd. (2012) tarafından bulunan denkleme benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır (Tablo 3). R'deki değişiklik kayaların türüne ve kökenine bağlıdır (Brook, 1993; Cai, 2010).

Tablo 3. UCS_R ile $B\check{C}D_R$ arasındaki korelasyon

Kaynaklar	Korelasyon	Kaya türleri
Vutukuri vd. (1974)	$UCS_R = 10 \dots 50 * B\check{C}D_R$	Farklı kayalar
Sheorey (1997)	$UCS_R = 10 * B\check{C}D_R$	-
Din ve Rafiq (1997)	$UCS_R = 7.5 * B\check{C}D_R$	-
Ramamurthy (2001)	$UCS_R = 4 \dots 25 * B\check{C}D_R$ $UCS_R = 8 \dots 12 * B\check{C}D_R$	-
Altindag ve Guney (2010)	$UCS_R = 12.308 * B\check{C}D_R^{1.0725}$	Farklı kayalar
Kahraman vd. (2012)	$UCS_R = 10.61 * B\check{C}D_R$	Farklı kayalar
Nazir vd. (2013)	$UCS_R = 9.25 * B\check{C}D_R^{0.947}$	Kireçtaşı
Pammela vd. (2016)	$UCS_R = 11.751 * B\check{C}D_R^{0.9777}$	Farklı kayalar

Betonun tek eksenli basınç ve çekme dayanımı arasındaki ilişki de aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir:

$$B\check{C}D_C = k * UCS_C^n \quad (2)$$

n ve k: sabit

Literatürde ACI Committee 318 (1999), JSCE (2002), JSCE (2007), CEB-FIP Model Code for Concrete Structures (1990), Gardner vd. (1988) ve Raphael (1984) tarafından n değeri 0.5 ve 2/3 olarak her yaşta betonun $UCS_C/B\check{C}D_C$ için önerilmiştir.

El Dalati vd. (2011) geri dönüştürülmüş beton üzerinde bir çalışma yapmıştır. Geri dönüştürülmüş beton dayanımının normal betona göre nispeten düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Ros ve Hiroshi (2013) farklı sıcaklıklarda ve farklı çimento ile kürlenmiş erken yaş (≤ 7 gün) betonun UCS_C ve $B\check{C}D_C$ arasındaki ilişkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, sıcaklık ve çimento değişiminin erken yaşta R üzerinde bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Obayes vd. (2020), erken yaş (≤ 7 gün) betonun $UCS_C/B\check{C}D_C$ oranında etkilenmediğini eklemiştir.

Nanda ve Singh (2017), betonun dayanım oranı (R) hakkında önemli bulgular elde etmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonucu Oluokun vd. (1991) tarafından elde edilen sonucu uyum sağlar (Tablo 4).

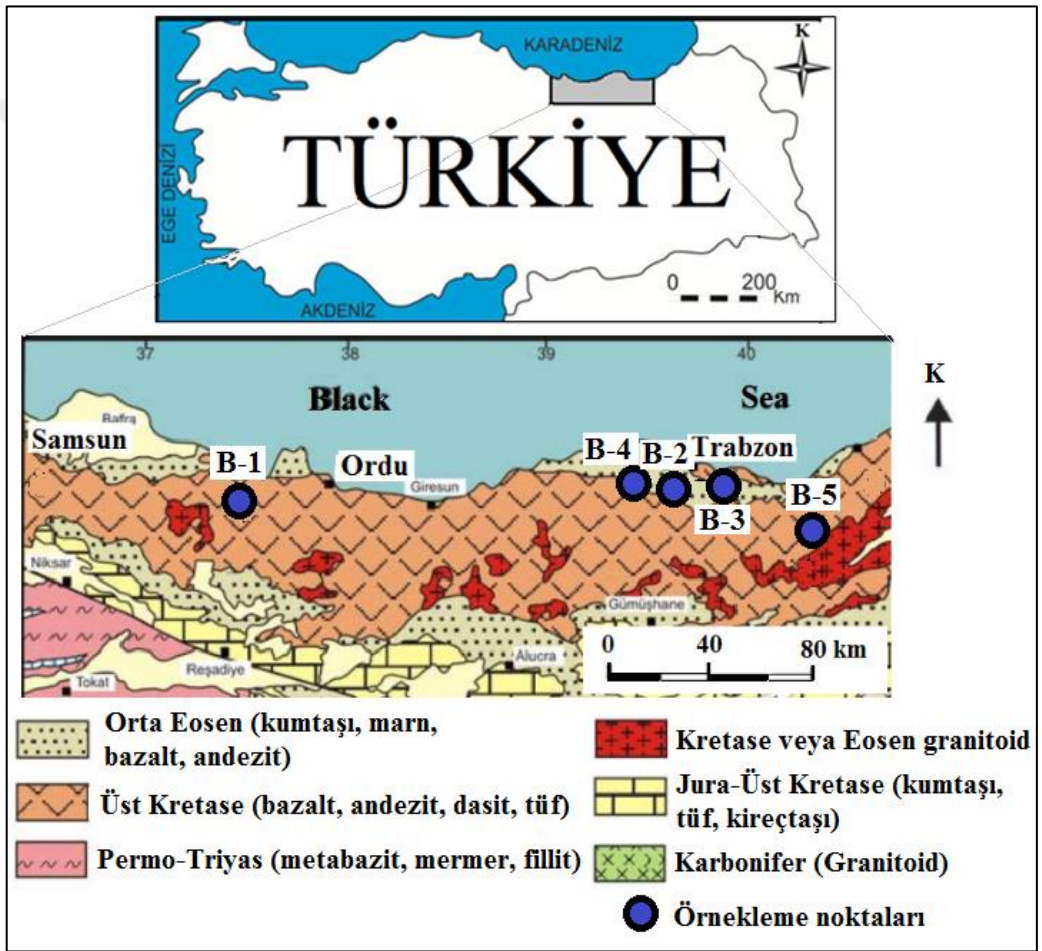
Tablo 4. UCS_C ile $B\check{C}D_C$ arasındaki korelasyon

Kaynaklar	Korelasyon
Carneiro ve Barcellos (1953)	$B\check{C}D_C = 0.34 * UCS_C^{0.735}$
Carino ve Lew (1982)	$B\check{C}D_C = 0.272 * UCS_C^{0.71}$
Raphael (1984)	$B\check{C}D_C = 0.313 * UCS_C^{0.667}$
Gardner vd. (1988)	$B\check{C}D_C = 0.47 * UCS_C^{0.59}$ $B\check{C}D_C = 0.466 * UCS_C^{0.66}$
CEB-FIB Model Code for Concrete Structure (1991)	$B\check{C}D_C = 0.3 * UCS_C^{2/3}$
Oluokun vd. (1991)	$B\check{C}D_C = 0.294 * UCS_C^{0.69}$
ACI Committee 318 (1999)	$B\check{C}D_C = 0.56 * UCS_C^{0.5}$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kaya Örneklerinin Hazırlanması

Bu çalışma beş (5) farklı bazalt üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaya blokları Doğu Karadeniz Bölgesi'nde farklı yerlerden getirilip laboratuvarda karot örnekleri alınmıştır (Şekil 1). Laboratuvarda karot almak için NX-çaplı (54.7 mm) karotiyer kullanılmıştır.



Şekil 1. Örneklem noktaları ve jeolojik bilgiler (Okay ve Sahintürk (1997) ve Parlak vd. (2013)'ten değiştirilmiştir)

Alınan karotların uçları düzgün olmadığı için karot düzeltme makinasında uygun boyutlarda kesilerek düzgünlüğü sağlanmıştır (Şekil 2). UCS_R, PLI_R ve BÇD_R deneyleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle yapılmıştır. Deneyleri sağlam numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Kaya örneklerinin hazırlanması

2.2. Kaya Malzemelerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri

2.2.1. Kayacın Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

UCS_R deneyi ISRM (2007) tarafından önerilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler her kayadan 5'er adet olacak şekilde ve sağlam silindirik numuneler üzerinde, NX (54.7 mm) çaplı ve yaklaşık 2.5 boy/çap oranında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri düzgün ve paralel olacak şekilde düzeltilmiştir.

Kırılma işlemleri için 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Sağlam örneği yükleme platenin tam ortasında yerleştirip sürekli 0.75 MPa/s'lik yükleme hızı kırılana kadar uygulanmıştır (Şekil 3). Kırılma anında, yenilme yükü cihaz tarafından kaydedilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç ve nokta yükleme dayanımına göre sınıflanması Tablo 5'te verilmiştir. Kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanım sonuçları ise Tablo 6'da yer almaktadır.

$$UCS = \frac{P}{A} \quad (3)$$

UCS: tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

P: yenilme anındaki yük (kN)

A: örneğin kesit alanıdır (cm²)



Şekil 3. Kaya örneklerinin UCS_R deneyi

Tablo 5. Kayaçların tek eksenli basınç ve nokta yükleme dayanımına göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1989)

Kaya sınıfı	UCS (MPa)	PLI (MPa)
Çok düşük dayanımlı	<25	<1
Düşük dayanımlı	25-50	1-2
Orta dayanımlı	50-100	2-4
Yüksek dayanımlı	100-250	4-10
Çok yüksek dayanımlı	>250	>10

2.2.2. Kayacın Brazilian Çekme Deneyi

Kayaçlardan alınan karotları disk şeklinde sağlam ve yaklaşık 1/2 boy/çap oranı örnekler hazırlanmıştır. Deneye başlamadan önce, her örneğin çapı ve kalınlığı kumpas ile ölçülüp kaydedilmiştir. Deney için, her kaya bloğundan 10'ar örnek kullanılmıştır.

Örneğin çapsal şekilde yükleme çenelerinin arasında yerleştirilip 200N/s'lik sabit bir hız ile yükleme altında çekilme dayanım deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). 300 tonluk bilgisayar kontrollü bir cihaz kullanılmıştır.

Örneğin yenildiğinde maksimum yük bilgisayar kontrollü cihazı üzerinden okunarak kaydedilmiştir.

Ayrıca, Brazilian çekme dayanım değerini elde edebilmek için, Gokhale (1960) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$B\check{C}D = \frac{2P}{\pi DL} \quad (4)$$

BÇD: Brazilian çekme dayanımı

P: yenilme anındaki yük (kN)

D: numunenin çapıdır (mm)

L: numunenin uzunluğudur (mm)

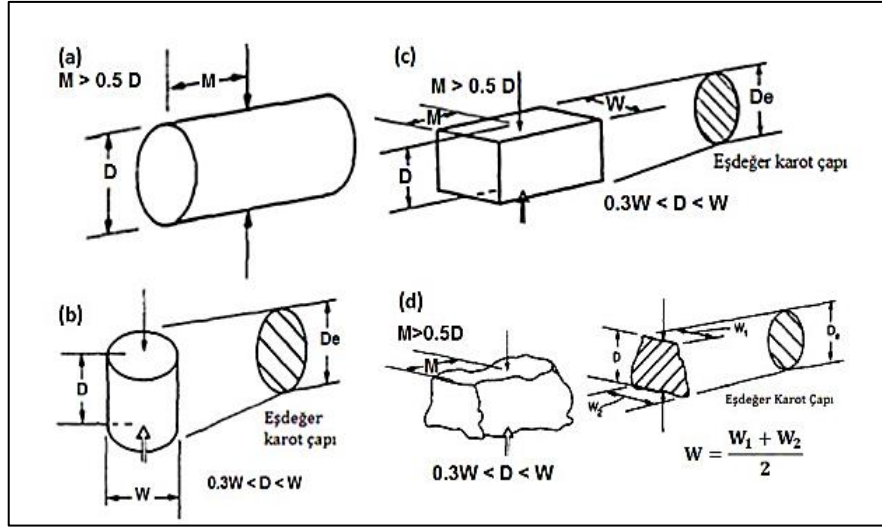
Kayaçlara ait Brazilian çekme dayanımının sonucu Tablo 6’da yer almaktadır.



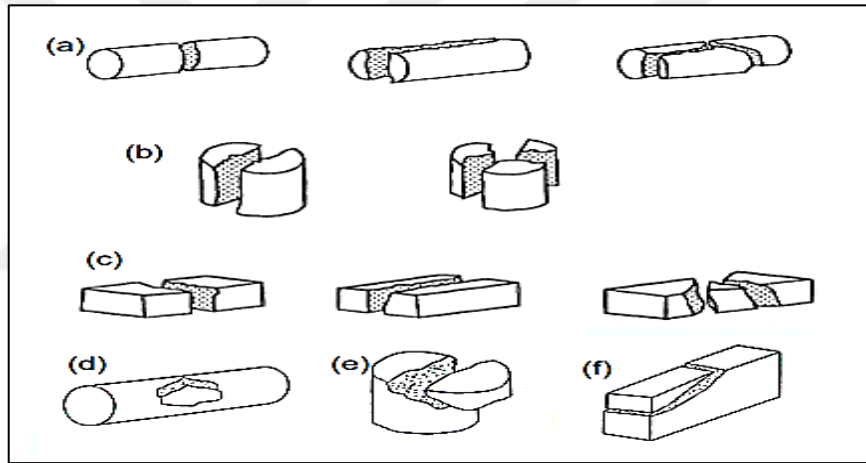
Şekil 4. Kaya örneklerinin BÇD_R deneyi

2.2.3. Kayacın Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Kaya sınıflandırılması sisteminde kullanılan nokta yük dayanım indeksi bir girdi parametredir (Bieniawski, 1975). Deney, hem silindirik şeklinde (çapsal/eksenel) hem de kesilmiş düzgün bloklar ya da düzgün olmayan parçalar üzerinde de uygulanabilmektedir (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Nokta yükleme deneyi için gerekli örnekler (ISRM, 1985)



Şekil 6. Geçerli ve geçersiz deneylere ait tipik yenilme yüzeyleri: (a) geçerli çapsal deney, (b) geçerli eksenel deney, (c) geçerli blok deney, (d) geçersiz çapsal deney, (e) geçersiz eksenel deney, (f) geçersiz blok deney (ISRM, 1985)

PLI_R deneyi beş (5) farklı kayaçlarda silindirik numuneleri disk şekli üzerine gerçekleştirilmiştir. Her kayaçtan en az 5 örnek uzunluğunun çapına oranı 0.3-1 ISRM (1985)'e göre, nokta yükleme dayanım (eksenel) deneyi yapılmıştır.

