



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KAYAÇLARIN KIRILGANLIK İNDEKS DEĞERİ
İLE KAYA MEKANİĞİ ÖZELLİKLERİ
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

Abdullah UYSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah UYSAL tarafından hazırlanan “KAYAÇLARIN KIRILGANLIK İNDEKS DEĞERİ İLE KAYA MEKANİĞİ ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr.Öğr.Üyesi Ali Ekrem ARITAN

Danışman


Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN

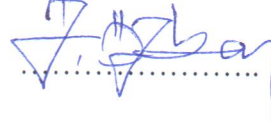
Üye

Prof.Dr. İhsan ÖZKAN

İmza


.....


.....


.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

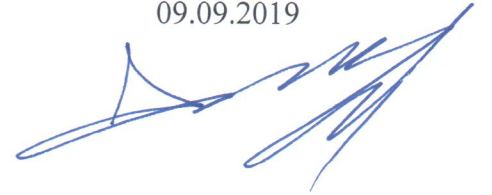
TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdullah UYSAL
09.09.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAYAÇLARIN KIRILGANLIK İNDEKS DEĞERİ İLE KAYA MEKANIĞI ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Abdullah UYSAL

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN

2019, 71 Sayfa

Jüri

Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN

Prof.Dr. İhsan ÖZKAN

Dr.Öğr.Üyesi Ali Ekrem ARITAN

Kırılgnlık kayaçların önemli mekanik özelliklerindedir. Son yıllarda özellikle kazı mekaniği alanında performans tahmininde kullanılan önemli bir parametre haline gelmiştir. Kaya mekaniğinde kaya malzemesinin bir davranışı olarak tanımlanan kırılgnlık, günümüzde kazılabilirlik, aşındırıcılık, delinebilirlik, kesilebilirlik ve malzeme olarak kullanılabilirlik vb. konularının anlaşılmasında önemli veriler sağlamaktadır. Kırılgnlık çeşitli araştırmacılar tarafından bazı özel test cihazları kullanılarak deneysel olarak bulunabildiği gibi ayrıca kayaçların dayanım özellikleri yardımıyla da ampirik olarak bulunabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınmış 5 farklı kayaçların kırılgnlık özelliklerini fiziksel ve mekanik özellikleri ile karşılaştırmaktır. Bunun için kayaçların kırılgnlık özellikleri hem deneysel olarak NTNU tarafından geliştirilen kırılgnlık (S_{20}) deneyi ile hem de literatürde yaygın olarak kullanılan kayaçların dayanım özelliklerine dayanan ampirik formüller (B_1 , B_2 , B_3 ve B_4) yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, yoğunluk ve kuru ağırlık kaybı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri kaya mekaniği deneyleri ile belirlenerek kırılgnlık özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeye göre S_{20} kırılgnlık değeri ile R_L ve $I_{S(50)}$ değerleri arasında güçlü ve anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: S_{20} kırılgnlık indeksi, kaya mekaniği, kazı mekaniği, matematiksel modelleme, regresyon

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ROCK BRITTLENESS INDEX AND ROCK MECHANICS CHARACTERISTICS OF ROCKS

Abdullah UYSAL

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering

Advisor: Asst.Prof.Dr. Hakan ÖZŞEN

2019, 71 Pages

Jury

Asst.Prof.Dr. Hakan ÖZŞEN

Prof.Dr. İhsan ÖZKAN

Asst.Prof.Dr. Ali Ekrem ARITAN

Brittleness is one of the important mechanical properties of rocks. In recent years, it has become an important parameter used in performance estimation especially in the field of excavation mechanics. The brittleness, which is defined as a behaviour of rock material in rock mechanics, provides important data in understanding the issues such as excavability, abrasiveness, perforability, cuttability and usability as material. Brittleness can be found empirically by various researchers using some special test equipment and also with the help of strength properties of rocks. The purpose of this study is to compare the physical and mechanical properties of five different rocks taken from different regions of Turkey. For this purpose, the brittleness characteristics of the rocks were determined both by the experimentally developed brittleness (S_{20}) test and by the empirical formulas (B_1 , B_2 , B_3 and B_4) based on the strength characteristics of the rocks commonly used in the literature. Then, the physical and mechanical properties of rocks such as uniaxial compressive strength, indirect tensile strength, point loading strength, Schmidt hammer hardness, density and dry weight loss were determined by rock mechanics tests and compared with their brittleness properties. According to the statistical evaluation, strong and significant relationships were found between S_{20} brittleness value with R_L and $I_{s(50)}$ values.

Keywords: S_{20} brittleness index, rock mechanics, excavation mechanics, mathematical modelling, regression

ÖNSÖZ

Tez araştırmamda bana sonsuz destek veren ve karşılaştığım her zorlukta bana yardımcı olan tez danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN'e , tezimin başlangıcından itibaren her konuda desteğini benden esirgemeyen Dr.Öğr.Üyesi Arif Emre DURSUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezin başlangıcından bitişine kadar manevi desteklerini esirgemeyen eşim Havvanur İrem Uysal ve değerli aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Abdullah UYSAL
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kayaçların Kırılgenliğini Belirlemek İçin Kullanılan İndeks Değerleri	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Çalışmada Kullanılan Kayaçların Özellikleri ve Lokasyonları	8
3.1.1. Mermerler ve özellikleri.....	9
3.1.2. Granit ve özellikleri.....	10
3.1.3. Bazalt ve özellikleri.....	11
3.1.4. Andezitik Tüf ve özellikleri	13
3.1.5. Traverten ve özellikleri	13
3.2. Kaya Mekanığı Deney Örneklerinin Hazırlanması	14
3.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....	15
3.2.2. Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanımı Deneyi	17
3.2.3. Nokta Yükleme Dayanımı Deneyi.....	18
3.2.4. Schmidt Çekici Deneyi	20
3.2.5. Yoğunluk ve Gözeneklilik Belirleme Deneyi	21
3.2.6. İspanyol Kuru Ağırlık Kaybı (DWL) Deneyi	22
3.3. S ₂₀ Kırılgenlik Deneyi.....	22
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	25
4.1. Deney sonuçları	25
4.1.1. S ₂₀ Kırılgenlik Deneyi	25
4.1.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	26
4.1.3. Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanımı Deneyi Sonuçları	27
4.1.4. Nokta Yükleme Dayanımı Deneyi Sonuçları	27
4.1.5. Schmidt Çekici Sertlik Deneyi Sonuçları.....	28
4.1.6. Yoğunluk ve Gözeneklilik Belirleme Deneyi Sonuçları.....	29
4.1.8. Kayaçların dayanım değerlerinden hesaplanan kırılgenlik değerleri	30
4.2. Deney Sonuçlarının Analizi.....	31
4.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı ile kırılgenlik değerlerinin karşılaştırılması	31
4.2.2. Dolaylı çekme dayanımı ile kırılgenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	35

4.2.3. Nokta yükleme indeks dayanımı ile kırılma değeri karşılaştırılması	38
4.2.4. Schmidt sertliği ile kırılma değeri karşılaştırılması	41
4.2.5. Yoğunluk ile kırılma değeri karşılaştırılması	46
4.2.6. Kuru ağırlık kaybı ile kırılma değeri karşılaştırılması	49
4.3. Kırılma indeksini ile yapılan karşılaştırma sonuçlarının değerlendirilmesi	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
5.1 Sonuçlar	55
5.2. Öneriler	56
KAYNAKLAR	57
EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ	71



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

S_{20}	: Kırılma indeksi değeri
TEBD	: Tek eksenli basınç dayanımı
DÇD	: Dolaylı çekme dayanımı
$I_{s(50)}$: Nokta yük dayanım indeksi
R_L	: Schmidt sertlik indeksi
DWL	: Kuru ağırlık kaybı

Kısaltmalar

TBM	: Tam cepheli tüneller açma makinesi
CSM	: Colorado Maden Okulu Modeli
SINTEF	: Trondheim Bina ve Altyapı Araştırma Enstitüsü, Norveç
DRI	: Delme oranı indeksi
SJ	: Sievers minyatür delme değeri
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği

1. GİRİŞ

Verimli ve ekonomik bir maden veya tünel çalışmasında karşılaşılan kayaç ve cevher kazısında veya diğer işlemlerde oluşan maliyetlerin mümkün olduğu kadar azaltılması, emniyet sınırları içinde yeni sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. İlk yatırım maliyeti çok yüksek olan bu tür projelerde yatırımcı firmanın proje maliyetlerini önceden tahmin edebilmesi bu firmaların ileriye dönük sağlıklı bir üretim ve finans planlamasını yapabilmesini sağlaması açısından hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle kayaçların özelliklerine göre kazı sistemlerinin ve diğer işlemlerin seçilmesi kazı performansının güvenli ve doğru şekilde önceden kestirimi için çok önemli olmaktadır.

Kayaçlar içerisinde yapılacak farklı mühendislik tasarımlarında yeraltı veya açık ocak madenciliği ile madenlerin çıkarılması, kentleşmenin hızla artması ile metro, tünel ve yeraltı deposu gibi uygulamalar için yapılan kazı ve diğer işlemlerde kayaların çeşitli özelliklerini bilmek mühendislik projelerinde birincil temel unsurdur. Bu tür işlemlerde kayaçların dayanım, aşındırıcılık, kazılabilirlik, delinebilirlik, kesilebilirlik ve kırılabilirlik vb. gibi birçok özelliklerini bilmek gerekmektedir. Bu özellikleri belirlemek içinde birçok deney setine ve deneye ekonomik olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklerden kayaçların delinebilirliğinde ve kazısında etkili bir parametre olan kırılabilirlik değeri çeşitli araştırmacılar tarafından bazı eşitlikler veya farklı ölçüm aletleri veya test metotları kullanılarak belirlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında kayaçların fiziksel, mekanik ve kırılabilirlik değerleri belirlenerek bunlar arasındaki ilişkiler değerlendirilmiş ve bazı tahmin modelleri oluşturularak kayaçların kırılabilirlik değerlerini deneysel çalışmalara ihtiyaç duymadan bazı kayaç özelliklerinden tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için 5 farklı kayaç numunesi üzerinde tek eksenli basınç dayanımı (TEBD), İspanyol kuru ağırlık kaybı (Dry Weight Loss=DWL) deneyi, nokta yükleme dayanımı ($I_{S(50)}$), dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı (DÇD), Schmidt çekici sertliği (R_L) ve yoğunluk (Yoğ) belirleme gibi bazı kaya mekaniği deneyleri ile NTNU tarafından geliştirilen S_{20} kırılabilirlik deneyleri yapılarak kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kayaçların S_{20} kırılabilirlik değerleri ile bazı kaya mekaniği özellikleri ilişkilendirilerek tahmin modelleri oluşturulmuştur.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında kayaçların fiziksel, mekanik ve kırılma değeri belirlenerek bunlar arasındaki ilişki tahmin modelleri oluşturularak kayaçların S_{20} kırılma değeri deneysel çalışmalara ihtiyaç duymadan bazı kayaç özelliklerinden tahmin edilmesi düşünülmektedir.