Örnek eksenine dik konik başlıkların arasında yerleştirip yavaşça yükleme pompası ile basınç verilmiştir (Şekil 7). Basınç altında numune kırılmış ve yenilme yükü dijital yük göstergesinden okunup kaydedilmiştir (Ulusay, 2015).

Deneye başlamadan önce, örneğin hem çapı hem de boyu ölçülmüştür. Nokta yükleme dayanımını elde edebilmek için aşağıdaki eşitlikleri kullanılmıştır. Deneyin en yüksek ve en düşük sonuçları iptal edilmiştir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (5)$$

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} ; (A = W * D) \quad (6)$$

I_s : düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (MPa)

P : yenilme anındaki yük (N)

D_e : eşdeğer karot çapı (mm)

A : örneğin kesit alanı (mm²)

Düzenletme faktörü F de belirlenip final düzeltilmiş nokta yükleme $I_{s(50)}$ bu şekilde elde edilmiştir:

$$I_{s(50)} = F * I_s \quad (7)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (8)$$

$I_{s(50)}$: düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı (MPa)

F : düzeltme faktörü

Kayaçlara ait nokta yükleme dayanımının sonucu Tablo 6'da bulunur.



Şekil 7. Kaya örneklerinin PLIR deneyi

Tablo 6. Kaya malzemelerinin fiziko-mekanik deneyin sonucu

Kayaç kodu	UCSR (MPa)	PLIR (MPa)	BÇDR (MPa)
B-1	182.00	10.06	19.10
B-2	166.40	09.08	14.54
B-3	071.13	04.30	04.84
B-4	111.60	07.20	11.43
B-5	126.00	07.80	12.00

2.2.4. Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

Doğadaki kaya malzemeleri boşluk, sıvı ve katkı maddelerden farklı oranlarda oluşturulmuştur. Kayanın fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde şev duraylılıkta, yeraltı tahkimat tasarımlarında ve inşaat çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için ISRM (1981) tarafından belirlenen yöntemler kullanılmıştır.

Her örneğin hacmini belirlemek için, 1000 ml'lik dereceli silindir kullanılmıştır. Silindirde bulunan sıvı (su) hacmi V1 kaydedilip ardından numune eklenmiştir. Bu haldeyken hacim V2'de kaydedilmiştir. Ayrıca, V1 ve V2 arasındaki fark numunenin hacmi olarak kaydedilmiştir ($V=V2-V1$) (Şekil 8).

Hacmi ölçmeden önce, numunenin doğal kütlesi hassas terazide (1gr) tartılarak belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. Örneğin hacim ölçümü

Numunelerin kurutulması amacıyla, 105°C altında 24 saat etüvde bırakılmıştır. Örneği etüvden çıkartılıp soğuttuktan sonra kuru kütlesi hassas terazi ile tartılmıştır. Aynı numuneleri doygun hale getirilmesi için 24 saat suda bekletilmiştir. Kâğıt havlu ile örneğinde fazla suyu temizlenip doygun kütlelerini de hassas terazi ile tartılmıştır.

Yukarıdaki parametreleri belirlendikten sonra, kayacın diğer özellikleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır (Tablo 7).

➤ Yoğunluk (g/cm³):

$$\text{Doğal yoğunluk} = \frac{\text{Doğal Ağırlık}}{\text{toplam hacim}} \quad (9)$$

$$\text{Kuru yoğunluk} = \frac{\text{Kurul Ağırlık}}{\text{toplam hacim}} \quad (10)$$

$$\text{Doygun yoğunluk} = \frac{\text{Doygun Ağırlık}}{\text{toplam hacim}} \quad (11)$$

➤ Birim hacim ağırlığı (kN/m³):

$$\text{Doğal birim hacim ağırlığı} = \text{Doğal yoğunluk} * 9.81 \quad (12)$$

$$\text{Kuru birim hacim ağırlığı} = \text{Kuru yoğunluk} * 9.81 \quad (13)$$

$$\text{Doygun birim hacim ağırlığı} = \text{Doygun yoğunluk} * 9.81 \quad (14)$$

➤ Gözenecek hacim (cm³):

$$\text{Gözenecek hacim} = \frac{\text{Doygun Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Suyun yoğunluğu}} \quad (15)$$

➤ Etkin porozite/Gözeneklilik (%):

$$\text{Etkin porozite} = \frac{\text{Gözenecek hacim}}{\text{Toplam hacim (bulk hacim)}} * 100 \quad (16)$$

➤ Boşluk oranı (%):

$$\text{Boşluk oranı} = \frac{\text{etkin porozite}}{100 - \% \text{etkin porozite}} \quad (17)$$

➤ Ağırlıkça su emme (%):

$$\text{Ağırlıkça su emme} = \frac{\text{Doygun Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Kuru Ağırlık}} * 100 \quad (18)$$



Şekil 9. Örneğin kütle ölçümü

Tablo 7. Kayaçların yoğunluk ve porozite deney sonuçları

Kaya kodu	Yoğunluk (g/cm ³)			Gözenecek hacim (cm ³)	Etkin porozite (%)	Boşluk oranı (%)	Ağırlıkça su emme (%)
	Doğal	Kuru	Doymuş				
B-1	2.687	2.681	2.689	1.570	0.741	0.007	0.276
B-2	2.728	2.713	2.731	5.250	1.836	0.019	0.677
B-3	2.324	2.234	2.336	23.880	10.205	0.114	4.567
B-4	2.702	2.693	2.707	4.270	1.369	0.014	0.508
B-5	2.876	2.873	2.878	0.390	0.513	0.005	0.179

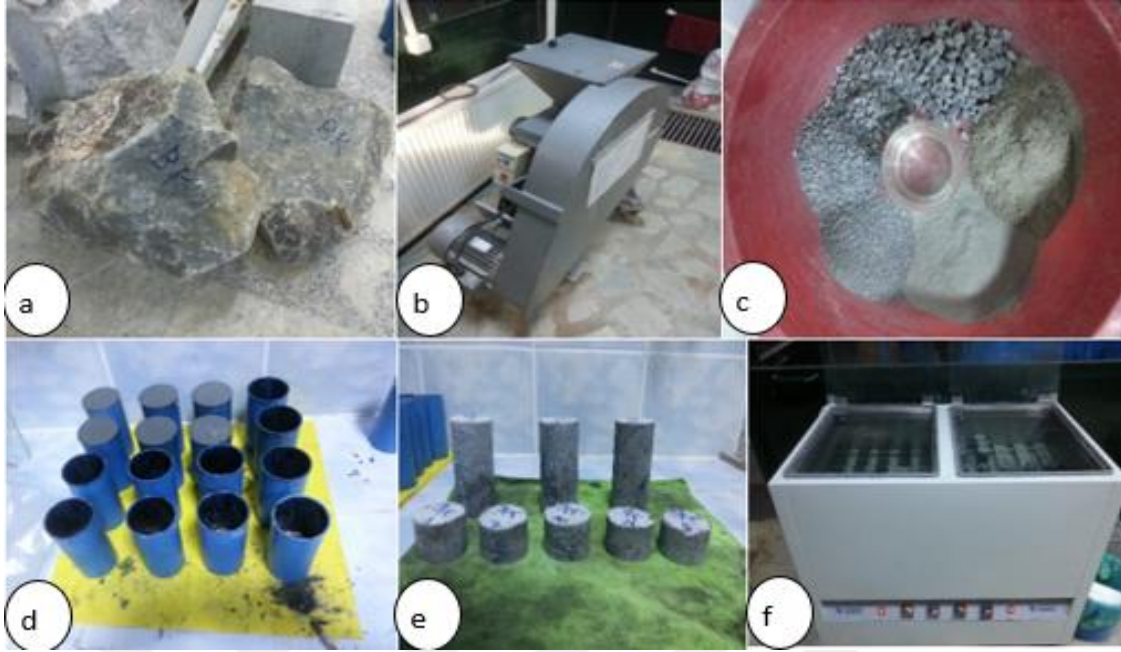
2.3. Beton Örneklerinin Hazırlanması

Betonun hazırlanması için, çalışmada kullandığımız aynı kayaçlardan çeneli kırıcı (öğütme makinesi) aracılığıyla farklı boyutlu ($d_{max}=16$ mm) standartlara uygun agregalar oluşturulmuştur. Elek analizi ile uygun granülometreye sahip agregalar sınıflandırılmıştır (Şekil 10).

Aşkale Çimento (Trabzon/Türkiye) fabrikasından alınan puzolanik çimentosu bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Betonda kullanılan çimento TS EN 197-1:2002/A1:2005/A3:2010 standartlarında üretilmiştir ve CEM IV/B (P) 32.5 R olarak sınıflındadır.

Beton karışımı homojen hale getirildiğinde temiz ve yağlanmış, boy/çap oranı 2 olan 54.7 mm çapındaki silindirik kalıplarda dökülmüştür.

Beton, kalıplarda 24 saat bırakılmıştır. Yeterince sertleşen numuneler kalıplardan çıkartılıp farklı kür sürelerine erişmesi için kür havuzunda yerleştirilmiştir ($\pm 20^{\circ}\text{C}$). Kür sürelerini (2, 7, 14 ve 28 günlük) tamamlayan numuneleri havuzundan çıkarttırılmış ve deneyler (UCSc, BÇDc, PLIc) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10. Beton örneklerinin hazırlanması: (a) blok örnekler, (b) çeneli kırıcı, (c) karışım yapmadan önce hazırlanan malzemeleri, (d) kalıplarda dökülmüş numuneler, (e) kalıplardan çıkartılmış numuneler, (f) kür havuzunda yerleştirilen numuneler

2.4. Beton Örneklerde Yapılan Çalışmalar

Günümüzde beton en yaygın kullanılan yapı malzemelerden biridir. Bu malzemeyi tazeleyen iyi işlenebilirliği için, dayanım kazandırma ve ekonomik açıdan da uygun karışım oranlarının seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca, karışımda su/çimento oranı ve beton içindeki boşlukları, betonun mukavemetine tesir eden en önemli etkidir.

2.4.1. Agregaların Elek Analizi

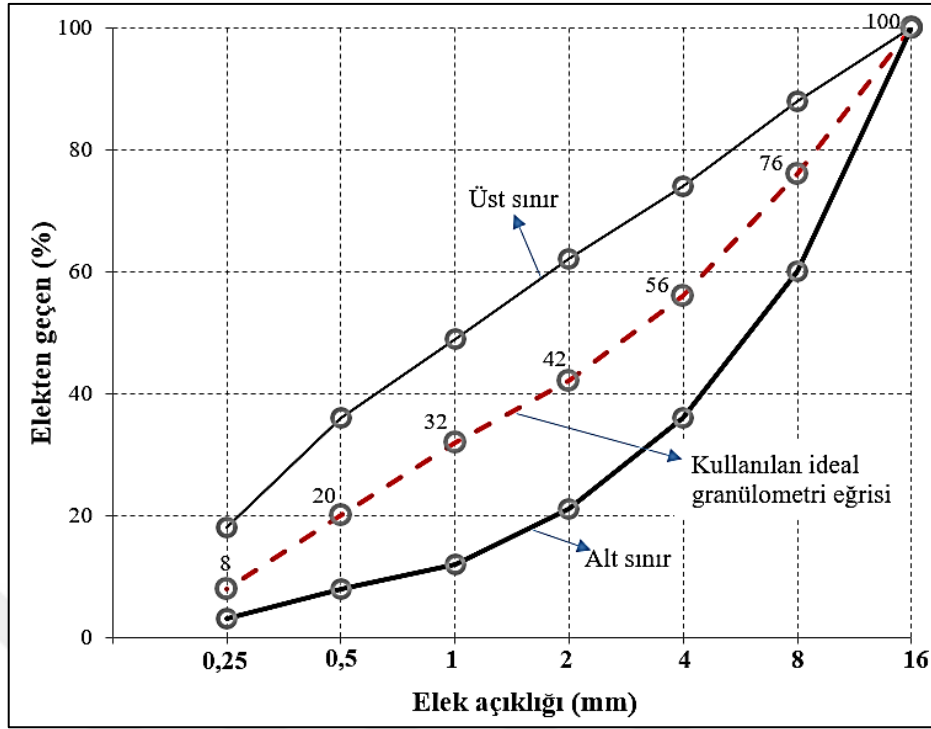
Agregaların elek analizi için değişik göz açıklıklarına sahip kare delikli eleklerle gereksinim bulunmaktadır. Türk standartları (TS, 706) 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm ve 0.125 mm olacak şekilde kare delikli eleklerin göz açıklıklarını elek analizinde kullanılması için önermiştir. 100 mm, 95 mm, 75 mm, 63 mm, 50 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.30 mm ve 0.15 mm olacak şekilde kare delikli eleklerin göz açıklıkları ASTM tarafından önerilmiştir. Türk standartlarında belirtilen kare gözlü elek açıklığı 4 mm iken, ASTM standartlarında 4.75 mm iri ve ince agregayı birbirinden ayıran sınır değerlerdir (Erdoğan, 2007). Elek analizi deneyinde yukarıdan aşağıya doğru tane çapı büyük olan elekten küçük

olan eleğe doğru elekler üst üste yerleştirilmiştir. Kurutulmuş ve kütlesi belirlenmiş deney örnekleri en üstteki eleğin içine konulmuş ve eleme hareketine başlanmıştır. Elek üzerlerinde kalan örnek miktarlarının tartılması için 0.1 gram hassasiyetli teraziler kullanılmıştır (Şekil 11).

Tez kapsamında agregalara ait en fazla tane boyutu çalışmada kullanılan bazalt en iri tane boyutları dikkate alınarak seçilmiştir. Mineralojik ince kesit analizlerine göre tezde kullanılan bazalt genel olarak porfirik dokuya sahip oldukları (minerallerin farklı boyutlarda irili ufaklı bir arada bulunmasıyla oluşan dokudu) görülmüştür. Bu nedenle kayaçlardaki en iri mineral tane boyutları dikkate alınarak, TS 706 tarafından önerilen en büyük tane boyutu (D_{max}) 16 mm olarak seçilmiştir. İdeal elek aralıkları Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 11. Laboratuvarda kullanılmış (a) elekler, (b) agregaların tartılması ve (c) sınıflandırılmış agrega örnekleri



Şekil 12. Kullanılan elek aralığı (TS, 706)

2.4.2. Sertleşmiş Betonun Yoğunluk Deneyleri

Su/çimento oranı, agregaların tipi, boşluk oranı gibi parametreleri beton dayanımına en etkileyen faktördür. Ayrıca, betonun fiziksel özelliklerinin belirlenmesini erken betonun karışım tasarımında çok önemlidir.

Bu çalışmada, yoğunluk deneyleri sertleşmiş beton numuneleri ile yapılmıştır. Kayaçlardaki gibi, ilk önce her örneğin hacmi belirlenmesini için 1000 ml'lik dereceli silindir kullanılmıştır. Silindirde bulunan sıvı (su) hacmi V_1 kaydedilip numuneyi içerisine koyulmuştur. Bu haldeyken hacim V_2 'de kaydedilmiştir. Ayrıca, V_1 ve V_2 arasındaki fark numunenin hacmini olarak kabul edilmiştir ($V=V_2-V_1$).

Beton örneklerinin doğal kütleleri hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Kuru kütlelerini tartılamadan önce, numuneleri etüvde (105°C) 24 saat bırakılmıştır. Numuneleri doygun hale getirilmesi amacıyla 24 saat suda bekletilmiştir. Kâğıt havlu ile örneğinde fazla suyu temizlenip doygun kütlesi hassas terazi ile tartılmıştır.

Yukarıdaki parametreleri belirlendikten sonra, sertleşmiş betonun diğer özelliklerini (9), (10); (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17) ve (18) eşitlikleri kullanılarak elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Sertlenmiş beton yoğunluk ve porozite deney sonuçları

Beton kodu	Yoğunluk (g/cm ³)			Gözenecek hacim (cm ³)	Etkin porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)
	Doğal	Kuru	Doymuş			
B-1	2.12	2.01	2.25	13.14	23.46	11.66
B-2	2.24	2.10	2.28	13.76	18.11	08.60
B-3	2.25	2.16	2.36	47.75	19.81	09.17
B-4	2.26	2.20	2.41	16.24	20.82	09.47
B-5	2.09	1.88	2.12	17.65	23.85	12.68

2.4.2. Betonun Mekanik Özellikleri (UCS_C, PLI_C ve BÇD_C)

Kayaçlardaki gibi, betonun örnekleri için de dayanım (UCS_C), nokta yükü (PLI_C) ve dolaylı çekme (BÇD_C) deneyleri yapılmıştır.

2.4.2.1. Betonun Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

UCS_C farklı kür sürelerinde hazırlanmış beton numunelerinde yapılmıştır. Kalıptan çıkan sağlam örnekler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra yaklaşık dört (4) saat bekletilmiştir.

Daha hassas ölçüm için 30 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Örneğin kırılana kadar sürekli 0.25 MPa/s bir yükleme hızı uygulanmıştır (Şekil 13). Kırılma andaki yenilme yükü bilgisayar tarafından kaydedilmiştir. UCS_C eşitlik (1) kullanarak hesaplanmıştır. Deneyin, ISRM (2007) önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Deneyin sonuçları Tablo 9’da yer almaktadır.



Şekil 13. Beton örneklerinin UCS_c deneyi

Tablo 9. UCS_c deney sonuçları

Kür süresi	2 günlük	7 günlük	14 günlük	28 günlük
Kaya kodu	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
B-1	05.93	11.79	17.23	24.24
B-2	08.03	09.95	12.37	14.88
B-3	09.13	10.52	12.31	13.72
B-4	10.49	15.32	20.17	21.32
B-5	07.31	15.97	16.96	22.84

2.4.2.2. Betonun Brazilian Çekme Dayanımı Deneyi

Brazilian çekme deneyi 54.7 mm çaplı ve 30 mm yüksekliği sahip, yaklaşık 100 beton örneğin (2, 7, 14 ve 28 günlük değişken kür süresi) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Daha iyi sonuç elde edebilmek için, 30 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres ile BÇD_c deneyi yapılmıştır (Şekil 14). Numuneler çelik bir çene içine yerleştirip yükleme cihazına koyulmuştur. Örnekler kırılana kadar, sürekli 200 N/s 'lik bir sıkıştırma yükü uygulanmıştır.

Numunenin boyutları ve kırılmadaki an maksimum yük kaydedilip, BÇD_c Gokhale (1960) tarafından önerilen eşitlik ile elde edilmiştir (Eşitlik 2). BÇD_c'deki deneyin sonuçları Tablo 10'da bulunmaktadır.



Şekil 14. Beton örneklerinin BCDc deneyi

Tablo 10. BCDc deney sonuçları

Kür süresi Kaya kodu	2 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	14 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)
B-1	1.79	2.88	3.33	3.64
B-2	1.46	1.97	2.53	2.90
B-3	1.61	2.33	2.64	3.59
B-4	2.06	2.72	3.67	3.81
B-5	1.86	2.56	2.82	4.46

2.4.2.3. Betonun Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Nokta yük dayanım indeksi, diğer dayanım parametreleri gibi, tek eksenli basınç dayanımını dolaylı olarak belirlemek için kullanılır.

Bu çalışmada, beton örnekleri kayalara nazaran homojen olduklarından 5'er silindirik beton örneği kullanılmış olup, farklı kür süresine bağlı olarak (2, 7, 14 ve 28 günlük) deneyler gerçekleştirilmiştir. PLIc beş (5) farklı kayalardan oluşturan beton numuneleri üzerine uygulanmıştır. Her kayaktan toplam 25 örnek uzunluğunun çapına oranı 0.3-1 arasında ISRM (1985) göre, nokta yükleme dayanım eksenel deneyi yapılmıştır (Şekil 15).

Kayaçlardaki gibi, örneği eksenine dik konik başlıkların arasında yerleştirip yavaşça (10-60 saniye) yükleme pompası ile basınç verilmiştir. Numune kırıldığında, yenilme yükü dijital yük göstergesinden okunup kaydedilmiştir.

Kırılma işlemleri başlamadan önce, her örneğin hem çapı hem de boyu ölçülmüştür. Eşitlik (7) kullanılarak PLIc değeri bulunmuştur. Ayrıca, deney sonuçları Tablo 11'de yer almaktadır.



Şekil 15. Beton örneklerinin PLIc deneyi

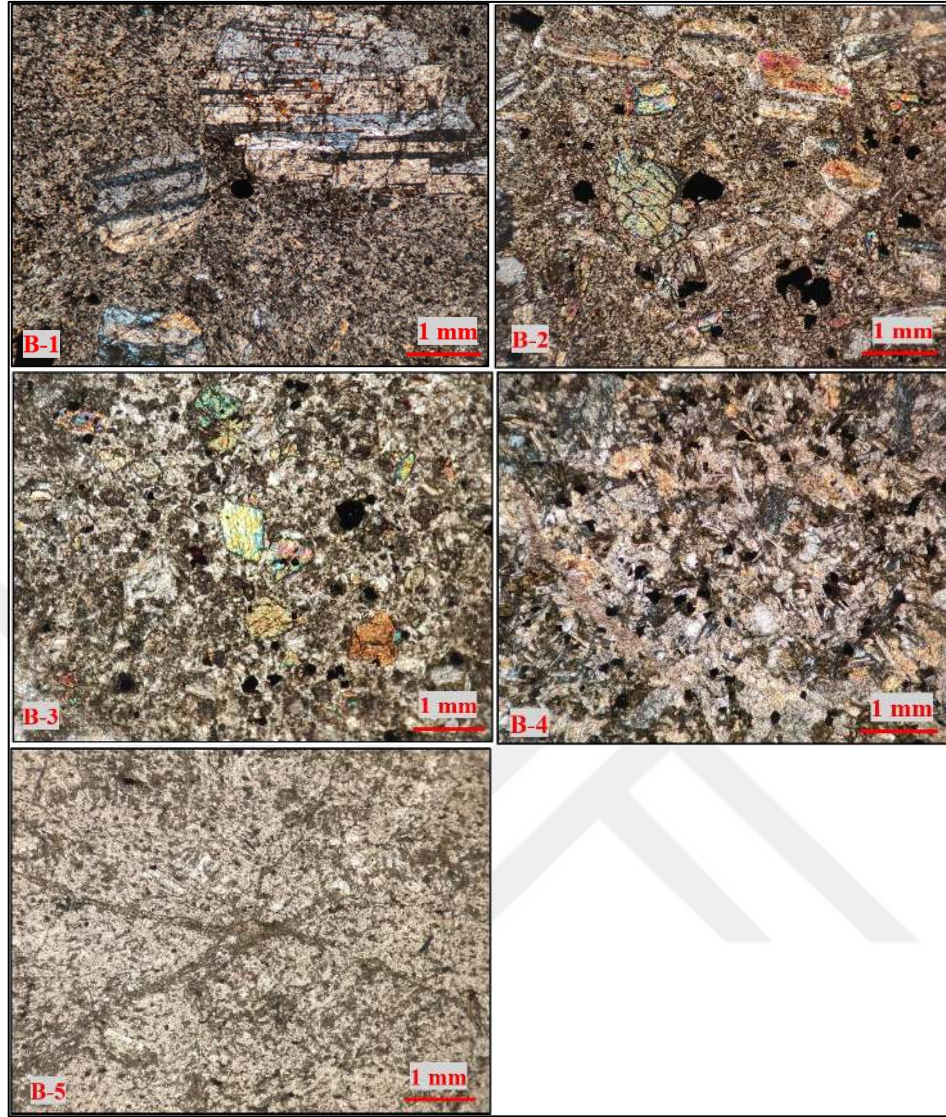
Tablo 11. PLIc deney sonuçları

Kür süresi Kaya kodu	2 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	14 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)
B-1	0.66	1.74	1.84	2.33
B-2	1.00	1.39	1.64	1.81
B-3	1.14	1.52	1.81	1.86
B-4	1.42	2.05	2.19	2.36
B-5	1.09	1.56	1.80	2.34

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Mineralojik Analizler

Tez kapsamında beş (5) adet kaya örneği kullanılmış ve B-1, B-2, B-3, B-4 ve B-5 olarak kodlama işlemi yapılmıştır. B-1 nolu kayaç örneğinin ince kesit incelemesinde ana mineral olarak plajiyoklaz mineralleri, mafik mineral psödomorfları (olası piroksen, olivin) tali mineral olarak ise apatit ve opak mineraller bulunmaktadır. Porfirik doku gözlenmiş olup, kayacın ayrışma derecesi az orta şeklinde değerlendirilmiştir. B-2 nolu kayacın ince kesit analizinde ana mineral plajiyoklaz olup, B-1'e kıyasla olivin ve opak minerallerin daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Porfiriğimsi bir doku gösteren kayacın ayrışma derecesi ortadır. B-3 nolu kayacın ince kesit ince kesit incelemesinde plajiyoklaz, olivin ve piroksen minerallerinin yanı sıra opak mineraller gözlenmiştir. B-2'de olduğu gibi incelenen kesite göre kayaç porfiriğimsi bir doku göstermiş olup, kayacın ayrışma derecesi az-ortadır. B-4 nolu kayacın ince kesit incelemesinde plajiyoklazlar ince taneli olup, az miktarda olivin ve piroksen mineralleri kesitte gözlenmiş ve opak mineraller ise saçınım halde kesit içinde yer almaktadır. Kayacın ayrışma derecesi ortadır. İlk dört kayacın bazalt olabileceği yapılan ince kesitlerden anlaşılmaktadır. B-5 ise açık yeşilimsi renkte, ince taneli, sert ve yer yer çatlaklı, makroskopik olarak epidot ve pirit mineralleri gözlenebilmektedir. İnce kesitlerde bol miktarda epidot ve daha az oranda ikincil kuvars mevcuttur. Albitleşmiş plajiyoklas, ikincil klorit, aktinolit ve bol miktarda mikro çatlak gözlenmiştir. Çatlaklarda ayrıca epidot, klorit, kuvars ve pirit olduğu belirlenmiştir. Kayacın ayrışma derecesi ortadır. B-5 nolu kayacın ince kesit incelemesine göre metabazalt olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak tez kapsamında bazalt (bazalt ve metabazalt) kullanılmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. Çalışılan kayaçların mineralojik analizleri

3.2. UCS_R ve PLI_R Arasındaki İlişki

UCS_R tahmini için ortalama UCS_R ve PLI_R değerleri arasında sıfır–kesişim basit regresyon analizleri yapılmış ve k katsayıları belirlenmiştir (Şekil 17). Ayrıca, UCS_R/PLI_R oranından da k değerleri bulunmuştur (Tablo 12). k katsayısı sıfır–kesişim regresyon analizine göre 17.3, UCS_R/PLI_R oranından elde edilen ortalama k ise 16.9 olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntemden elde edilen ortalama k değeri 17.1 olarak bulunmuştur.