Bu çalışmada amaç; kayaçlar ile ilgili yapılan mühendislik çalışmalarında yeraltı kazıları ve kaya kütleindeki tasarım konuları için kullanılan önemli kaya özelliklerinden biri olan S_{20} kırılma değerinin bazı kaya mekaniği özelliklerinden dolayı olarak tahmin edilmesidir. Bunun için deneysel çalışmalar yapılarak elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve sonuçta bu özellikler arasındaki güçlü ilişkilerden yola çıkılarak yeni bir tahmin yöntemi geliştirmektir. Bunun için kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ile S_{20} kırılma özellikleri belirlenmiş ve bu değerler arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiş ve kayaçların S_{20} kırılma değerinin tahmini için bazı ampirik modeller geliştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kayaçlar içerisinde yapılacak farklı mühendislik tasarımlarında yeraltı veya açık ocak madenciliği ile madenlerin çıkarılması, kentleşmenin hızla artması ile metro, tünel ve yeraltı deposu gibi uygulamalar için yapılan kazı ve diğer işlemlerde kayaların çeşitli özelliklerini bilmek mühendislik projelerinde birincil temel unsurdur. Bu tür işlemlerde kayaçların dayanım, aşındırıcılık, kazılabilirlik, delinebilirlik, kesilebilirlik ve kırılma vb. gibi birçok özelliklerini bilmek gerekmektedir. Bu özellikleri belirlemek için birçok deney setine ve deneye ekonomik olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklerden kayaçların delinebilirliğinde ve kazısında etkili bir parametre olan kırılma değeri çeşitli araştırmacılar tarafından bazı eşitlikler veya deneysel test metotları kullanılarak belirlenebilmektedir (Hucka ve Das, 1974; Blindheim ve Bruland, 1998; NTNU, 1998; Altındağ, 2002; Dahl, 2003; Yaralı ve Kahraman, 2011; Yağız, 2009; Copur ve ark.; 2003; Dahl ve ark., 2010; Dursun ve Gökay, 2016; Köken ve ark., 2018).

Kayaçların kırılma derecesinin belirlenmesi, kayaçların delinebilirliği, aşındırıcılığı ve yükler altındaki davranışlarının tahmininde önemli bir büyüklük olarak kabul edilmektedir. Kayaçların en uygun seviyede enerji tüketimi ve buna karşılık gelen maliyeti ile çalışma sahasındaki iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin alınarak kazılması, madenciliğin verimliliği, sürdürülebilirliği ve ekolojik dengenin gözetilmesi açısından oldukça önemlidir. Kayaçların kırılmasını en temel olarak litolojik farklılık, tane boyu, minerolojik ve petrografik özellikler, ayrışma-bozunma ve kayaçların bulunduğu ortamın yapısal ve hidrojeolojik özellikleri kontrol etmektedir (Köken ve ark., 2018).

Madencilik alanında özellikle kazı mekaniği çalışmalarında (aşındırıcılık, kesilebilirlik ve delinebilirlik) kırılma değerini bilmek önemlidir. Çünkü kırılma değeri sadece bir parametre değil kaya özelliklerinin bir bileşimidir. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar farklı test ölçüm cihazları kullanarak direk olarak kırılma değerini ölçmüş ve tanımlamışlardır (Blindheim ve Bruland, 1998; NTNU, 1998; Yağız, 2009; Copur ve ark., 2003). Bunun yanında bazı araştırmacılar kayaçların TEBD değeri ile DCĐ değerlerini kullanarak bunların kombinasyonu şeklinde kırılma değerini dolaylı olarak hesaplamışlardır (Hucka ve Das, 1974; Altındağ, 2002; Kahraman, 2002).

Bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen S_{20} kırılma testi tam cepheli tünel açma makinesi (TBM) performansı için tahmin parametrelerinden biri olarak kullanmıştır (NTH, 1994). Başka bir araştırmacı grubu ise üç eksenli kırılma ve

sünek kırılma modlarıyla kaya kesme işlemlerinin bağlantısını araştırmıştır (Deketh ve ark.,1998; Verhoef ve ark. 1996;). Başka bir grup araştırmacı ise kaya kesme deneylerinden elde edilen spesifik kesme enerji ile kayaçların farklı kırılma değerleri arasında ilişki olduğunu tespit etmişlerdir (Altındağ, 2003; Tiryaki, 2006; Gökten ve Yılmaz, 2005b). Kahraman ve ark. (2000) ve Kahraman (2002) yaptıkları araştırmalarda kayaçların TEBD ve DÇD değerlerinden elde edilen kırılma değerlerinin TBM ve darbeli delik delme makinalarının performansı ile ilgisini belirtmiştir. Altındağ (2002a, 2003) yaptığı çalışmada TEBD ve DÇD değerlerinden elde edilen kırılma değerlerinin darbeli delik delicilerin performansı arasındaki ilişki olduğunu belirtmiştir. Altındağ (2002b) ayrıca kayaçların kırılma indeksi ile pasa irilik katsayısı ve darbeli delici performansı arasında da bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Yaralı ve Kahraman (2011) farklı kırılma değerleri kullanarak delinebilirliği belirlemeye çalışmışlardır. Gökten (1991) kırılma kayanın daha az kırılma kayaya göre daha düşük spesifik enerjiye sahip olması gerektiğini belirtmiştir.

Kırılma değerinin, mühendislik uygulamalarında, kayaçların TEBD ve DÇD değerleri kullanılarak sıklıkla hesaplanmasına rağmen, tünelcilikte performans tahmini gibi bazı özel amaçlar için birkaç özel test ekipmanı kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Blindheim ve Bruland (1998) geliştirdiği NTNU modelini TBM performansının tahmini için kullanılan S_{20} kırılma testi yöntemidir. Bu test metodunda S_{20} kırılma deneyi tekrarlanan darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir deney yöntemidir.

Benzer şekilde, delme penetrasyonu başlangıçta doğrudan bir yöntem sağlamayı amaçlayarak disk kesicilerdeki normal yükü tahmin etmek için 1960'lı yılların sonunda doğrudan bir laboratuvar metodu sağlamak üzere geliştirilmiş bir test olup, penetrasyon altındaki kaya davranışını araştırma yöntemidir. (Hamilton ve Handewith, 1971). İlk geliştirilmesinden itibaren, test prosedürü açısından ve veri değerlendirmesi üzerine bir dizi büyük değişiklik ve iyileştirme yapılmıştır. Szwedzicki (1998) bu testi kaya sertliğini ölçmek için kullanmış olup, kaya kesilebilirliğini tahmin etmek için kullanılabilirliğini belirtmiştir. Ayrıca, delme testi; araştırma için nitel veri sağlayabilir, penetrasyon altındaki kaya sertliği ve kırılma gücünün TBM dalma oranını tahmin için kullanılabilir (Dollinger ve ark. 1998; Yağız 2002, 2003, 2006, 2008). Yağız (2002) yaptığı çalışmada kaya kırılma gücünü ve sertliğini araştırmak için delgi penetrasyon testini kullanmış, Colorado Maden Okulu Modelini (CSM) modifiye ederek TBM penetrasyon oranını tahmin etmek için kaya özelliklerinden biri haline gelmiştir. Sonuç