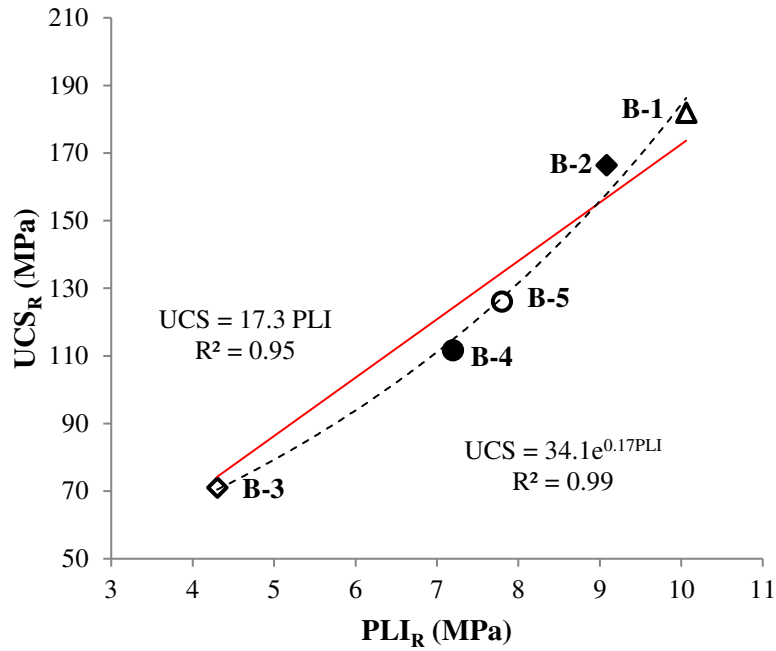
Tablo 12. Regresyon analizleri ve UCS_R/PLI_R oranından elde edilen k katsayıları

Örnek no	UCS_R (MPa)	PLI_R (MPa)	Regresyon	UCS_R/PLI_R	Aritmetik ortalama k
B-1	182.00	10.06	17.3	18.1	
B-2	166.40	09.08	17.3	18.3	
B-3	071.13	04.30	17.3	16.5	
B-4	111.60	07.20	17.3	15.5	
B-5	126.00	07.80	17.3	16.2	
	Ortalama k		17.3	16.9	17.1

Read vd. (1980) bazaltlarda k katsayısını ayrışma ve boşluk oranlarındaki değişimi dikkate alarak araştırmışlardır. Yazarlar, çalışmada boşluk oranı arttıkça k katsayısının 7.5'lere kadar düştüğünü, sağlam bazaltlar için ise bu oranın 18'e kadar yükseldiğini ifade etmişlerdir. Aggistalis vd. (1996) ayrışmaya bağlı olarak bazalt ve gabro kayaçlarının dayanımını PLI_R gibi dolaylı yöntemlerden tahmin etmiştir. Endait ve Juneja (2015) bazaltlarda k katsayısını doymuş durum için 18 ve kuru durum için 24 olarak elde etmişlerdir. Sharo ve Al-Tawaha (2019) Ürdün bazaltları için k değerini 23.52 olarak önermişlerdir (Tablo 13). Bu çalışmada taze bazaltlar için k katsayısı araştırılmış olup, literatürden ve bu çalışmadan elde edilen toplam 108 adet UCS_R-PLI_R veri çiftleri (Tablo 14) kullanılmıştır (Şekil 18).

Tablo 13. Literatürde bazaltlar için önerilen k değerleri

Kaya türü	Eşitlik	Referans
Bazalt	$UCS=18 PLI$	Read vd. (1980)
Bazalt	$UCS=21.96 PLI$	Aggistalis vd. (1996)
Bazalt (doymuş)	$UCS=18 PLI$	Endait ve Juneja (2015)
Bazalt (kuru)	$UCS=24 PLI$	Endait ve Juneja (2015)
Bazalt	$UCS=23.52 PLI$	Sharo ve Al-Tawaha (2019)



Şekil 17. UCS_R ve PLI_R arasındaki ilişki

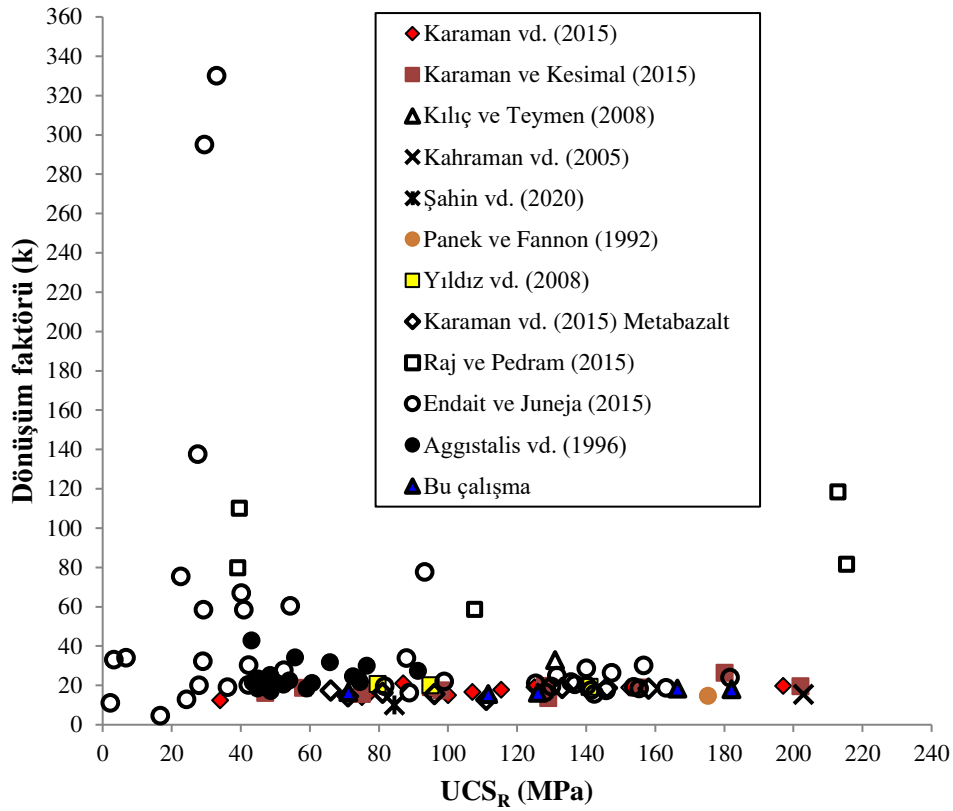
108 adet k değerlerinin genellikle 15-25 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır (Şekil 18). Endait ve Juneja (2015) ve Raj ve Roghanchi (2015) tarafından önerilen k değerleri ise literatürle kıyaslandığında oldukça yüksektir. Endait ve Juneja (2015) çalışmasından elde edilen k oranları 5-30 arasında değişirken, Raj ve Roghanchi (2015) çalışmasındaki k değerleri ise 59-118 arasında değişmektedir. Raj ve Roghanchi (2015) çalışmasındaki bazalt verileri sıfır kesişim basit regresyon analizi ile değerlendirildiğinde, k oranı 85 çıkmaktadır. Fener vd. (2005) farklı araştırmacılar tarafından sıfır-kesişim regresyon eşitlikleri kullanarak önerilen k katsayı değerlerinin 8.6–29 gibi geniş bir aralıkta değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu nedenle, verilerin büyük çoğunun bu aralıkta yer aldığı ve k katsayılarının 8–30 arasında değişim gösterdiği 84 adet veri çifti çoklu karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Dayanımı düşük kayalarda k oranı genel olarak düşük iken dayanım arttıkça k değerlerinin arttığı bilinmektedir. Söz konusu veri çiftlerinden 8 tanesinin yer aldığı Metabazalt kayalarında dayanım artışının k değerleri üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Şekil 18).

Tablo 14. Bu çalışma ve literatürden bazaltlara yönelik derlenen veriler

Araştırmacılar	UCS _R (MPa) En düşük	UCS _R (MPa) En yüksek	PLI _R (MPa) En düşük	PLI _R (MPa) En yüksek
Panek ve Fannon (1992)*	-	175.20	-	11.99
Aggitalis vd. (1996)	43.08	091.21	1.00	03.33
Kılıç vd. (2003)*	-	086.20	-	04.28
Yıldız vd. (2008)	79.56	140.88	3.83	07.30
Kılıç ve Teymen (2008)*	-	131.00	-	04.00
Karaman ve Kesimal (2015)	47.00	202.00	2.90	10.30
Raj ve Roghanchi (2015)	39.08	215.39	0.36	02.64
Endait ve Juneja (2015)	02.20	163.10	0.10	09.10
Karaman vd. (2015)	34.00	197.00	2.76	09.95
Özdemir ve Sarıcı (2019)*	-	126.20	-	08.94
Şahin vd. (2020)	-	084.44	-	08.39
Bu çalışma	71.13	182.00	5.30	11.10

*Tek veri

Varyans analizi (ANOVA, Analysis of variances), iki veya daha fazla verilerin grup ortalamalarının farklılığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir (Kalaycı, 2009). Bu çalışmada ANOVA türlerinden tek yönlü varyans analizi (Oneway ANOVA) seçilmiştir. Anlamlılık seviyesi ($P > 0.05$) olması grupların homojen olarak değerlendirilmesi için gereklidir. Gruplar homojen olmadığında ise ($P < 0.05$) homojen olmayan varyans analizleri (Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell) kullanılabilmektedir. Daha sonra homojenlik durumuna göre uygun bir yöntem ile analiz yapılır ve ilk olarak ANOVA tablosundaki P (anlamlılık seviyesi) değerine bakılmaktadır. Eğer bu teste göre $P < 0.05$ ise “grup ortalamaları birbirinden önemli düzeyde farklıdır” veya “grup ortalamalarından en az biri diğerlerinden farklıdır” yorumları yapılmaktadır (Dunnett ve Tamhane, 1992). $P > 0.05$ ise gruplar birbirinin aynıdır veya grup ortalamaları birbirinden farklı değildir anlamı çıkmaktadır. $P = 1.0$ olduğunda ise gruplar birbirine tamamen benzerdir anlamı çıkmaktadır.



Şekil 18. Dönüşüm faktörü (k) ve UCS_R arasındaki ilişki

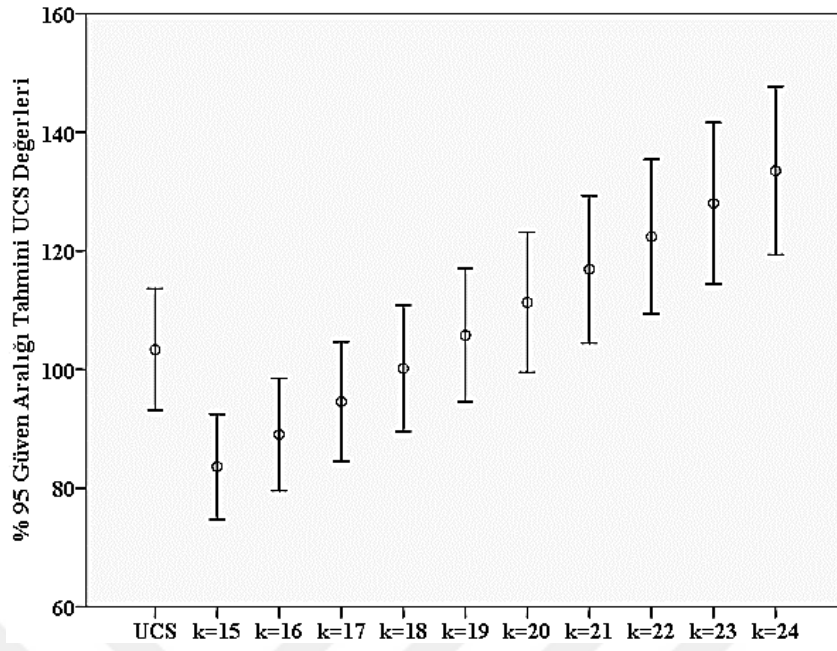
Bu çalışmada veriler homojen olmadığı için (P değeri $0.000 < 0.05$) Post. Hoc. Testlerinden Tamhane testi yapılmıştır (Tablo 15). Literatür taramasına göre k değerlerinin bazaltlarda genellikle 15-25 arasında değiştiği görülmüştür. Bu nedenle tahmini UCS_R değerleri söz konusu aralıktaki k değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Laboratuvarda ölçülen UCS_R değerlerinin (84 adet) kontrol olarak kullanıldığı Tamhane testine göre k katsayısı 24 alındığında ölçülen UCS_R değerleriyle benzerlik göstermediği ve tamamen farklı olduğu sonucu ($P < 0.05$) ortaya çıkmıştır. k katsayıları 15 ve 23 alındığında ise Tamhane testine göre nispeten benzer olsa da diğer katsayılarla kıyasla benzerlik oranı düşüktür ($k=15$ için $P=0.206$ ve $k=23$ için $P=0.221$). ANOVA analizleri nokta yükü indeksinden bazaltların dayanımını tahmin etmek için kullanılması gereken k katsayılarının 16-22 aralığında değişebileceğini göstermiştir. k katsayıları 17-20 aralığında olduğunda ise UCS_R değerleri ile tahmini UCS_R değerlerinin birebir örtüştüğü görülmektedir. Bu çalışma bulunan k katsayısının (17.1) önerilen değerler (17-20) içinde olduğu görülmüştür. k değeri olarak tek bir değer vermek gerekirse ölçülen ve tahmini UCS_R değerleri arasındaki ortalama

farkın en düşük olduğu 19 sayısı önerilebilir. Ölçülen ve tahmini UCS_R ortalamalarının karşılaştırılması Şekil 19’de daha iyi görülmektedir.

Bu çalışmada tek tip kaya çalışıldığı için k değerlerinin oldukça yakın bir aralıkta değiştiği anlaşılmıştır. Ancak aynı tür kaya için bile tek bir k katsayısının önerilemeyeceği görülmektedir. Özellikle kendi içerisinde oldukça farklı özellikleri (vesiküler, amigloidal, olivin ojitli vb.) olan bazalt gibi kayalarda tek tip k katsayısının önerilmesi uygun olmayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, Akbay ve Altındag (2020) PLI_R değerlerindeki değişimlerin test yöntemine ve test cihazına bağlı olabileceğini kapsamlı literatür incelemesi ile ortaya koymuşlardır.

Tablo 15. Ölçülen ve tahmini UCS_R değerlerinin çoklu karşılaştırılması

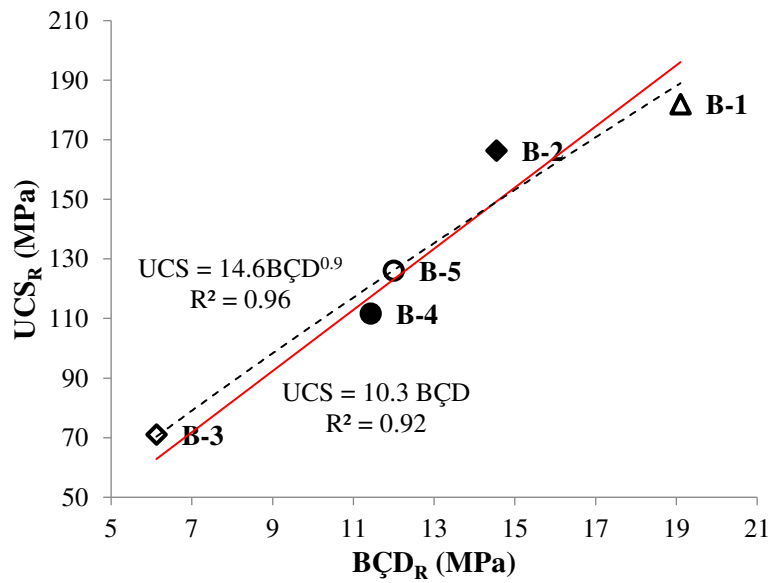
Tamhane						
(I) Faktör	(J) Faktör	Ortalama fark (I-J)	Standart hata	Anlamlılık seviyesi	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
UCS	k=15	19.78571	6.81019	0.206	-03.1786	42.7500
	k=16	14.33333	7.01039	0.908	-09.3000	37.9667
	k=17	08.78571	7.21667	1.000	-15.5406	33.1120
	k=18	03.20238	7.42499	1.000	-21.8268	28.2316
	k=19	-02.40476	7.64377	1.000	-28.1749	23.3654
	k=20	-07.94048	7.86358	1.000	-34.4575	18.5765
	k=21	-13.51190	8.09532	0.996	-40.8185	13.7947
	k=22	-19.03571	8.32509	0.730	-47.1271	09.0557
	k=23	-24.65476	8.55765	0.221	-53.5420	04.2325
	k=24	-30.16667*	8.79583	0.042	-59.8703	-00.4630



Şekil 19. Ölçülen ve tahmini UCS_R ortalamalarının karşılaştırılması

3.3. UCS_R ve BÇD_R Arasındaki İlişki

UCS_R ve BÇD_R arasında regresyon analizi yapılmış olup çok yüksek determinasyon katsayıları (0.92-0.96) elde edilmiştir (Şekil 20). Tez kapsamında UCS_R/BÇD_R oranını ifade eden dayanım oranı (R) da çalışılmıştır.



Şekil 20. UCS_R ve BÇD_R arasındaki ilişki

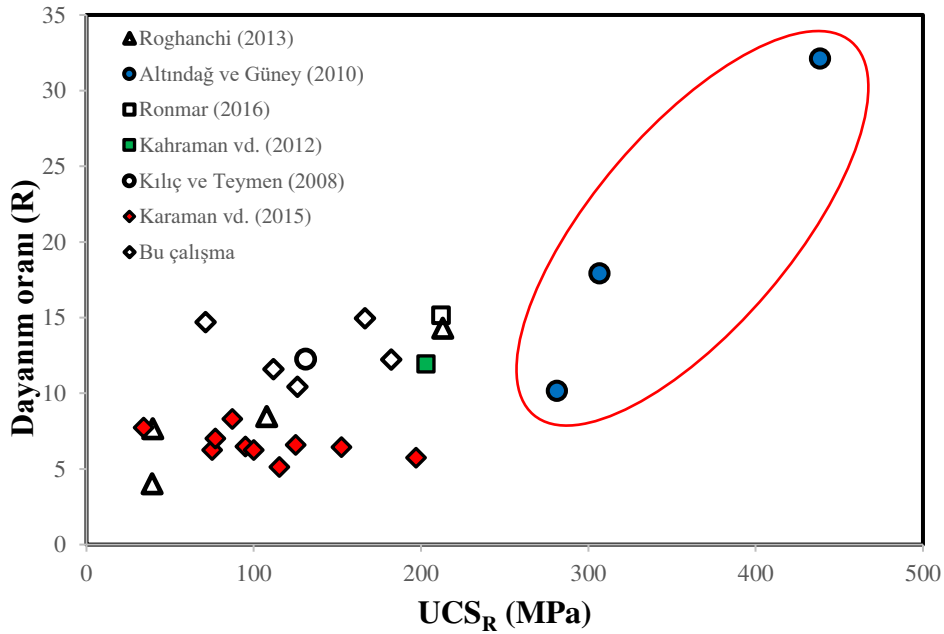
Literatürde UCS_R ve BÇD_R arasındaki oranı ifade eden dayanım oranı (R) üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır (Farmer, 1983; Ramamurthy, 2001; Sheorey, 1997). Cai (2010), çekme dayanımı verilerinin mevcut olmadığı durumlarda, kayaların çekme dayanımını tahmin etmek için genel yaklaşımın, UCS ile çekme dayanımı değerleri (dayanım oranı, R) arasındaki korelasyonu kullanmak olduğuna işaret etmiştir. Ayrıca, çoğu kayanın basınç dayanımı çekme dayanımından yaklaşık 10 kat daha büyüktür ($\sigma_c \approx 10\sigma_t$) (Farmer, 1983; Kahraman vd., 2012; Sheorey, 1997). Literatürde dayanım oranları üzerine verilen değerlerde oldukça fazla miktarda dalgalanma vardır (Tablo 16). Sheorey (1997) R değerlerinin 2.7 ile 39 arasında değiştiğini ortalamanın ise 14.7 olduğunu ifade etmiştir. Birçok kaya için R değerleri 10 ila 50 arasında (Vutukuri vd., 1974), sağlam kayalar için 4 ila 25 arasında ve homojen kayalar için ise 8 ila 12 arasında değişmektedir (Ramamurthy, 2001). Değerlerdeki bu değişim kayanın kökenine ve türüne bağlı olarak değişmektedir (Brook, 1993; Cai, 2010). Karaman vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada R değerleri volkanik, metamorfik ve tortul kayalar için sırasıyla 6.3, 6 ve 7 olarak bulunmuştur. Karaman vd. (2015) tarafından elde edilen R değerlerinin dar bir aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Yazarlar bunun nedeninin yaşları birbirine yakın aynı tünel güzergahından alınan kayalardan kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. R değerleri Brady ve Brown (2004) tarafından 8, Tahir vd. (2011) tarafından ise 7.5 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise R değeri 10.3 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç Kahraman vd. (2012) tarafından elde edilen değerle örtüşmektedir.

Tablo 16. Bu çalışma ve literatürden bazaltların dayanım oranı için kullanılan veriler

Araştırmacılar	UCS _R (MPa) En düşük	UCS _R (MPa) En yüksek	BÇD _R (MPa) En düşük	BÇD _R (MPa) En yüksek
Kılıç ve Teymen (2008)*	-	131.00	-	10.70
Altındag ve Guney (2010)	281.20	438.40	13.66	27.71
Kahraman vd. (2012)*	-	202.90	-	17.00
Roghanchi (2013)	039.08	212.89	05.18	14.90
Karaman vd. (2015)	034.00	197.00	04.40	34.40
Ronmar (2016)*	-	212.00	-	14.00
Yenice (2019)*	-	206.40	-	13.80
Bu çalışma	071.13	182.00	04.84	14.91

*Tek veri

Dayanım oranının dayanım ile ilişkisi Şekil 21’de verilmiştir. Altındag ve Güney (2010) tarafından yapılan çalışma hariç tutulduğunda, dayanım değerlerindeki artış dayanım oranını etkilememektedir. Tez kapsamında sadece bazalt verileri derlenmiş olup, R değerlerinin genellikle 5–15 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır. Çalışmada kullanılan R değerlerinin (4–32) ortalaması ise 10.5’tir. Söz konusu değer hem literatürle (Kahraman vd., 2012) hem de bu çalışmada bazaltlardan elde edilen R değeri (10.3) ile uyumludur. Bu çalışmada aynı tür kaya için bile tek bir R katsayısının olmadığı, buna rağmen tek tip kaya çalışıldığı için R değerlerinin nispeten yakın bir aralıkta değiştiği anlaşılmıştır. Bazaltların kendi içinde oldukça geniş bir dağılım (vesiküler, amigloidal, olivin ojitli vb.) göstermesi R değerlerinin nispeten değişimine neden olduğu düşünülmüştür.



Şekil 21. Dayanım oranının dayanım ile ilişkisi

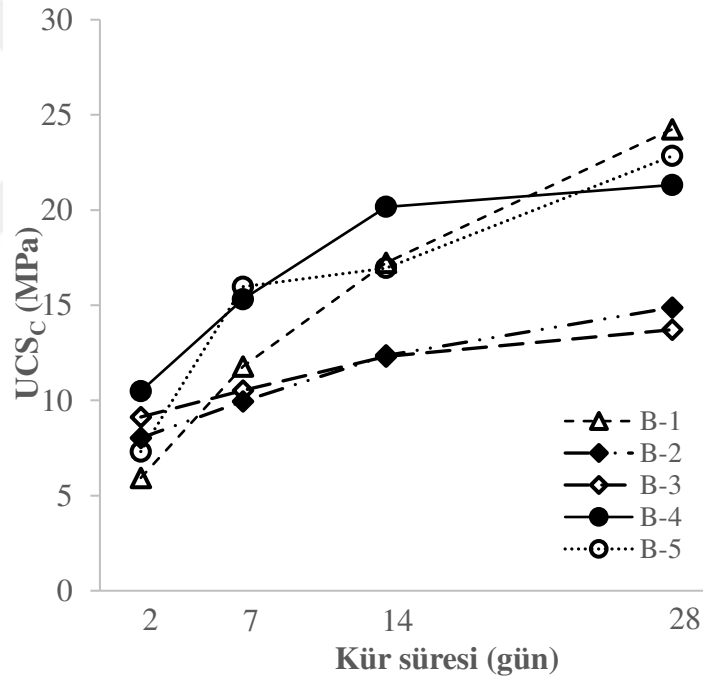
3.4. Kür Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Tez kapsamında kullanılan bazaltlardan elde edilen agregalar kullanılarak beton örnekleri hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde farklı kür sürelerinde (2, 7, 14 ve 28 gün) UCS_C, PLI_C ve BÇD_C deneyleri yapılmıştır (Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24). Genel olarak UCS_C, PLI_C ve BÇD_C değerlerindeki artış kür süresi ile doğru orantılıdır. Öte yandan hangi

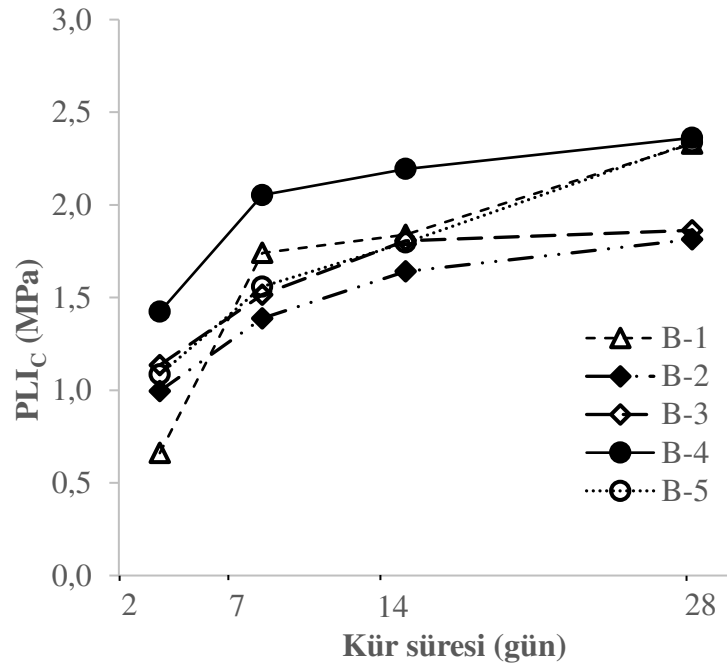
parametre olursa olsun 2 günlükten 7 gnlge geçişte diğەرlerine oranla çok artış göstermiştir.

Madandoust vd. (2018)'e göre, UCS_C ve PLI_C beton yaı ile artış gösterir. Ayrıca, suda kürlenen betonun UCS_C'nin ve PLI_C'nin kuru kr koşullarından daha yüksek dayanım kazandığını belirtmiştir. Beton örneklerin kurudan ıslak koşullara UCS_C'si yaklaşık %8 artmış PLI ise yaklaşık %12 ykseleme göstermiştir. Wang vd. (2017) yaptığı çalışmada hem UCS_C hem de BD_C krleme koşullarına duyarlıdır diye ifade etmiştir.