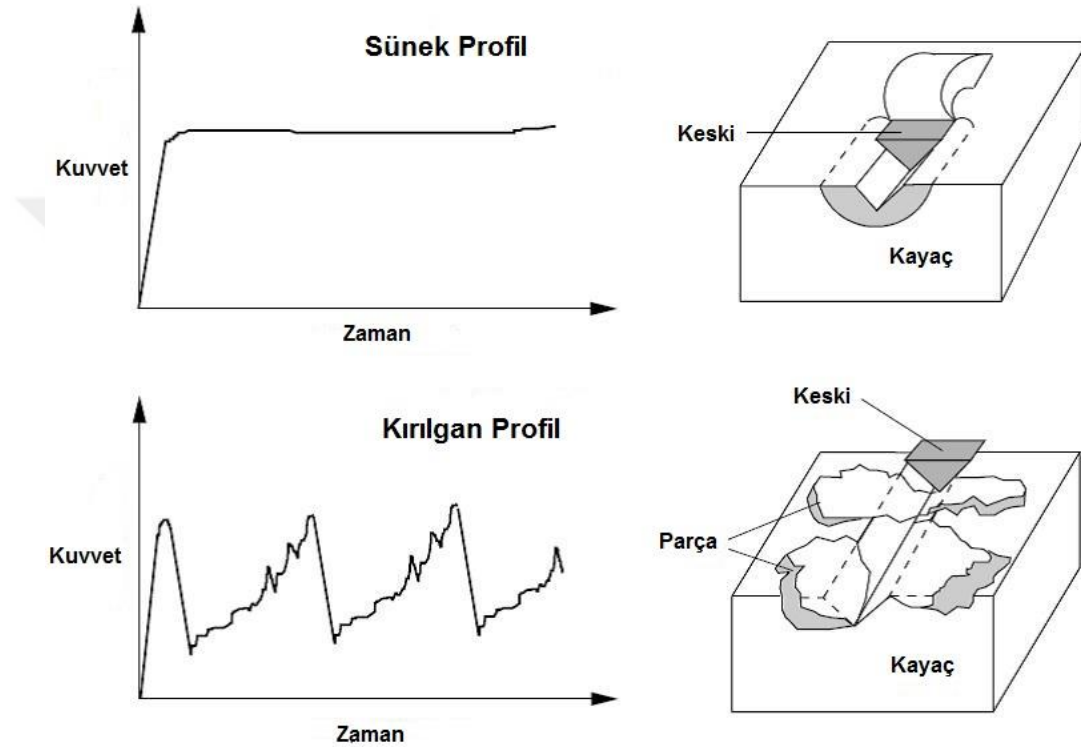
olarak, kaya kırılabilirliği sınıflandırması delme penetrasyon testinin sonucu olarak oluşturulan kırılabilirlik indeksi ile tanımlanmıştır (Yağız, 2009). Çopur ve ark. (2003) kuvvet artışının yumruk süresinin azalmasına etkisi penetrasyon (batma) testi sonuçlarına dayalı bir kırılabilirlik indeksi tanımlamıştır. Buna göre, doğrudan kaya kırılabilirliğini ölçmenin güvenilir bir yolu yoktur; daha ziyade, literatürde, dolaylı olarak kayanın dayanım oranını ölçmek için birçok farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Performans tahmini ve maliyet değerlendirme modelleri sondaj ve patlatma tüneli, TBM tüneli ve taş ocağı işletmesi laboratuvar testleri ile ilişkilendirilerek geliştirilmiştir ve üretim verilerinin bulunduğu yerinde jeolojik veriler tünel açma projeleri kullanılmıştır. Modeller sürekli güncellenmektedir (Dahl ve ark., 2010). Son yıllarda, Trondheim Bina ve Altyapı Araştırma Enstitüsü, Norveç (SINTEF) yöntemi maliyet / zamanla ilintili olarak ve büyük uluslararası yeraltı tahminleri ve planlaması için yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu method TBM performans tahmini için yaygın olarak kullanılan yöntemdir ve projeler tarafından kabul edilir (Dahl ve ark, 2012).

S_{20} kırılabilirlik değeri NTNU modeli olarak 1960'lı yıllardan beri kaya numunelerinin delinebilirlik testi ile yaygın olarak kullanılmıştır. S_{20} kırılabilirlik indeks değerinin yaygın olarak kullanıldığı diğer bir uygulama alanı ise kayaçların delinebilirlik değerini tayin etmek için kullanılan delme oranı indeksini (DRI) belirlemek için kullanılmaktadır. Bunun için S_{20} kırılabilirlik deneyi ile Sievers minyatür delme (SJ) değeri deneyleri yapılarak bu DRI değeri belirlenmektedir. Bunun için bir çok araştırmacı kayaçların DRI değerini belirlemek için S_{20} kırılabilirlik deneyi yapmışlardır (Dahl, 2003; Ekincioğlu, 2008; Karaman, 2008; Koçcaz, 2013; Çapık, 2014; Özacar, 2016; Selmer-Olsen ve Blindheim, 1970; Bruland, 2000; Bieniawski, 2007; Yaralı, 2007; Yenice ve ark., 2009).

2.1. Kayaçların Kırılabilirliğini Belirlemek İçin Kullanılan İndeks Değerleri

Kırılabilirlik kayaçların en önemli mekanik parametrelerinden birisidir. Kırılabilirlik aynı zamanda kazı mekaniği açısından da önemli bir yer teşkil etmektedir. Kırılabilirlik farklı yükleme koşulları altındaki yenilme özellikleri ile ilgili malzeme özelliklerindedir (Çopur ve ark. 2003). Kırılabilirlikle ilgili genel kural daha kırılabilir kayanın daha küçük deformasyonda kırıldığıdır. Aynı zamanda kırılabilirlik kazılabilirlik parametresi olarak da kullanılabilir.

Kayaçlar kazı profili açısından incelendiğinde ikiye ayrılır. Bunlar, kırılğan ve sünek kazı profilleridir. Şekil 2.1'deki kazı profillerine ait kuvvet-zaman grafikleri incelendiğinde sünek kayaçların kazısında kuvvet belirli bir değere kadar yükselmekte ve küçük dalgalanmalarla birlikte o değerde sabit kalmakta iken kırılğan kazı profilinde ise kuvvet belirli bir değere yükselip ardından düşmekte ve tekrar yükselip düşmektedir. Bu iniş çıkış döngüsü kazı bitimine kadar devam etmektedir. Bu döngü parça koparma olayı sebebiyle gerçekleşmektedir.



Şekil 2.1. Sünek ve kırılğan kazı profillerinin örnek zaman-kuvvet grafikleri (Deketh, 1998)

Kırılğanlığın kesin bir tayin yöntemi olmamakla birlikte artan kırılğanlıkla kayaçların aşağıdaki bazı özellikleri taşıdığı bilinmektedir (Hucka ve Das, 1974):

- Düşük uzama değeri
- Çatlak yenilmesi
- Küçük tanelerin oluşumu
- Basınç dayanımının çekme dayanımına oranının yükselmesi
- Yüksek esneklik
- Yüksek içsel sürtünme açısı
- Batma sırasında çatlak oluşumu

Kırılgenlık, kayacin hem mekanik hem de malzeme ozelliklerini etkileyen onemli parametrelerden biri olarak, birçok arastirmaciyi bu konu uzerinde calismaya yoneltmistir. Kırılgenlık, kazilabilirlik, asindiricilik, malzeme olarak kullanilabilirlik vb. kayaclarin kullanim/davranis ozelligini etkilemektedir.

Kırılgenlık degeri kayaclarin en onemli ozelliklerinden biri olmasina ragmen soz konusu kırılgenlık tanimi, konsepti ya da olcumu oldugunda arastirmacilar arasinda belirli bir fikir birligi olmamistir. Farkli arastirmacilar kayaç kırılgenligini farkli sekillerde ifade etmis, kullanmis ve anlamlandirmislardir. Morley (1944) ve Hetenyi (1966) kırılgenligi suneklik eksikligi olarak tanimlamistir. Dokme demir ve esneme baskisi sınırinda ya da biraz ustunde çatlamayan birçok kaya gibi materyaller Obert ve Duvall (1967) tarafından kırılgen olarak tanimlanmistir. Ramsey (1967) ise kırılgenligi su sekilde tanimlamistir: "kayacin içsel bütünlüğü bozulduğunda, kaya kırılgenlidir."

Literatürde kaya kırılgenligini farkli yaklasimlarla tahmin etmek ve hesaplamak için çeşitli ampirik denklemler verilmiştir. Şimdiye kadar, kırılgenlık degerini belirlemek için beş ortak yaklaşımla kullanılmıştır. Bunlar kayaclarin TEBD ve DÇD degerleri kullanılarak hesaplanan yaklaşımla, gerilme birim deformasyon eğrisi kullanılarak hesaplanan yaklaşımla, tersinir enerji yaklaşımla, Mohr zarfi esaslı yaklaşımla ve özel test ekipmanları kullanılarak hesaplanan yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlardan en çok kullanılan ise dayanım indeks yaklaşımla ve özel test ekipmanı ile hesaplanan yaklaşımlardır.

Dayanım indeks yöntemleri; kayaclarin mekanik ozellikleri arasındaki ilişkiyi esas alan niceliksel bir büyüklüğü ifade etmektedir. Çoğunlukla TEBD ve DÇD degerleri gibi mekanik ozelliklerin dikkate alındığı dayanım indeks yöntemleridir. Bunlardan en çok kullanılanları aşağıdaki gibidir.

$$B_1 = \sigma_c / \sigma_t \text{ (Hucka ve Das 1974)}$$

$$B_2 = (\sigma_c \cdot \sigma_t) / (\sigma_c + \sigma_t) \text{ (Hucka and Das 1974)}$$

$$B_3 = (\sigma_c * \sigma_t) / 2 \text{ (Altindag 2002)}$$

$$B_4 = 2,57 * \sqrt{\sigma_c} \text{ (Yağız ve Gökçeoğlu, 2010)}$$

Özel test ekipmanı kullanılarak hesaplanan yaklaşımda da en önemlisi Blindheim ve Bruland (1998)'in geliştirdiği S₂₀ kırılgenlık degeri olan NTNU modeli kullanılarak belirlenen kırılgenlık indeksidir. Kırılgenlık deneyi tekrarlanan darbe sonucu kayacin kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir deney

yöntemidir. Diğer bir yöntemde Yağız (2009)'un geliştirdiği delme penetrasyon testi yöntemidir.

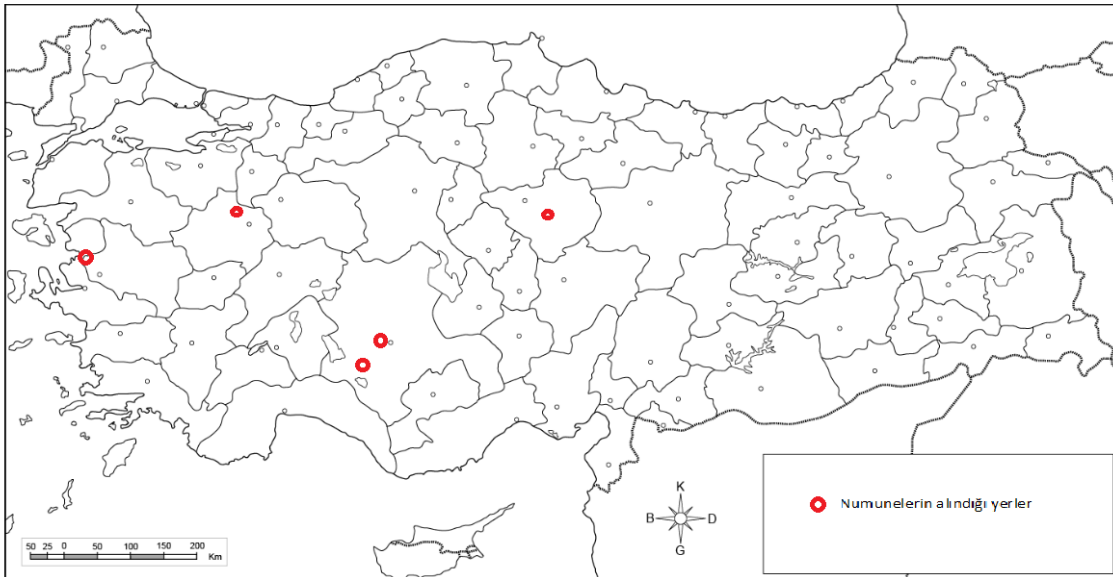
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında 5 farklı mermer, granit, bazalt, traverten ve tuf kayaç numunesi Konya ve civarından temin edilerek kaya mekaniği ve S_{20} kırılma dayanıklılığı deneyine tabi tutulmuşlardır. Araziden blok veya düzensiz şekilde laboratuvara getirilen kayaç numuneleri önce deneyler için istenilen şekil ve boyutlarda (karot veya blok şeklinde) hazırlanmış daha sonra deneylere tabi tutulmuştur. İlk aşamada; kayaç bloklarından alınan karot örnekleri kullanılarak kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise; düzensiz şekilli kayaç örnekleri çene açıklığı 13,6 mm ayarlanmış bir çeneli kırıcıdan geçirilerek kırıldıktan sonra 16 mm ve 11,2 mm'lik elekler ile sınıflandırılarak -16 mm + 11,2 mm arasında kalan malzeme hazırlanarak kırılma dayanıklılığı testine tabi tutulmuştur.