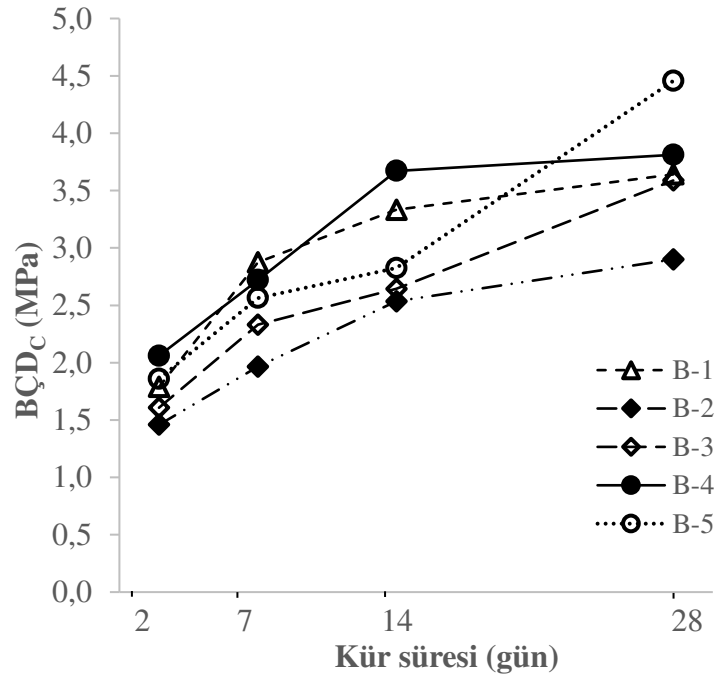
Birçok araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalarda farklı kür koşullarında beton yaı ile dayanım kazanabileceğini belirtmiştir ve 14 günlükken basınç dayanımının % 85-90'ını kazanabileceğini ifade etmişlerdir (Krishna vd., 2010; Prem vd., 2013; Raheem vd., 2013; Wang vd., 2017).



Şekil 22. Kr süresi ve UCS_C arasındaki ilişki



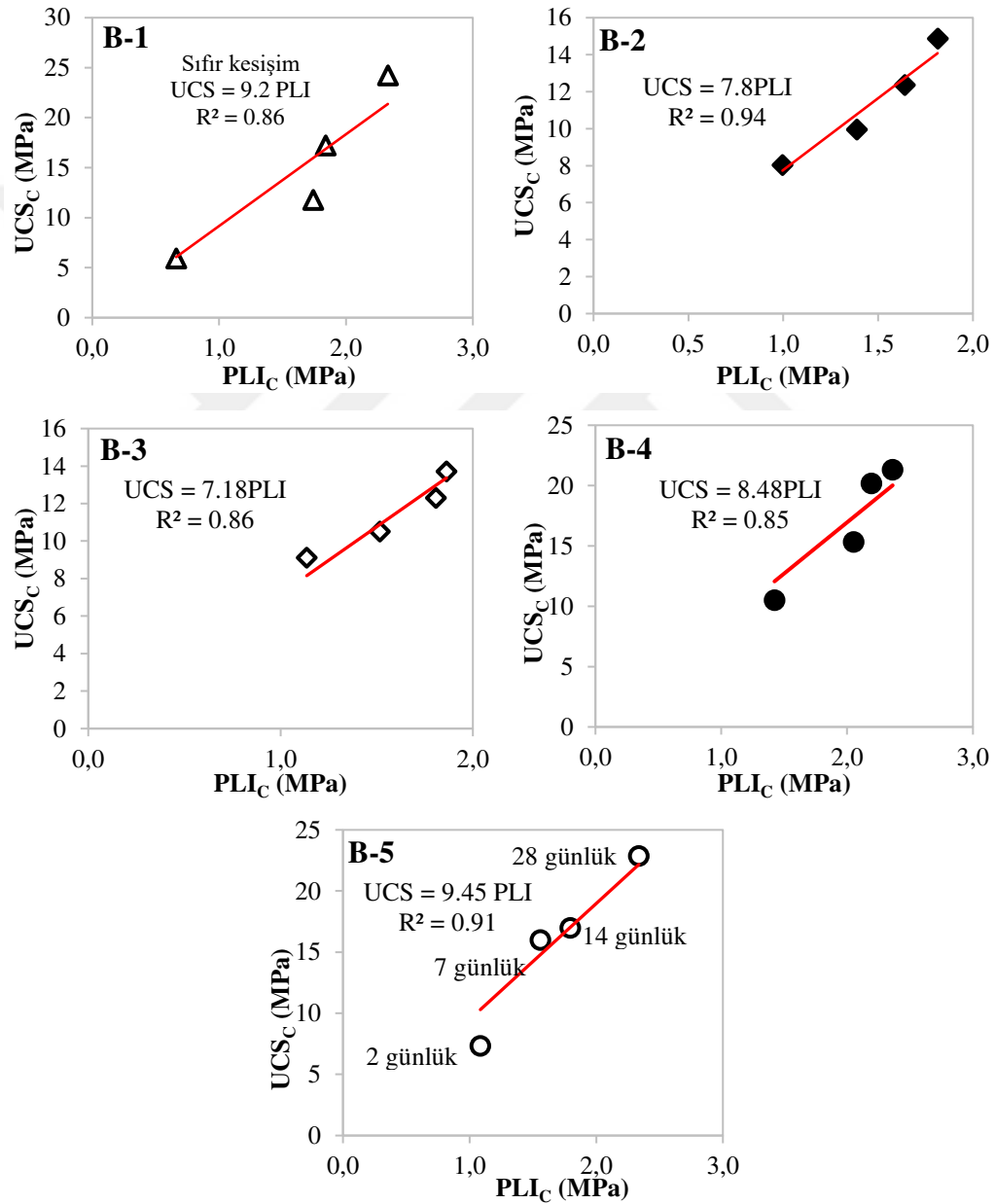
Şekil 23. Kür süresi ve PLI_C arasındaki ilişki



Şekil 24. Kür süresi ve $BÇD_C$ arasındaki ilişki

3.5. UCS_C ve PLI_C Arasındaki İlişki

Değişen kür sürelerinde UCS_C ve PLI_C veri çiftleri arasındaki ilişkiler bazalttan yapılmış beton için araştırılmıştır (Şekil 25). Analizler sıfır kesişim basit regresyon analizleri ile yapılarak değişen kür sürelerinde k katsayısının belirlenmesi sağlanmıştır. Sıfır kesişim basit regresyon analizine göre determinasyon katsayısı (R^2) 0.85-0.94 aralığında değişmiştir.

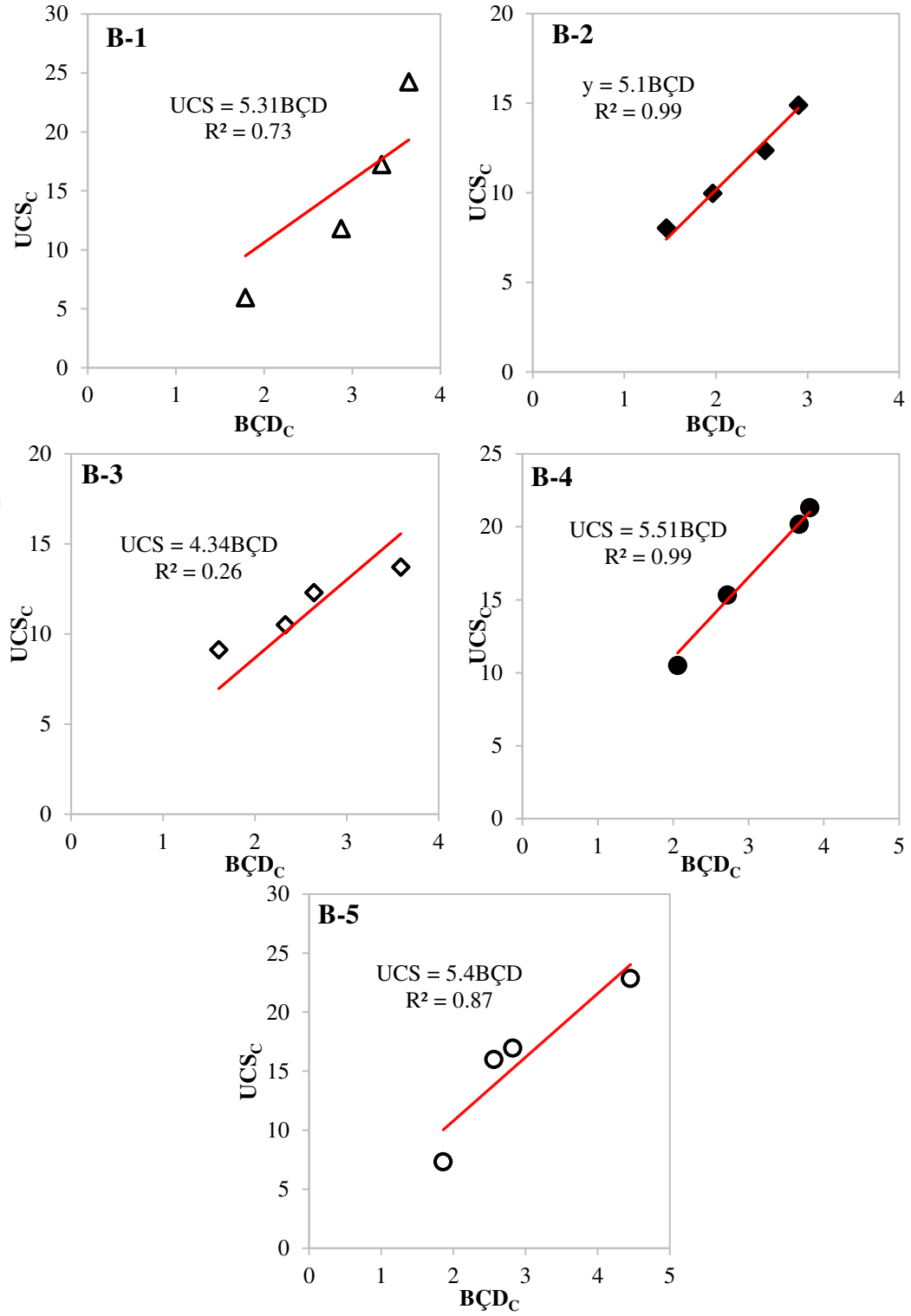


Şekil 25. Değişen kür sürelerinde UCS_C ve PLI_C arasındaki ilişki

Kür süresine bağılı olarak UCS_C-PLI_C arasında yüksek–çok yüksek ilişkiler elde edilmiştir. Sıfır kesişim basit regresyon analizine göre UCS_C tahmini için PLI_C parametresinin katsayıları oldukça dar bir aralıkta (7.18-9.45) değişmiştir. Söz konusu katsayılar 2, 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için geçerli olup, betonun uzun süren kür koşullarındaki dayanımları aynı hızla artmayıp bazen azalmak suretiyle değişebilmektedir. Ayrıca, hızlı priz özelliği sağlayan, mineral katkı vb. farklı çimento türleri de sonucu etkileyebilmektedir. Bu nedenle söz konusu eşitlikler sadece bu çalışmada kullanılan çimento türü için ve belirtilen kür süreleri için geçerlidir.

3.6. UCS_C ve BÇD_C Arasındaki İlişki

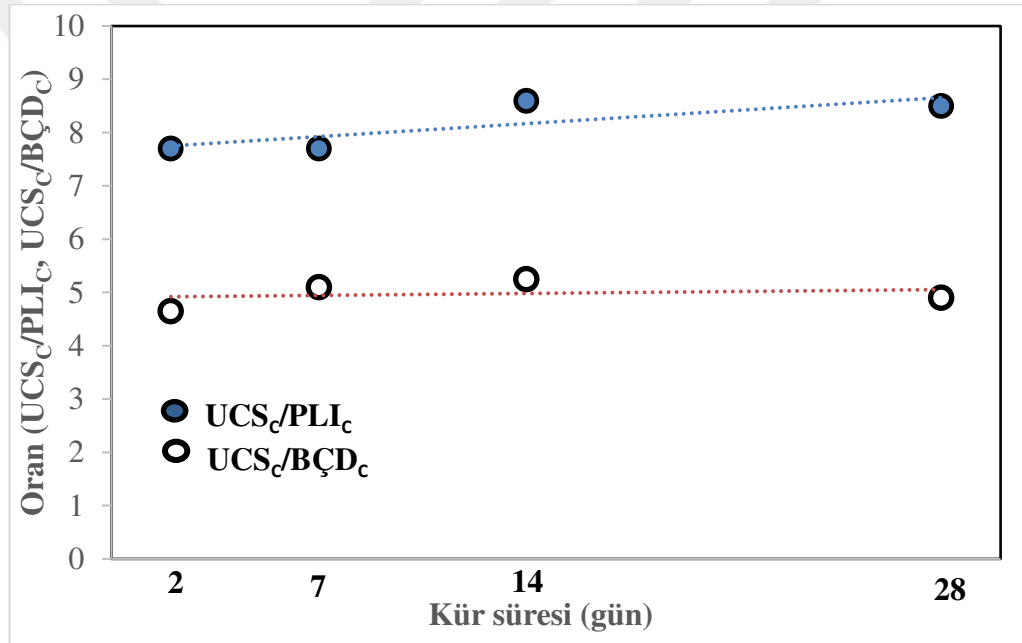
Değişen kür sürelerinde UCS_C ve BÇD_C veri çiftleri arasındaki ilişkiler bazalttan yapılan beton örnekleri için araştırılmıştır (Şekil 26). Analizler UCS_C ve PLI_C veri çiftlerinde olduğu gibi sıfır kesişim basit regresyon ile yapılmıştır. Sıfır kesişim basit regresyon analizine göre determinasyon katsayısı (R^2) 0.26–0.99 aralığında değişmiştir. Kür süresine bağılı olarak UCS_C-BÇD_C arasında genellikle yüksek–çok yüksek ilişkiler elde edilmiştir. Sıfır kesişim basit regresyon analizine göre UCS_C tahmini için BÇD_C parametresinin katsayıları nokta yükü parametresinde olduğu gibi oldukça dar bir aralıkta (4.34–5.51) değişmiştir. Söz konusu katsayılar 2, 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için geçerli olup, UCS_C-PLI_C ilişkisinde ifade edilen sınırlamalar burada da geçerlidir.



Şekil 26. Değişen kür sürelerinde UCS_c ve $BÇD_c$ arasındaki ilişki

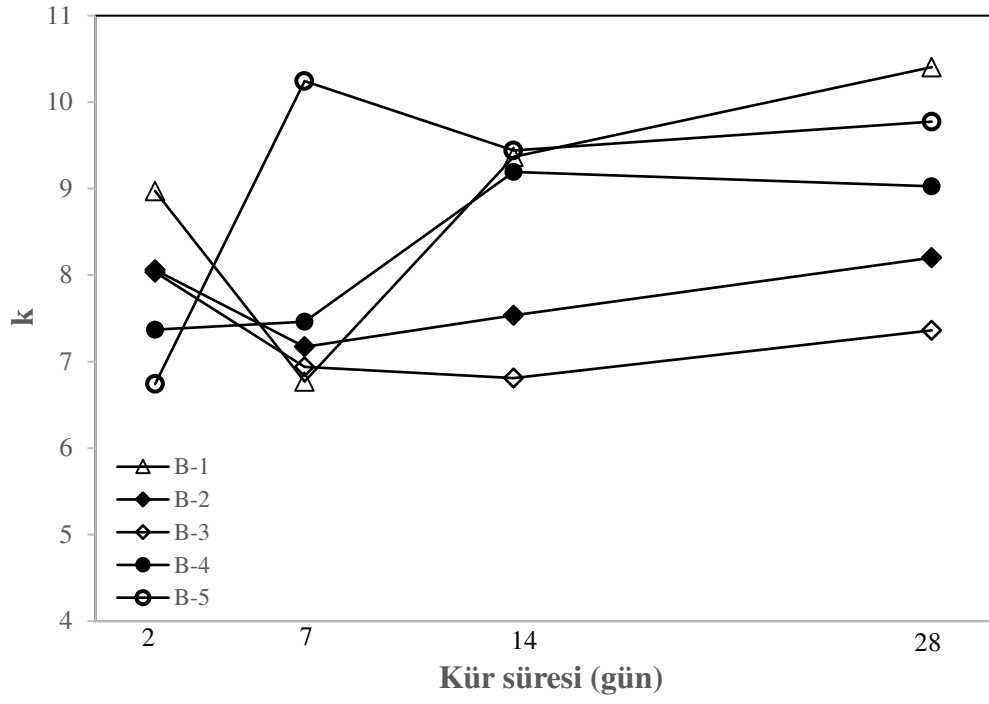
3.7. Kaya ve Beton Örneklerinde K ve R Katsayılarının Kıyaslanması

Bazaltların ortalama k değeri 17.1 olarak, R değeri ise 10.3 olarak bulunmuştur. Bütün bazaltlardan elde edilen beton için kür sürelerine göre k ve R katsayıları hesaplanmış ve grafikte gösterilmiştir (Şekil 27). k oranlarının kür süresi artışına paralel olarak küçük bir artış gösterdiği ancak yine de bu artışın anlamlı olmadığı görülmüştür. Ortalama k değeri bütün kür süreleri için 8.2 olarak elde edilmiştir. Öte yandan R katsayısı kür sürelerinden etkilenmemiş ve yatay bir yönelim izlemektedir. Ortalama R değeri bütün kür süreleri için 5 olarak elde edilmiştir. K ve R oranlarının kayaç örneklerinde beton örneklerine kıyasla yaklaşık 2 kat daha yüksek çıktığı anlaşılmaktadır.



Şekil 27. Bütün kayaçlardan yapılan beton için k ve R'nin kür sürelerine göre değişimi

k değerleri kayaç bazında kür süresine göre değerlendirilmiş ve Şekil 28'da verilmiştir. k değerlerinin özellikle 2 ve 7 günlük kür sürelerinde değişken olduğu görülmüştür. Genel olarak bakıldığında k değerleri 14 ve 28 günlük kür sürelerinde daha istikrarlı olup, değişkenliği oldukça az olmuştur. Betonun kür alması 2 ve 7 günlük kür sürelerinde henüz tamamlanmaması k değerlerindeki değişimin asıl kaynağını oluşturmaktadır.



Şekil 28. Kayaç bazında kür süresine göre k değerlerindeki değişim

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bazaltların (5 farklı) bazı önemli fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışılan kayalardan elde edilen agregalardan beton örnekleri hazırlanmıştır. Kayalarda yaygın olarak kullanılan k ve R katsayıları betonun farklı kür süreleri için araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- 1- Kayaların UCS_R ve PLI_R değerleri arasında elde edilen k değerinin ortalaması 17.1 olarak hesaplanmıştır. Literatürden ve bu tez çalışmasından bazaltlara yönelik detaylı araştırma yapılmış ve UCS_R tahmini için önerilen k katsayılarının 17–20 aralığında olabileceği önerilmiştir.
- 2- Kayaların UCS_R ve $B\check{C}D_R$ arasındaki oranı ifade eden dayanım oranı (R) bu çalışmada 10.3 olarak bulunmuş ve söz konusu değerin literatür ile örtüştüğü anlaşılmıştır. Literatürden ve bu tez çalışmasından bazaltlara yönelik detaylı araştırma yapılmış ve UCS_R tahmini için önerilen R katsayılarının ortalama 10.5 olduğu görülmüştür.
- 3- Bazalt agregalarından oluşturulan betonun kür süresi üzerine UCS_C , PLI_C ve $B\check{C}D_C$ parametresinin etkisi araştırılmıştır. Kür süresi arttıkça UCS_C , PLI_C ve $B\check{C}D_C$ değerleri de artış göstermiştir.
- 4- Değişen kür sürelerinde UCS_C ve PLI_C veri çiftleri arasındaki ilişkiler bazaltlar için araştırılmış ve veri çiftleri arasında bütün kayalar için genellikle çok yüksek ($R^2 > 0.85$) ilişki bulunmuştur. Sıfır kesişim basit regresyon analizine göre UCS_C tahmini için PLI_C parametresinin katsayıları oldukça dar bir aralıkta (7.18–9.45) değişmiştir.
- 5- UCS_C ve PLI_C veri çiftleri arasındaki ilişkiye benzer bir şekilde UCS_C ve $B\check{C}D_C$ veri çiftleri arasında genellikle (B-3 hariç) çok yüksek determinasyon katsayıları ($R^2 > 0.90$) elde edilmiştir. UCS_C tahmini için $B\check{C}D_C$ parametresinden elde edilen R oranları oldukça dar bir aralıkta (4.34–5.51) değişmiştir.
- 6- Bütün beton örneklerinde hesaplanan k oranlarının kür süresi artışına paralel olarak küçük bir artış gösterdiği ancak yine de bu artışın anlamlı olmadığı görülmüştür. Ortalama k değeri bütün kür süreleri için 8.2 olarak elde edilmiştir. k değerleri her beton için ayrı ayrı kür süresine göre ele alınmış ve değişimlerin genellikle 2 ve 7

günlük kür sürelerinde yaşandığı, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

- 7- R katsayısı ise kür sürelerinden etkilenmemiş ve yatay bir yönelim izlemektedir. Ortalama R değeri bütün kür süreleri için 5 olarak elde edilmiştir. k ve R oranlarının kayalık örneklerinde beton örneklerine kıyasla yaklaşık 2 kat daha yüksek çıktığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre k ve R değerleri ön analizlerde bazaltların dayanım tahmininde kullanılabilir. Bazalttan oluşturulan beton dayanımında ise bu çalışmadaki karışım oranlarına benzer ise dayanım hakkında bir fikir vermesi amacıyla dikkatle kullanılabilir.

Bu tez çalışması kapsamında sadece bazalt kullanılmıştır. k ve R katsayılarının başka kaya türlerinde ve başka türde kayalardan elde edilen agrega için test edilmesi önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- ACI Committee 318., 2014. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14), American Concrete Institute, 519.
- Aggistalis, G., Alivizatos, A., Stamoulis, D. ve Stournaras, G., 1996. Correlating uniaxial compressive strength with Schmidt hardness, point load index, Young's modulus, and mineralogy of gabbros and basalts (Northern Greece), Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 54, 1, 3-11. <https://doi.org/10.1007/BF02600693>
- Akbay D. ve Altındağ, R., 2020. Reliability and evaluation of point load index values obtained from different testing devices, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 120, 3, 181-190, <https://doi.org/10.17159/2411-9717/759/2020>
- Altındağ, R. ve Güney, A., 2010. Predicting the relationships between brittleness and mechanical properties (UCS, TS and SH) of rocks, Scientific Research and Essays, 5, 16, 2107-2118. <https://doi.org/10.5897/SRE.9000753>
- ASTM., 1984. Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens, Soil and rock, building stones: annual book of ASTM standards, American Society for testing and materials, 4.08, Philadelphia, Pennsylvania.
- Başarır, H., Kumral, M. ve Özsan, A., 2004. Kayaların tek eksenli basınç dayanımının basit deney yöntemleriyle tahmini, Kayamek 2004-VII. Bölgesel Kaya Mekanik Sempozyumu, Sivas, Türkiye, 111-117.
- Bieniawski, Z. T., 1974. Estimating the strength of rock materials: 7F, 5T, 18R. J.S. AFRICAN INST. MIN. METALL. V74, N8, MAR. 1974, P312-320, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 11, 8 Z. T., A160. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(74\)91782-3](https://doi.org/10.1016/0148-9062(74)91782-3)
- Bieniawski, Z., T., 1975. The point-load test in geotechnical practice, Engineering Geology, 9, 1, 1-11. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(75\)90024-1](https://doi.org/10.1016/0013-7952(75)90024-1)
- Bieniawski, Z., T. ve HAWKES, I., 1978. Suggested methods for determining tensile strength of rock materials, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 15, 99-103.
- Brady, B., H., G. ve Brown, E., T., 2004. Rock Mechanics for Underground Mining, 3. Baskı, Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2116-9>
- Broch, E. ve Franklin, J., A., 1972. The point-load strength test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 9, 6, 669-676. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90030-7)

- Brook, N., 1993. The measurement and estimation of basic rock strength, In: Hudson, J., A., (Ed.), *Rock Testing and Site Characterization*, Pergamon press, Oxford, 41-46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042066-0.50009-4>
- Cai, M., 2010. Practical estimates of tensile strength and Hoek–Brown strength parameter m_i of brittle rocks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 2, 167–184. <https://doi.org/10.1007/s00603-009-0053-1>
- Carino, N., J. ve Lew, H., S., 1982. Re-examination of the relation between splitting tensile and compressive strength of normal weight concrete, *ACI Journal*, 79, 30, 214–219.
- Carneiro, F., L., L., B. ve Barcellos, A., 1953. Concrete Tensile Strength, *International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures (RILEM) Paris, Bulletin*, 13, 97-123.
- CEB-FIP Model Code for Concrete Structures., 1990, 1991. Evaluation of the Time Dependent Behaviour of Concrete, Bulletin d'Information, No. 199, Comite European du Béton/Fédération Internationale de la Précontrainte, Lausanne, Switzerland, 201.
- Coviello, A., Lagioia, R. ve Nova, R., 2005. On the measurement of the tensile strength of soft rocks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38, 4, 251–273. <https://doi.org/10.1007/s00603-005-0054-7>
- D'Andrea, D., V., Fisher, R., L. ve Fogelson, D., E., 1964. Prediction of compression strength from other rock properties, *Colo School Mines*, 59, 4, 623–640.
- Deere, D., U. ve Miller, R., P., 1966. Engineering classifications and index properties for intact rock, Technical report No. AFWL-TR-65-116, University of Illinois, Urbana.
- Din, F. ve Rafiq, M., 1997. Correlation between compressive strength and tensile strength/index strength of some rocks of North-West Frontier Province (limestone and Granite), *Geological Bulletin, University of Peshawar*, 30, 183-190.
- Dunnett, C., W. ve Tamhane, A., C., 1992. A step-up multiple test procedure, *Journal of the American Statistical Association*, 87, 417, 162-170. <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475188>
- El Dalati, R., Matar, P., Haddad, S. ve Hage Chehade, F., 2011. Relationship between the compressive and tensile strength of recycled concrete, *Advanced Materials Research*, 324, 348-351. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.324.348>
- Endait, M. ve Juneja, A., 2015. New correlations between uniaxial compressive strength and point load strength of basalt, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 9, 4, 348-353. <https://doi.org/10.1179/1939787914Y.00000000073>
- Erdoğan, T., Y., 2007. Beton, O.D.T.Ü., Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş. Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara, 67- 682.