Bu bölümde deney örnekleri, kullanılan alet ve ekipmanların özellikleri tanıtarak, deney sistemi ve elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirme yönteminden bahsedilmiştir.

3.1. Çalışmada Kullanılan Kayaçların Özellikleri ve Lokasyonları

Bu tez çalışmasında granit, andezitik tuf, traverten, bazalt ve mermer numunelerinden oluşan 5 farklı kayaç örneği kullanılmıştır. Numunelerin alındığı bölgeler Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerin alındığı bölgeler

3.1.1. Mermerler ve özellikleri

Genel anlamda mermerler; kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerlerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucunda yeni bir yapı kazanmalarıyla meydana gelen taşlardır. Endüstriyel anlamda; kesilip parlatılabilen ve ticari değeri olan her türlü kayaç, mermer olarak adlandırılmaktadır.

Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervine sahiptir. Türkiye, bu kaynaklara ek olarak gelişmekte olan sanayii ve üretimde kullandığı teknoloji ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır.

MTA raporlarına göre Türkiye 5 milyar m^3 mermer rezervi (görünür + muhtemel + mümkün) ile dünya potansiyelinin yaklaşık %40'ına sahiptir. Toplam rezervi 13.9 milyar ton (yaklaşık 5,1 milyar m^3) olan Türkiye'nin, 1,6 milyar ton civarındaki görünür rezervi dünya tüketimini 80 yıl karşılayabilecek düzeydedir. Ülkemizde 80 in üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir. Uluslararası piyasa da en tanınmış mermer çeşitleri, Süpren, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Afyon şekerdir (Demir, 2017).

Sektörde yaklaşık 800 ocak, 1500 fabrika ve 7000 civarında atölye faaliyet göstermektedir. Ocakların %90 ı Ege ve Marmara Bölgesi'nde yoğunlaşmıştır. Mevcut

ocakların %27 si Balıkesir, %24 ü Afyon, %12 si Bilecik, %8 Denizli, %6 sı Muğla da bulunur. Bu bölgelerdeki üretim tüm üretimin %65 ini karşılamaktadır (Demir, 2017).

Dünya pazarlarında beğeni kazanabilecek nitelikte doğal taş çeşidine sahip olan Türkiye’de, rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Rezervlerin bölgelere göre dağılımı, Ege Bölgesi %32, Marmara %26, İç Anadolu %11, Doğu Anadolu Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölge’si %31 şeklindedir.

Bu çalışmada kullanılan mermer numunesi Eskişehir Sivrihisar bölgesinden alınmıştır. Sivrihisar bej mermer açık renkli mermerler grubuna girmektedir. Çok sert ve büyük darbeler olmadığı müddetçe oldukça dayanıklı bir ürün olan bu mermer türü, çizilmelere ve temizlik maddelerine mahsus kimyasallara karşı da gayet dayanıklıdır. Kullanılan numune örneği Şekil 3.2.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan Mermer örneği

3.1.2. Granit ve özellikleri

Granit, bileşiminde % 10-40 arasında kuvars % 30-60 arasında alkali feldispat, % 35 kadar mika ve % 10-35 arasında koyu renkli mineral bulunduran açık renkli, asidik bileşimli derinlik kayalarına denir. Bu çalışmada numune İzmir Bergama bölgesinden alınmıştır. Numune Çam oba Formasyonunda yer alıp Üst Permiyen yaşlı sığ deniz çökellerinden oluşan bu formasyon, birbiriyle düşey ve yanal yönde geçişli olan beş üyeye ayrılmıştır. Bunlar alttan üste doğru (1) Hacıyusuf Kumtaşı Üyesi; (2) Kırtaş Kireçtaşı Üyesi; (3) Çaldağ Kireçtaşı Üyesi; (4) Şeker ağa Miltaş Üyesi ve (5) Koca kaya Kireçtaşı Üyesi'dir. Kullanılan numune örneği Şekil 3.3.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan granit örneği

3.1.3. Bazalt ve özellikleri

Gabro familyasının en bazik ve önemli bir taşı olup rengi siyah, homojen, yoğun ve ağır, dokusu mikrolitli veya bazen camsıdır. Bileşiminde şekilsiz maddelerle lâbrador ve anortit gibi bazik feldispatlar, ojit mikrolitleri, manyetit bulunur.

Lâbrador ve ojitin bazen büyük billur halinde bulunduğu da bilinmektedir. Bazaltın siyah renkli ve ağır olması manyetitten ileri gelir; hatta manyetiti fazla olan bazaltlar genellikle magnetizma özeliğini gösterirler. Olivin, bazaltlarda yuvarlak yeşil tanecikler halinde bulunur ki taşın siyah yüzü üzerinde bunlar göz ile de ayırt edilebilir. Her bazaltda az çok olivin bulunur. Bazı bazaltlarda bu mineralin %50 oranında bulunduğu da bilinmektedir. Mikroskopla olivin tanecikleri içinde çatlaklar ve pikotit enklüsyonları görülür. Hornblente ekseriya büyücek billurlar halinde yoğun bazaltlardan ziyade bazalt tüfleri içinde rastlanır, içinde fazla miktarda ve büyük düzgün billurlar halinde ojit bulunan bazaltlara büyük ojit billurlu bazalt denir.

Bazı bazaltlarda jasp ve kalseduvan toprakları, zeolit ve kalsit mandelistaynları görülmektedir. Elemanları büyük olan bazaltlar doleritin bir türü addedilirler. Fakat bu iki kütle arasında araç teşkil eden diğer bazı taşlar da vardır. Bazaltın yoğunluğu 2,80-3 tür. Silis miktarı ise %48-50'dir. Trakilit (Trachylite) ve Hiyalomdan (Hyalomelane) adları verilen camsı bazaltlar vardır ki bunlardan birincisi esmer renkli olup asitlerde erir, ikincisi ise sarı renkli ve asitlerde erimez.

Mikroskopik özellikleri bakımından obsidiyenlere çok benzerler; bileşimlerinde daima olivin ve bir miktar su vardır. Bazaltlar filon, dayk ve akıntı halinde bulunurlar. Bunların lâvları da fazla akışkandır. Bu taşların en karakteristik özellikleri, altıgen prizmalar halinde büyük kolonlar teşkil etmeleridir. Bu prizmalar çok defalar düzgün

olurlar Prizmaların eksenleri daima soğuma yüzeyine dik olur. Bunlar magmanın soğuma ve büzülmesinden meydana gelmişlerdir. Mesela bir bazalt lavı akıntısının yüzeyi ile yere değen alt kısmı çabuk soğuyup şekilsiz cüruf halinde katılaşı; bu iki cüruf kabuğunun arasında lâvlar bir müddet aktıktan sonra soğuyarak büzülürler. Büzülmeden dolayı bir gerilme, donmaya başlayan taşın içinde birçok dikey çatlaklar meydana getirir. Bu çatlaklardan da prizmalar oluşur. Lâv kütlesi ne kadar homojen olursa çatlaklar ve dolayısı ile prizmalar da o kadar düzgün olur.

Son yıllarda ülkemizde de özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde hem yapılarda hem topluma açık ve kapalı alanlarda doğal taşlar kullanılmaya başlanmıştır.

Aşınma ve iklim şartlarından en az etkilenmesi nedeniyle bazalt tercih edilme sırasında, önde gelen doğal taştır. Yakın gelecekte vazgeçilmez olacağı kesin gözle bakılan bazaltın, kullanım alanı her geçen gün genişlemektedir. Bazalt değişik kalınlık ve ölçülerde mimari yapıların her safhasında, alt ve üst yapıda, zemin ve cephe kaplamalarında, şehir içi yollarda, kaldırımlarda, tretuvarlarda ve bahçe düzenlemesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada numune Kayseri'den alınmıştır. Bazalt, sertlik ve aşınma dayanımı ve yüzeysel işlemleri sonucu elde edilen özellikleri ile kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Bazaltlar iç mekanlarda döşeme olarak, dış cephelerde duvar kaplama malzemesi olarak genellikle ofis, alışveriş merkezi gibi ticari yapılarda kullanılmaktadır. Kullanılan numune örneği Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan bazalt numunesi

3.1.4. Andezitik Tüf ve özellikleri

Yerel tabiriyle Ankara Taşı olarak bilinen andezit, volkanik kayadır. Yerkabuğunun belirli derinliklerinde bölümsel erimeyle, yeryüzüne derin çatlaklar boyunca yükselir ve bu kayaç açık renkli feldispat-kuvars ve matris minerallerin atmosferik şartlarda soğumasıyla oluşum aşamasını tamamlar. Bu çalışmada numune Konya Sille bölgesinden alınmıştır. Antik çağdan beri Konya’da kullanılagelen yegâne mimari yapı malzemesinin, bir andezit çeşidi olan Sille taşıdır. Bu taş aynı zamanda, volkanik kökenliğine bağlı olarak sıcağa ve suya oldukça dayanıklı olduğu için, Konya’daki ekmek fırınlarının tamamına yakınında, pişirme taşı olarak kullanılmaktadır. Kullanılan numune örneği Şekil 3.5.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan Andezitif Tüf örneği

3.1.5. Traverten ve özellikleri

Traverten, basınç altında, bünyesinde erimiş karbon dioksit bulunan yeraltı suları, geçtikleri bölgelerdeki kalsiyum karbonatı (CaCO_3) eriterek taşır. Suyun aniden açığa, basınçsız ortama çıkması ve karbondioksitin uçması ile, suda erimiş bulunan kalsiyum karbonat çok ince katmanlar halinde kayaların üzerine çöker. Bu birikim zamanla yastık gibi yumuşak hatları olan travertenleri oluşturur.