- Farah, R., 2011. Correlations between index properties and unconfined compressive strength of weathered Ocala Limestone, Yüksek Lisans Tezi, University of North Florida, Florida. <https://digitalcommons.unf.edu/etd/142>
- Farmer, I., W., 1983. Engineering behaviour of rocks, Ed. 1, Springer, Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5978-1>
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A. ve Gunaydin, O., 2005. A Comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks, Rock Mechanics and Rock Engineering, 38, 4, 329-343. <https://doi.org/10.1007/s00603-005-0061-8>
- Franklin, J. A., 1985. Suggested method for determining point load strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstract, 22, 2, 51-60. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(85\)92327-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(85)92327-7)
- Gardner, N., J., Sau, P., L. ve Cheung, M., S., 1988. Strength development and durability of concretes cast and cured at 0°C, ACI Materials Journal, 85, 6, 529–536. <https://trid.trb.org/view/290337>
- Gokhale, K., V., G., K., 1960. Experiments in engineering geology, 23-32, 47-49, Tata McGraw-Hill, New Delhi. <https://books.google.com.tr/books?id=Gj0sJQAACAAJ>
- Greminger, M., 1982. Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 19, 5, 241–246. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(82\)90222-4](https://doi.org/10.1016/0148-9062(82)90222-4)
- Hudson, J., A., Brown, E., T. ve Rummel, F., 1972. The controlled failure of rock discs and rings loaded in diametral compression, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 9, 2, 241-248. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90025-3)
- ISRM., 1981. Rock characterization, testing and monitoring, ISRM suggested Methods, E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, Oxford. <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000309036>
- ISRM., 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: R. Ulusay ve J. A. Hudson (Eds.), suggested methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics (ISRM), Turkish National Group, 628, Ankara, Turkey.
- JSCE, 2007. Standard specifications for concrete structures-2007, Materials and Construction, Japan Society of Civil Engineers, JSCE, Tokyo.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38, 7, 981-994. [https://doi.org/10.1016/s1365-1609\(01\)00039-9](https://doi.org/10.1016/s1365-1609(01)00039-9)

- Kahraman, S., Fener, M. ve Kozman, E., 2012. Predicting the compressive and tensile strength of rocks from indentation hardness index, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 112, 5, 331-339.
- Kahraman, S., 2014. The determination of uniaxial compressive strength from point load strength for pyroclastic rocks, Engineering Geology, 170, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.12.009>
- Kalaycı, Ş., 2009. SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, 4. Baskı, 426, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, Turkey.
- Karaman, K. ve Kesimal, A., 2015. Evaluation of the influence of porosity on the engineering properties of volcanic rocks from the Eastern Black Sea Region: NE Turkey, Arabian Journal of Geosciences, 1, 8, 557-564. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1217-6>
- Karaman, K., Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A. ve Demirel, S., 2015. Utilization of the Brazilian test for estimating the uniaxial compressive strength and shear strength parameters, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115, 3, 185-192. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n3a3>
- Karaman, K. ve Bakhytzhan, A., 2020. Prediction of concrete strength from rock properties at the preliminary design stage, Geomechanics and Engineering, 23, 2, 115-125. <https://doi.org/10.12989/gae.2020.23.2.115>
- Karaman, K. ve Kesimal, A., 2012. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Nokta Yüğü Deney Yöntemleri ve Porozitenin Değerlendirilmesi, Bilimsel Madencilik Dergisi, 51, 4. <http://www.mining.org.tr/en/pub/issue/32472/361051>
- Kaya, A. ve Karaman, K., 2016. Utilizing the strength conversion factor in the estimation of uniaxial compressive strength from the point load index, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75, 1, 341-357. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0721-1>
- Kılıç, A., M., Karakuş, A. ve Keskin, M., Ö., 2003. Diyarbakır yöresi mermerlerinin fiziko-mekanik özellikleri-özellikler-enerji ilişkisi, Türkiye IV. Mermer sempozyumu (MERSEM 2003), 18-19 Aralık, Afyon, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 159-171.
- Kılıç, A. ve Teymen, A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, 2, 237-244. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0128-3>
- Krishna, R., M., V., Kumar, R., P. ve Khan, A., M., 2010. A study on the influence of curing on the strength of a standard grade concrete mix, Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering, 8, 1, 23-34. <https://doi.org/10.2298/FUACE1001023K>

- Madandoust, R., Bazkiae, Z., F., Z. ve Kazemi, M., 2018. Factor influencing point load tests on concrete, Asian Journal of Civil Engineering, 19, 937-947. <https://doi.org/10.1007/s42107-018-0074-8>
- Mellor, M. ve Hawkes, I., 1971. Measurement of tensile strength by diametral compression of discs and annuli, Engineering Geology, 5, 3, 173-225. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(71\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0013-7952(71)90001-9)
- Mishra, D., A. ve Basu, A., 2013. Estimation of uniaxial compressive strength of rock materials by index tests using regression analysis and fuzzy inference system, Engineering Geology, 160, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.04.004>
- Mohamed, M., S., E., Saeed, M., A. ve Radwan, N., A., A., 2019. Prediction of unconfined compressive strength of rocks by point load strength index, Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, 14, 51, 453-459. <https://doi.org/10.21608/aej.2019.33351>
- Nanda, A., K. ve Singh, J., 2017. Evaluation of relation between split tensile and compressive strength of OPC concrete, Research Cell: An International Journal of Engineering Sciences, 25, 211-221.
- Nazir, R., Momeni, E., Armaghani, D., J. ve Amin, M., M., 2013. Correlation between unconfined compressive strength and indirect tensile strength of limestone rock samples, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 18, 1, 1737-1746.
- Obayes, O., Gad, E., Pokhare, T., Lee, J. ve Abdouka, K., 2020. Evaluation of concrete material properties at early age, CivilEng, 1, 3, 326-350. <https://doi.org/10.3390/civileng1030021>
- Okay, A., I. ve Şahintürk, O., 1997. Geology of the eastern Pontides, in A.G. Robinson, Ed., Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region: AAPG memoirs 68: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., 291-311.
- Oluokun, F., A., Burdette, E., G. ve Deatherage, J., H., 1991. Splitting tensile strength and compressive strength relationships at early ages, ACI Materials Journal, 88, 2, 115-121.
- Özdemir, E. ve Sarıcı, D., E., 2019. Yazihan (Malatya) bazaltının fiziko-mekanik özellikleri bakımından balast taşı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, 1. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Aralık, Malatya, Türkiye, 1, 295-299.
- Palchik, V. ve Hatzor, Y., H., 2004. The influence of porosity on tensile and compressive strength of porous chalks, Rock Mechanics and Rock Engineering, 37, 4, 331-341. <https://doi.org/10.1007/s00603-003-0020-1>

- Pâmmela, C., P., S., Michel, M., O. ve Priscilla, P., N., 2016. Correlation between uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength using different rock types, VII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Kasım, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.
- Panek, L., A. ve Fannon, T., A., 1992. Size and shape effects in point load tests of irregular rock fragments, Rock Mechanics and Rock Engineering, 25, 2, 109–140. <https://doi.org/10.1007/bf01040515>
- Parlak, O., Çolakoğlu, A., Dönmez, C., Sayak, H., Yildirim, N., Türkel, A. ve Odabaşı, İ., 2013. Geochemistry and tectonic significance of ophiolites along the İzmir–Ankara–Erzincan Suture Zone in northeastern Anatolia, Geological Society, London, Special Publications, 372, 1, 75-105. <http://dx.doi.org/10.1144/SP372.7>
- Pells, P., J., N., 1976. The use of point load test in predicting the compressive strength of rock materials, Technical note: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 13, 6, A60. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(76\)91301-2](https://doi.org/10.1016/0148-9062(76)91301-2)
- Prem, P., R., Bharatkumar, B., H. ve Iyer, N., R., 2013. Influence of curing regimes on compressive strength of ultra high performance concrete, Sadhana, 38, 1421-1431. <https://doi.org/10.1007/s12046-013-0159-8>
- Raheem, A., A., Soyngbe, A., A. ve Emenike, A., J., 2013. Effect of curing methods on density and compressive strength of concrete, International Journal of Applied Science and Technology, 3, 4, 55-64.
- Raj, K. ve Roghanchi, P., 2015. Correlations between direct and indirect strength test methods, International Journal of Mining Science and Technology, 25, 3, 355-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.03.005>
- Ramamurthy, T., 2001. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38, 5, 683-697. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(01\)00035-1](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(01)00035-1)
- Raphael, J., M., 1984. Tensile strength of concrete, AC Journal Proceedings, 81, 2, 158-165. <https://doi.org/10.14359/10653>
- Read, J., R., L., 1980. Thornten, P. N. ve Regan, W. M., A rational approach to the point load test, Proc. 3rd Australian-New Zealand Conference on Geomechanics, 12-13 Mayıs, Wellington, 35–39.
- Richardson D., N., 1989. Point load test for estimation of concrete compressive strength, ACI Materials Journal, 86, 4, 409-416. <https://doi.org/10.14359/2189>
- Robins, P., J., 1980. The point-load strength test for concrete cores, Magazine of Concrete Research, 32, 111, 101-111. <https://doi.org/10.1680/mac.1980.32.111.101>

- Roghanchi, P., 2013. Application of Index Test Methods for Intact Rock Strength Assessment, Yüksek Lisans Tezi , University of Nevada, Reno.
- Ronmar, C., 2016. Correlation of rock strength between uniaxial compressive, Brazilian and point load tests: a laboratory study, Lisans Tezi, The university of Queensland, Queensland.
- Ros, S. ve Shima, H., 2013. Relationship between splitting tensile strength and compressive strength of concrete at early age with different types of cements and curing temperature histories, Concr. Inst. Proc., 35, 427-432.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G. ve Papanakli, S., 2008. Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks, Engineering geology, 97, 1-2, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.12.004>
- Selçuk, L. ve Süleyman Gökçe, H., 2015. Estimation of the compressive strength of concrete under point load and its approach to strength criterions, KSCE Journal of Civil Engineering, 19, 6, 1767-1774. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-1303-2>
- Sharo, A., A. ve Al-Tawaha, M., S., 2019. Prediction of engineering properties of basaltic rocks in Jordan, International Journal of Civil Engineering and Technology, 10, 1, 1731-1739.
- Sheorey, P., R., 1997. Empirical rock failure criteria. Ed. 1, A. A., Balkema, Rotterdam.
- Singh, R., N., Hassani, F., P. ve Elkington, P., A., S., 1984. Application of strength and deformation index testing to the stability assessment of coal measures excavations, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 21, 2, 48. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(84\)91244-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(84)91244-0)
- Singh, T., N., Kainthola, A. ve Venkatesh, A., 2012. Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types, Rock Mechanics and Rock Engineering, 45, 259–264. <https://doi.org/10.1007/s00603-011-0192-z>
- Smith, H., J., 1997. The point load test for weak rock in dredging applications, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34, 3-4, 295.e1-295.e13. [https://doi.org/10.1016/s1365-1609\(97\)00063-4](https://doi.org/10.1016/s1365-1609(97)00063-4)
- Şahin, M., Ulusay, R. ve Karakul, H., 2020. Point load strength index of half-cut core specimens and correlation with uniaxial compressive strength, Rock Mechanics and Rock Engineering, 53, 8, 3745–3760. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02137-9>
- Tahir, M., Mohammad, N. ve Din, F., 2011. Strength parameters and their inter-relationship for limestone of Cherat and Kohat areas of Khyber Pakhtunkhwa, Journal of Himalayan Earth Sciences, University of Peshawar, Pakistan, 44, 2, 45-51.
- Topal, T., 2000. Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 24, 1, 73-86. <https://hdl.handle.net/11511/79100>

- T.S.E., 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- Ueda, T. ve Doboku G., 2005. Standard specifications for concrete structures-2002: "materials and construction". Tokyo, Japan: Subcommittee on English Translation of the Standard Specifications, Japan Society of Civil Engineers, JSCE guidelines for concrete, 6.
- Ulusay, R., 2015. The Present and Future of Rock Testing: Highlighting the ISRM Suggested Methods. In R. Ulusay (Ed.), The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, 1-22, Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07713-0_1
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2007. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 60, 2, 292.
- Vutukuri, V., S., Lama, R., D. ve Saluja, S., S., 1974. Handbook on mechanical properties of rocks. Testing techniques and results. Volume 1. Textbook: 200F, 30T, 260R. TRANS. TECH. PUBLICATIONS, V1, 1974, 300P, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 11, 11, A218. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(74\)90479-3](https://doi.org/10.1016/0148-9062(74)90479-3)
- Wang, L., Bao, J. ve Cheng, B., 2017. Influence of curing conditions on properties of normal and high strength concrete with and without pre-wetted lightweight aggregates, Journal of Advanced Concrete Technology, 15, 7, 300-313. <https://doi.org/10.3151/jact.15.300>
- Yagiz, S., 2009. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer, Bulletin of engineering geology and the environment, 68, 1, 55-63. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0172-z>
- Yenice, H., 2019. Determination of Drilling Rate Index Based on Rock Strength Using Regression Analysis, Anais da Academia Brasileira de Ciências, 91, 3, e20181095. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920181095>
- Yıldız, S., Işık, N. ve Keleştemur, O., 2008. Diyarbakır-Karacadağ bazalt taşlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20, 4, 617-626.
- Youssof Mahamat Tahir, O. ve Karaman, K., 2021. Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 4, 1242-1249. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.937826>
- Zacoeb, A., Ishibashi, K. ve Ito, Y., 2006. Estimating the compressive strength of drilled concrete cores by point load testing. Proceeding of the 29th JCI Annual Meeting, Sendai (Japan), 525-530.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta okulu Abéché (Çad) şehrinde okudu. Lise öğrenimini ise Ndjamena’da tamamladı. 2013 yılında “Institut National Supérieur de Pétrole de Mao”, Petrol Mühendisliği Bölümü’nü kazanıp 2017 başarıyla tamamladı.

2018 yılında “China National Petroleum Corporation International Chad Ltd.” şirketinde Saha Operatörü olarak 5 ay çalıştı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans bursunu kazandı ve Yabancı diller eğitimi bölümünde bir sene Türkçe hazırlık yapıp 2019 yılında ise Fen bilimler Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans dersleri başladı.

Fransızca ve Arapça ana dili olup, çok iyi derecede İngilizce ve Türkçe bilmektedir. Gelişen teknolojiyi hem petrol hem maden ile ilgili takip etmektedir.

Tez Kapsamında Yapılan Bilimsel Çalışmalar:

Youssef Mahamat Tahir, O. ve Karaman, K., 2021. Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 4, 1242-1249. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.937826>