Traverten aynı zamanda mermerle birlikte kullanılan bir yapı malzemesidir. Türkiye’nin Denizli, Bucak-Burdur, Mut-Mersin, Sivas, Ankara-Polatlı, Konya, Afyon gibi birçok bölgesinde traverten ocakları işletilmektedir. Üretilen malzeme blok, moloz olarak veya fabrikalarda işlenerek ebatlı cilalı traverten gibi mamuller halinde iç piyasada kullanılmakta veya büyük oranda yurtdışına ihraç edilmektedir. Türkiye’de

zengin olan traverten yatakları bulunmaktadır. Daha çok endüstriyel alanda, kireç ve çimento imalında, yapıtaşı, hediyelik eşya yapımında hammadde olarak kullanılır. Bu çalışmada traverten numunesi üzerinde çalışmıştır. Numune Konya Seydişehir bölgesinden alınmıştır. Kullanılan numune örnekleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Konya Seydişehir Traverten

3.2. Kaya Mekaniği DeneY Örneklerinin Hazırlanması

Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilen 5 çeşit model kayaç örneğinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yoğunluk deneyleri, tek eksenli basınç dayanımı deneyi, İspanyol kuru ağırlık kaybı (DWL), nokta yükleme indeks deneyi, dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyi, Schmidt sertliği deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Blok veya düzensiz şeklinde getirilen kaya bloklarından karot alma makinesi ile silindirik 54 mm (NX) boyutunda her bir kayaç biriminden 10 adet karot örnekleri alınarak Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM)’ 2007’deki standartlarına göre deneyler yapılmıştır.

Laboratuvarda silindirik karot örneklerinin alınması, bunların kesilmesi ve belirli standartlara göre yüzeylerinin düzeltilmesi amacıyla, delici, kesici, düzleyici ve parlatıcı gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü, örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanır. DeneY numunelerinin hazırlanmasında kullanılan deneY ekipmanları Şekil 3.7a ve 3.7b’de gösterilmektedir. DeneYler için hazırlanmış silindirik karot örnekleri Şekil 3.8’de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Karot alma makinesi (a), Karot kesme ve düzeltme makinesi (b)



Şekil 3.8. Kaya mekaniği deneyleri için hazırlanmış karot numuneleri

3.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deneyde boy/çap oranı 2,5-3,0 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz, düz ve

herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılır. Silindirik numunenin alt ve üst yüzeyleri, 0,02 mm duyarlılıkta düzeltilmiş ve birbirine paralel olmasına dikkat edilir. Deney sırasında numuneye sabit bir hızda ve sürekli olarak eksensel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres kullanılır. Yenilmenin 5 ile 10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için yükleme presinin kapasitesinin kayacın dayanımına uygun olarak seçilmesi gerekir. Bu nedenle, dayanımı yüksek olan dayanıklı kayalarda (mermer ve granit) düşük yük aralıkları için bölümlendirilmiş yük göstergelerine sahip yüksek kapasiteli presler kullanılır (ISRM, 2007). Deneysel çalışmada kullanılan hidrolik pres Şekil 3.9’da gösterilmiştir

Numune 5 ile 10 dakika arasında yenilecek şekilde veya alternatif olarak saniyede 0,5-1,0 MPa’lık bir yükleme hızıyla presin “yükleme hızı grafiğinden” bir hız seçilir. Yük göstergesinin altındaki düğmeye basılarak “yükleme hız kontrol plakası”nın dönmesi için devre açılır. Yükleme kontrol vanası yavaşça döndürülerek yükleme işlemine başlanır. Kayaç numunesi yenildiği anda yenilme yükü %1 duyarlılıkta okunur ve hidrolik sistem durdurulur. Kayaç numunesinin tek eksenli basınç dayanımı aşağıdaki Eşitlik 3.1 ile hesaplanır (ISRM, 2007);

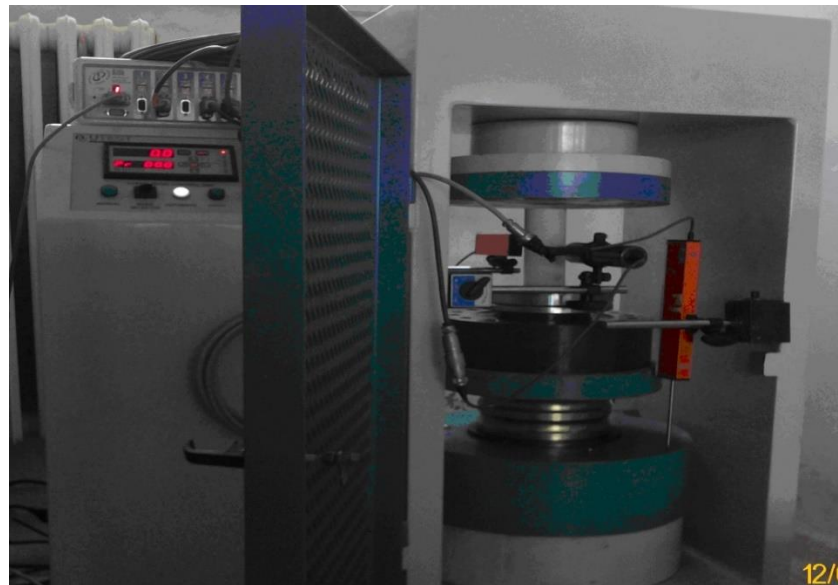
$$TEBD = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Burada;

TEBD : Kayacın tek eksenli basınç dayanımı, MPa

F : Yenilme anında kaydedilen yük, MN

A : Silindir örneğin kesit alanı, m²



Şekil 3.9. Deneilerde kullanılan Hidrolik pres

3.2.2. Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanımı Deneyi

Kayaçlarda çekme dayanımının dolaylı bir metod olan yarma deneyi ile belirlenmesi, Brezilyalı Fernando Carneiro tarafından ortaya atılmıştır. Bu deney Brezilyada bulunmuş olsa bile asıl olarak Japonlar tarafından geliştirilmiştir. Deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılır.

Deney için yükleme çeneleri (çenelerin yarıçapı örnek yarıçapının 1,5 katı olmalı), ölçüm kumpası (0,1 mm. hassasiyetinde), yükleme presi kullanılır. Deneyde kalınlık/çap oranı 0,5-1,0 arasında olacak şekilde (tercihen bu oran 1'e yakın olmalıdır), sağlam ve çatlaksız karot örneğinden kesilerek disk şeklinde deney örnekleri hazırlanır. Örneğin kalınlığı ve çapı kumpas kullanılarak birbirine dik ve iki farklı yönde ölçülür ve bu değerlerin ortalaması alınır. Yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde, örnek yükleme başlığının altına konan çenelerin arasına yerleştirilir. Yenilme olana kadar örnek sabit bir hızla sürekli yüklenir. Örneğin yenildiği andaki yük (P) presin göstergesinden okunur ve çekilme dayanımı aşağıdaki Eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır. (ISRM, 2007).

$$\sigma_t = \frac{0,636 P}{Dt} \times 10^{-3} \quad (3.2)$$

Burada;

- σ_t : Kayaç örneğinin çekme dayanımı, MPa
- P : Kayacın yenildiği andaki yük değeri, kN
- D : Örnek çapı, cm
- t : Örneğin kalınlığı, cm

Brazilian deneyleri tek eksenli basınç deneylerinin de yapıldığı hidrolik preste yapılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Brazilian deneyi yapılışı

3.2.3. Nokta Yükleme Dayanımı Deneyi

Nokta yükleme dayanım indeksi, tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflaması sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır (ISRM, 2007). Kayaçların nokta yükleme indeksleri genellikle 50 mm çapındaki karot örnekleri için standartlaştırılarak $I_{s(50)}$ ile ifade edilir. Bu deneyde karot örnekleri eksenel ve çapsal deneye tabi tutuldukları gibi düzensiz ve prizma şeklindeki numunelere de kolayca uygulanır. Kullanılan deney aleti Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Nokta yükleme dayanım indeksi sırasıyla Eşitlik 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6 ile hesaplanmıştır;



Şekil 3.11. Nokta yükleme deney aleti

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad 3.3)$$

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \quad 3.4)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \quad 3.5)$$

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s \quad 3.6)$$

Burada;

P: Yenilme yükü, MN

De: Eşdeğer karot çapı, cm

A=WD: Konik başlıkların temas noktalarından geçen numunenin kesit alanı, m²

F: Boyut düzeltme faktörü

Is: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım, MPa

Is(50): Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi, MPa

3.2.4. Schmidt Çekici Deneyi

Kayaçların yüzey sertliğini belirlemek için kullanılan yüzey sertlik testlerinden en yaygın olan Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini amacıyla yapılır. Bu çekiç silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur ve Schmidt indeksi olarak tanımlanır (ISRM, 2007).

Geçmişten günümüze kadar Schmidt çekici testi için uygulanmakta olan test metotları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.12’de deneyin yapılışı gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Uygulanmakta olan Schmidt çekici test metotları (Özkan ve Bilim, 2008)

Yazar	Test Yöntemi
Hucka V (1965)	Tek bir noktada alınan 10 adet okumanın en büyük değeri alınır. Bu işlem üç farklı noktada tekrar edilir ve elde edilen en büyük üç değerlerin ortalaması alınır.
Deere D.U ve Miller R.P (1966)	NX boyutundaki bir karot üzerinde her seferinde 45° çevirerek üç ölçüm alınır. Hatalı okumalar çıkarıldıktan sonra 24 değerlerin ortalaması alınır.
Soiltest (1976)	Farklı noktalardan 15 ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin ortalaması alınır. Ortalama değerden maksimum sapma 2.5’den az olmalıdır.
Fowell R.J. ve McFeat Smith I (1976)	Tek bir noktada alınan 10 ölçüm içerisindeki en son alınan 5 değerlerin ortalaması alınır.
Young R.P ve Fowell R.J (1978)	Kaya kütlesi yüzeyi ızgaralara bölünür, her bir ızgaradan bir ölçüm alınarak, yapılan ölçümlerin ortalaması alınır.
ISRM (1981)	Farklı noktalardan toplam 20 adet ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin ortalaması alınır.
Kazi A ve Al-Mansour Z.R (1980)	En az 35 okuma alınır ve en küçük 10 okuma değeri iptal edilir. Geriye kalan 25 ölçümün okuması alınır.
Poole R.W ve Farmer I.W (1980)	Tek bir noktada uygulanan 5 ölçüm içerisindeki en büyük ölçüm değeri seçilir. Bu ölçüm sistematigi farklı üç noktada tekrar edilir ve elde edilen en büyük üç değerlerin ortalaması alınır.
Matthews J.A ve Shakesby R.A (1984)	Herhangi bir numuneden 15 ölçüm alınır. Bu değerlerin ortalaması bulunur ve ortalamadan en çok sapan 5 değer çıkarılır.
Goktan R.M ve Ayday C (1993)	Farklı noktalarda 20 ölçüm alınır. Chauvenet’s kriterine uymayan değerler çıkarıldıktan sonra geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
USBR (1998)	Farklı noktalardan 10 okuma alınır. En küçük 5 okuma değeri iptal edilerek geriye kalan en büyük 5 değerlerin ortalaması alınır.
Katz, O ve ark. (2000)	32–40 arasında ölçüm alınır ve ölçüm sayısının yarısı kadar en büyük ölçümlerin ortalaması alınır.
Sumner P. ve Nel W. (2002)	Farklı noktalarda 15 ölçüm alınır ve en kötü 5 değer çıkarılarak geriye kalan 10 değerlerin ortalaması alınır.
GBG	Paralel kenar şeklindeki bir test alanında 12 okuma alınır. En yüksek ve en küçük değer çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
ASTM (2005)	Farklı noktalardan 10 ölçüm alınır ve ortalama değerden 7 birim sapan değerler çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.



Şekil 3.12. Kayaçların Schmidt sertliği değerlerinin belirlenmesi

3.2.5. Yoğunluk ve Gözeneklilik Belirleme Deneyi

Bu deney kaya numunelerinin yoğunluğunu, gözenekliliğini ve ilgili özelliklerini saptamak için yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları piknometre ile bulunur. Gözeneklilik değeri kayacın boşluk hacminin, toplam su hacmine bölünmesi ile bulunur. Su içeriği değeri ise kayacın boşluklarındaki suyun ağırlığının, kayanın kuru ağırlığına oranı ile bulunur. Numunenin tamamı 0.2 mm açıklığındaki elekten geçebilecek şekilde öğütülür. Daha sonra numune 105 C° 24 saat fırında kurutulur ve 1 saat desikatörde soğumaya bırakılır. Piknometrenin boş ağırlığı ölçülür. Yaklaşık 5-7 gr. Numune piknometreye konularak tartılır. Numune tam olarak ıslanması için saf su piknometrenin üstüne kadar çalkalayarak doldurulur ve tartılır. Piknometre temizlendikten sonra ağzına kadar saf su ile doldurulup tartılır. Hesaplama yöntemi Eşitlik 3.7 'de gösterilmiştir.

$$P_g = \frac{(P_2 - P_1) * P_w}{(P_4 + P_2) - (P_3 - P_1)} \quad (3.7)$$

Burada;

P_g : Mineral tane yoğunluğu

P_1 : Piknometre boş ağırlığı

P_2 : Numune ile piknometre ağırlığı

P_3 : Numune ile dolu piknometre saf su ilave edilince ağırlığı

P_4 : Temizlenen piknometrenin saf su ile ağırlığı

3.2.6. İspanyol Kuru Ağırlık Kaybı (DWL) Deneyi

Bu deney farklı malzemelerde aşınma direncinin göreceli olarak nasıl değiştiğini tayin etmek üzere; aşınma koşullarının malzemenin aşınma direncine etkilerini belirlemek üzere; ya da çeşitli malzemelerin birbirlerine göre aşınma dirençlerinin karşılaştırılması vb. amacıyla yapılır. Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır.

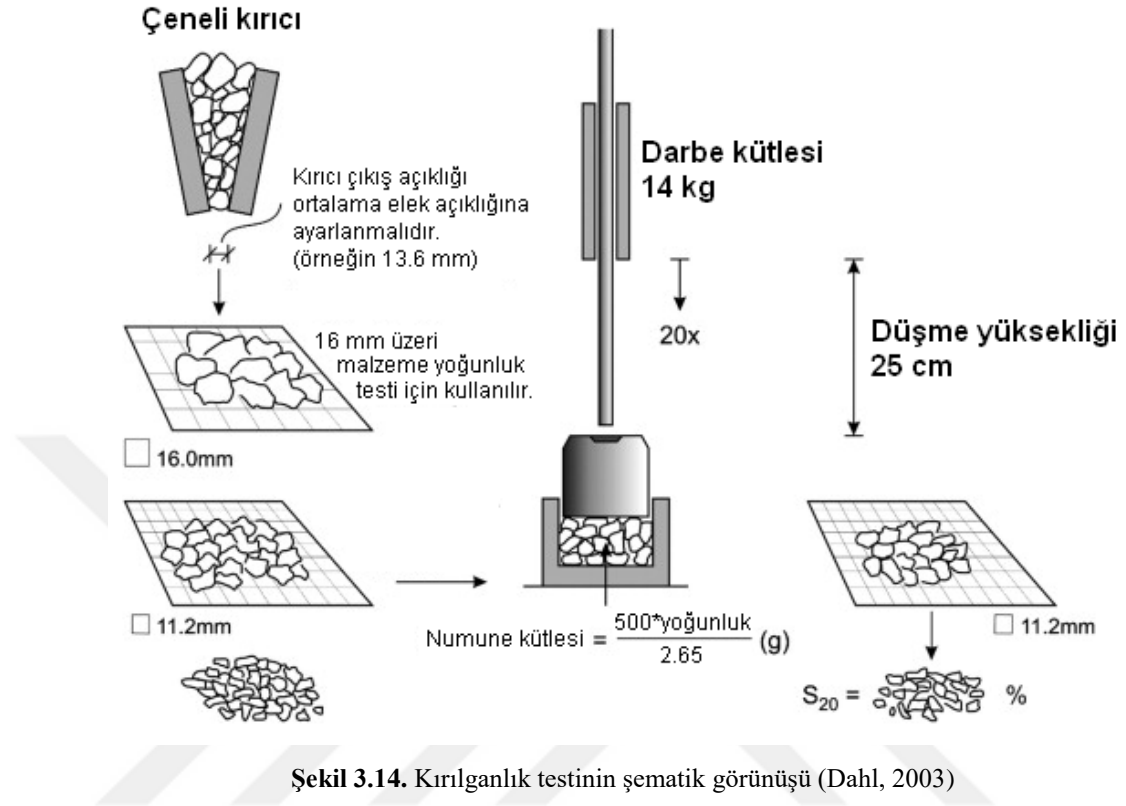


Şekil 3.13. Kuru ağırlık kaybı deney numuneleri

3.3. S_{20} Kırılgenlik Deneyi

NTNU tarafından kullanılan S_{20} kırılgenlik testi yöntemi, ilk olarak Matern ve Hjelmer (1943) tarafından geliştirilmiştir. Orijinal test başlangıçta agregaların mukavemet özelliklerinin belirlenmesi için tasarlanmıştır, ancak daha sonra çeşitli amaçlar için testin birkaç değişik versiyonu geliştirilmiştir. 1950' lerin sonundan beri kaya delinebilirliğinin tespiti için geliştirilen ve kullanılan S_{20} testi daha sonra NTNU tarafından TBM performansının tahmininde ana kaya parametrelerinden biri olan bu

kırılmalık değeri kullanılmıştır. Sonraki yıllarda farklı amaçlar için birçok kez modifiye edilen testin prensip şeması şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Kırılmalık testinin şematik görünüşü (Dahl, 2003)

Kırılmalık deneyinde kullanılacak numuneler çene açıklığı 13,6 mm ayarlanmış bir çeneli kırıcıdan geçirilerek kırıldıktan sonra 16 mm ve 11,2 mm'lik elekler ile sınıflandırılarak -16 mm + 11,2 mm arasında kalan malzeme kırılmalık testine tabi tutulur. +16 mm boyutundaki malzeme ise kayaç yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılır. -16 +11,2 mm aralığındaki malzemeden alınan ve 2,65 g/cm³ yoğunluğundaki 500 gr malzeme hacmine karşılık gelen numune hacmi test cihazının havanı içine yerleştirilir. Havanı kısmına yerleştirilen malzeme üzerine ortalama 25 cm yükseklikten 14 kg kütleye sahip tokmak 20 kez düşürülür. Deney sonunda havanı içindeki malzeme 11,2 mm'lik elekten tekrar elenerek elekten geçen malzeme ağırlığı belirlenir. 11,2 mm'lik elekten geçen malzeme miktarının deney başlangıcında havanı içine konan malzeme miktarına oranı yüzde olarak malzemenin kırılmalık deneyini verir.

Deneyisel çalışmada kullanılan kırılmalık test aleti, hassas terazi ve kırılmalık için hazırlanan numune örnekleri Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Hesaplama yöntemi Eşitlik 3.8'de gösterilmiştir.

$$\text{Numune kütlesi} = \frac{500 * \text{Yoğunluk}}{2.65} \quad (3.8)$$



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.15 (a) Kırılmalık test aleti, (b) Hassas terazi, (c) Kırılmalık deneyi için hazırlanan numune örnekleri

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Deney sonuçları

4.1.1. S₂₀ Kırılgenlik Deneyi

Bu tez çalışmasında kayaçların S₂₀ kırılgenlik değerlerini belirlemek için kullanılan deney seti, kırılgenlik test aleti, 2 adet elek (16 mm, 11,2 mm), çeneli kırıcı ve hassas teraziden oluşmaktadır. Çeneli kırıcıda kırılan numuneler 16 mm ve 11,2 mm'lik eleklerden geçirilerek -16 mm ve + 11,2 mm boyutundaki numune kırılgenlik testi için hazırlanmıştır. Deney için istenilen boyutta hazırlanan numuneler kayaçların yoğunluğuna göre havana konulacak miktarlar Eşitlik 3.1 yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra numune havana yerleştirilip 14 kg'lık tokmak 20 defa havan içerisindeki numune üzerine düşürülerek kırılgenlik deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonrası havan içerisindeki numune alınıp 11,2 mm'lik elekten geçirilip elek altına geçen miktar hassas terazide tartılmış ve havana konulan ilk miktara oranı belirlenerek S₂₀ kırılgenlik değeri belirlenmiştir. Her kayaç numunesi için 3 defa deney yapılmış ve bu 3 deney sonucunun ortalaması alınarak o kayaca ait S₂₀ kırılgenlik değeri belirlenmiştir. Seydişehir Traverten numunesine ait S₂₀ kırılgenlik deneyi sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Diğer kayaçlara ait S₂₀ kırılgenlik deney sonuçları ise EK-1 de verilmiştir. Tüm kaya birimine ait sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Traverten numunesine ait S₂₀ Kırılgenlik İndeks Deneyi Sonuçları

Numune No	Havana Konulan Miktar (gr)	11.2 mm Elekten Geçen Miktar(gr)	S ₂₀ Değeri (%)
T-1	512.3	433.2	84.56
T-2	511.7	444.8	86.98
Ort.			85.77

Çizelge 4.2. Kayaçların S₂₀ Kırılgenlik İndeks Sonuçları

Numune No	S ₂₀ Değeri (%)
B	63.97
G	63.18
M	58.22
An	87.77
T	85.77

4.1.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Bu tez çalışmasında 5 kayaç örneğine ait her bir kayacı temsil eden 10 adet 54 mm (NX) çapında, L/D oranı 2,5 – 3,0 olan yaklaşık 70 adet silindirik karot örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu örnekler Konya Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 200 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılarak tek eksenli basınç deneyine tabii tutulmuştur. Bu deneyler sırasında presin yükleme hızı olarak 2 kN/sn olarak seçilmiştir (ISRM, 2007). Seydişehir traverten numunesine ait TEBD değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Diğer kayaçlara ait TEBD değerleri EK-2 de verilmiştir. Tüm kaya birimlerine ait ortalama sonuçlar Çizelge 4.4.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Traverten numunesi tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü(kN)	TEBD (MPa)
T-1	53.90	137.31	0.002281747	68.4	29.97
T-2	53.65	139.17	0.002260629	37.6	16.63
T-3	53.77	136.47	0.002270753	38.5	16.95
T-4	54.28	135.8	0.002314033	29.8	12.87
T-5	54.23	135.8	0.002309772	36.9	15.97
T-6	53.79	138.31	0.002272443	45	19.80
T-7	54.13	136.4	0.002301261	77.1	33.50
T-8	54.18	140	0.002305515	81.7	35.43
T-9	53.61	141.6	0.00225726	46.8	20.73
T-10	53.99	137.22	0.002289373	53.1	23.19
Ort.					22.50

Çizelge 4.4. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Numune	TEBD (MPa)
B	64.71
G	72.51
M	64.42
An	11.27
T	22.50

4.1.3. Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanımı Deneyi Sonuçları

Bu tez çalışmasında kayaçların çekme dayanımı değerlerini belirlemek için dolaylı çekme (Brazilian) deney yöntemi kullanılmıştır. Her kaya birimi için 10 adet yaklaşık kalınlığı 27-29 mm olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Hidrolik pres yükleme hızı olarak 0,2 kN/sn olarak seçilmiştir (ISRM, 2007). Traverten numunesine ait DÇD değerleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Diğer kayaçlara ait DÇD değerleri EK-3 de verilmiştir. Ayrıca tüm kaya birimlerine ait ortalama DÇD değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Traverten numunesi brazilian dayanımı deney sonuçları

Numune No	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	DÇD (MPa)
T-1	53.22	25.05	7	3.34
T-2	53.76	26.22	7.1	3.20
T-3	53.53	25.78	7.3	3.36
T-4	53.27	30.15	9.1	3.60
T-5	53.68	28.19	7.1	2.98
T-6	53.77	31.88	25.6	9.50
T-7	53.49	31.31	8	3.04
T-8	53.77	27.19	8.3	3.61
T-9	53.22	25.16	7	3.32
T-10	53.39	26.84	6.5	2.88
Ort.				3.89

Çizelge 4.6. Kayaçların brazilian dayanımı deney sonuçları

Numune	DÇD (MPa)
B	2.74
G	5.86
M	8.09
An	4.93
T	3.89

4.1.4. Nokta Yükleme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Bu tez çalışmasında kayaç numunelerinin nokta yükleme indeks değerleri aksenal tipteki karot numuneleri üzerinde belirlenmiştir. Kesme deneylerinde kullanılan her bir kayacı temsilen 10 adet numune genişlik/çap oranı 0,5–1,0 olacak şekilde

hazırlanmış ve bunlar üzerinde nokta yükleme indeks deneyi, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında mevcut nokta yükleme deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Traverten numunesine ait nokta yükleme dayanımı değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Diğer kayalara ait nokta yükleme dayanımı sonuçları EK-4'de verilmiştir. Tüm kaya birimlerine ait ortalama nokta yükleme dayanım değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Traverten numunesi nokta yükleme dayanımı

Numune	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Is (Mpa)	F Düzeltme Katsayısı	Is(50) (Mpa)
T-1	53.86	38.96	1.42	0.53	1.015	0.53
T-2	53.78	46.59	0.77	0.24	1.056	0.25
T-3	53.56	43.54	3.99	1.34	1.039	1.39
T-4	53.78	41.72	2.51	0.87	1.030	0.90
T-5	53.51	40.97	2.88	1.03	1.025	1.0
T-6	53.95	46.72	2.88	0.89	1.058	0.9
T-7	53.51	47.64	4.99	1.53	1.060	1.63
T-8	53.42	39.51	2.50	0.93	1.016	0.94
T-9	54.08	51.49	5.61	1.58	1.082	1.71
T-10	53.53	39.10	2.72	1.02	1.014	1.03
Ort.						1.04

Çizelge 4.8. Kayaçların nokta yükleme dayanım sonuçları

Numune	I _{s(50)} (MPa)
B	6.86
G	7.16
M	6.86
An	0.74
T	1.04

4.1.5. Schmidt Çekici Sertlik Deneyi Sonuçları

Bu tez çalışmasında kayaçların yüzey sertliğini belirlemek için L tipi dijital Schmidt çekici kullanılmıştır. Bu deneyde laboratuvara getirilen blok veya düzensiz şekilli 5 adet kayaç örneği üzerinde farklı noktalara 20 vuruş yapılmış ve en yüksek 10 değerlerin ortalaması alınarak kayaçların sertlikleri Schmidt çekici ile belirlenmiştir. Traverenine ait buluna schmidt çekici sertlik değeri Çizelge 4.9.'de verilmiştir. Diğer

kayalara ait schmidt çekici sertlik deney sonuçları EK-5’de verilmiştir. Tüm kaya birimlerine ait ortalama Schmidt sertlik değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Travertenine ait schmidt çekici deney sonucu

Vuruş	Schmidt Deney Sonucu
T-1	26
T-2	19
T-3	14
T-4	23
T-5	15
T-6	12
T-7	17
T-8	24
T-9	19
T-10	17
T-11	19
T-12	20
T-13	21
T-14	22
T-15	22
T-16	14
T-17	24
T-18	18
T-19	25
T-20	18
Deney Sonucu	22.6

Çizelge 4.10. Kayaçların Schmidt deney sonuçları

Numune	Schmidt Deney Sonucu
T	22.61
G	55.26
M	59.44
B	44.21
An	20.82

4.1.6. Yoğunluk ve Gözeneklilik Belirleme Deneyi Sonuçları

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaç numunelerinin yoğunluğu Çizelge 4.11.’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Tüm kaya birimlerine ait yoğunluk değerleri

Numune	Yoğunluk (gr/cm ³)
Traverten	2.71
Bazalt	2.94
Andezitik tüf	2.59
Granit	2.64
Mermer	2.79

4.1.7. İspanyol Kuru Ağırlık Kaybı (DWL) Deneyi

Bu tez çalışmasında deney tabii tutulacak örnekler silindirik karotlar halinde deney için hazır hale getirildi. Kumpas ile boy ve çapları ölçülüp not alındı.

Hazırlanan numuneler 60 santigrat derecede 24 saat kurutulduktan sonra ilk ağırlıkları ölçüldü. Numunelerin içinde bekletileceği çözelti 4 litre saf suya 560 gr. Na₂SO₄ ilave edilip karıştırılarak %14'lük Na₂SO₄ çözeltisi hazırlandı. Örnekler oda sıcaklığında hazırlanan bu çözelti içine tamamen batacak şekilde daldırıldı ve 4 saat bekletildi. Sonra çözülden çıkarılan numuneler 60 santigrat derecede 16 saat etüvde bekletilerek kurutulduktan sonra, 4 saat oda sıcaklığında bekletilerek soğutuldu. Bu işlem 24 saat sürmüş ve 15 kez tekrarlanmıştır. 15 günün sonunda örnekler saf su ile yıkandı ve 105 santigrat derecede 24 kurutulduktan sonra tartılmıştır. Sonuç olarak numunelerin ağırlık kaybı yüzde olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında bulunan traverten numunesinin DWL değerleri Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Kayaçların DWL deney sonuçları

Numune	DWL(%)
Traverten	6,25
Bazalt	0,07
Andezitik tüf	33,7
Granit	0,15
Mermer	0

4.1.8. Kayaçların dayanım değerlerinden hesaplanan kırılgenlik değerleri

Kayaçların kırılgenliklerinin belirlenmesi için birçok araştırmacı tarafından farklı kırılgenlik indeks formülleri geliştirilmiştir. Bunlardan literatürde en yaygın

olarak kullanılan ve kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımına dayanan B1, B2, B3 ve B4 görgül eşitlikleri bu çalışmada kırılmalık indeks değerleri belirlemek için kullanılmıştır. Çizelge 4.13’de kayaçların görgül eşitlik hesaplanan kırılmalık indeks değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.13. Görgül eşitlik yardımıyla Kayaçların kırılmalık indeksleri

Kayaç türü	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
Granit	11,73	0,84	251,62	22,53
Bazalt	11,81	0,84	177,31	20,67
Andezitik Tüf	2,26	0,39	28,23	8,64
Mermer	7,22	0,76	256,44	20,05
Traverten	7,15	0,75	36,59	12,29

4.2. Deney Sonuçlarının Analizi

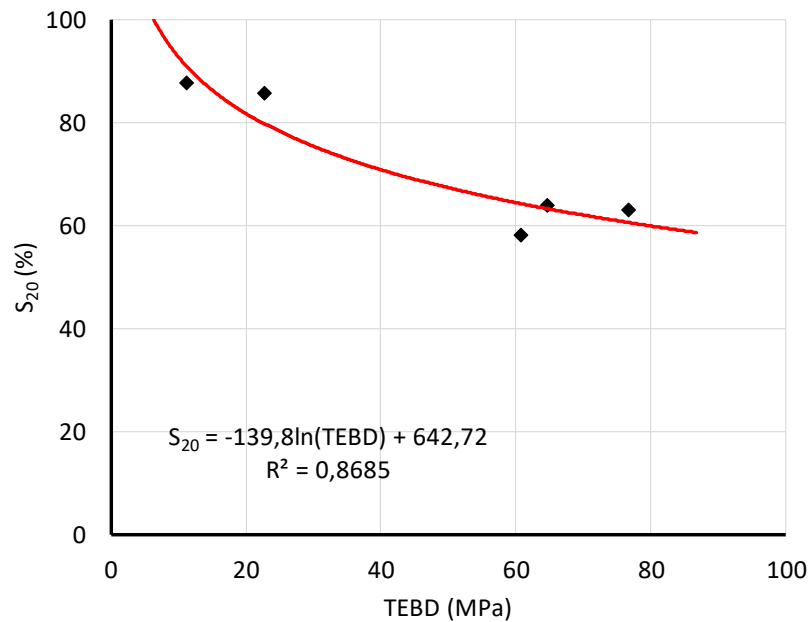
4.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı ile kırılmalık değerlerinin karşılaştırılması

4.2.1.1. S₂₀ Kırılmalık indeks değeri ile tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

Yapılan TEBD deneylerinden elde edilen sonuçlar ile S₂₀ kırılmalık değerinin karşılaştırılması sonucu Eşitlik 4.1’deki bağıntı elde edilmiştir.

$$S_{20} = -139,8 \ln(TEBD) + 642,72 \quad (4.1)$$

Elde edilen regresyon eğrisi Şekil 4.1’de görölmektedir.



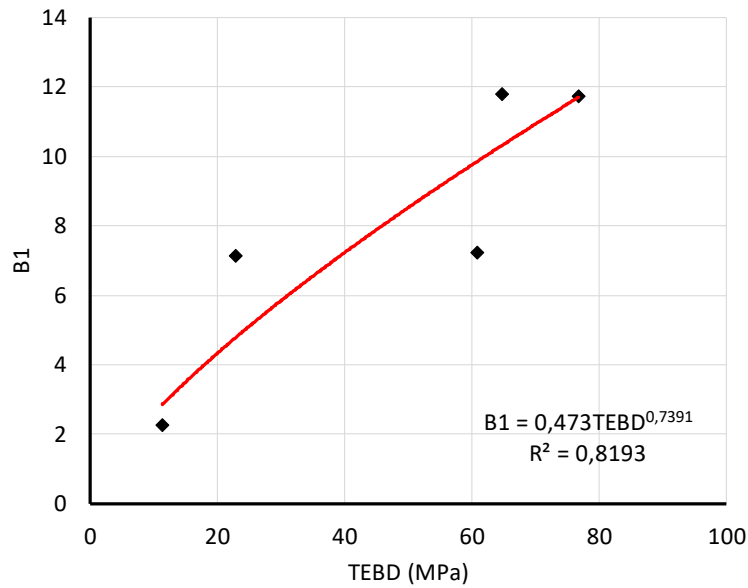
Şekil 4.1 TEBD ve S₂₀ kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

Yüksek bir regresyon katsayısı ($R^2=0,87$) değerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucunda tek eksenli basınç dayanımı değerinin arttıkça S_{20} kırılmalık indeks değerinin azaldığı görülmüştür. İki parametre arasındaki en yüksek regresyon katsayılı ilişkinin logaritmik olduğu bulunmuştur. Buradan elde edilen sonuçla yüksek doğrulukta S_{20} kırılmalık değerine elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Kırılmalık indeksinin dolaylı yoldan bulunmasında da (B_1, B_2, B_3, B_4) önemli bir parametre olan tek eksenli basınç dayanımının dolaylı yoldan elde edilen kırılmalık değerleri ile de güçlü bir ilişki içinde olduğu belirlenmiştir (Hucka ve Das, 1974; Altındağ, 2002; Yağız ve Gökçeoğlu, 2010; Nejati ve Moosavi, 2017).

4.2.1.2. B_1 Kırılmalık indeks değeri ile tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_1 kırılmalık indeksi ile TEBD değerleri karşılaştırıldığında iki değer arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.2). TEBD değerinin arttıkça B_1 değerinin de artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. En iyi regresyon üs fonksiyonu ile elde edilmiş ve iki değer arasındaki regresyon katsayısı değeri 0,82 olarak tespit edilmiştir. İki değişken arasındaki bağıntı Eşitlik 4.2’de görüldüğü gibidir.

$$B_1 = 0,473 \text{ TEBD}^{0,7391} \quad (4.2)$$

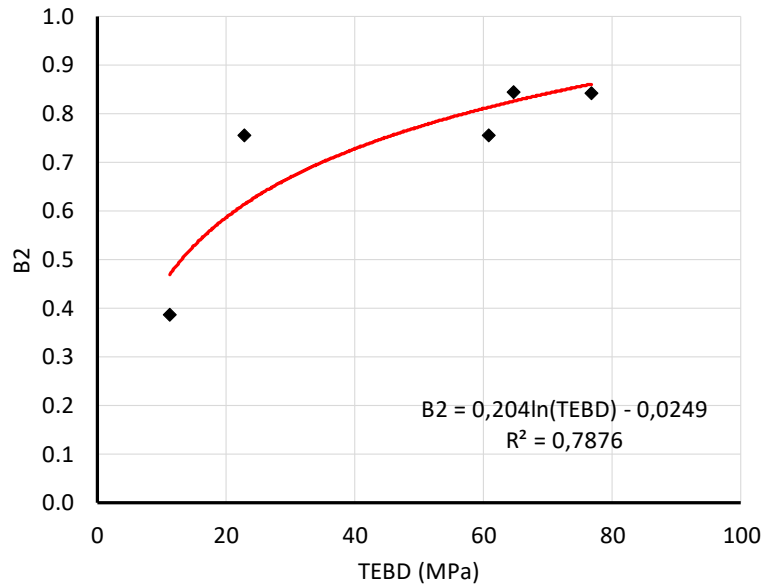


Şekil 4.2 TEBD ve B_1 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.1.3. B_2 Kırılmalık indeks değeri ile tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_2 kırılmalık indeksi ile TEBD değerleri karşılaştırıldığında iki değer arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. TEBD değerinin arttıkça B_2 değerinin de artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. En iyi regresyon logaritmik fonksiyon ile elde edilmiş (Şekil 4.3) ve iki değer arasındaki regresyon katsayısı değeri 0,79 olarak tespit edilmiştir. İki değişken arasındaki bağıntı Eşitlik 4.3'de görüldüğü gibidir.

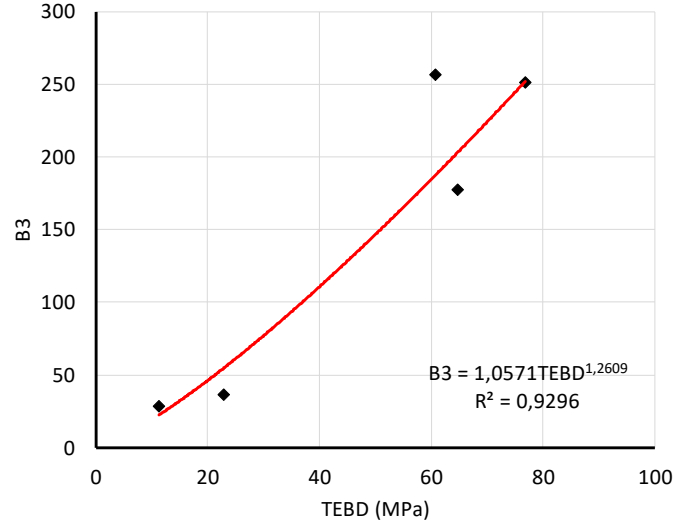
$$B_2 = 0,204 \ln(\text{TEBD}) - 0,0249 \quad (4.3)$$



Şekil 4.3 TEBD ve B_2 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.1.4. B_3 Kırılmalık indeks değeri ile tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

Altındağ (2002) tarafından geliştirilen B_3 kırılmalık indeksi ile TEBD değerleri karşılaştırıldığında iki değer arasında diğer indekslere oranla daha güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. Söz konusu ilişki Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4 TEBD ve B₃ kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

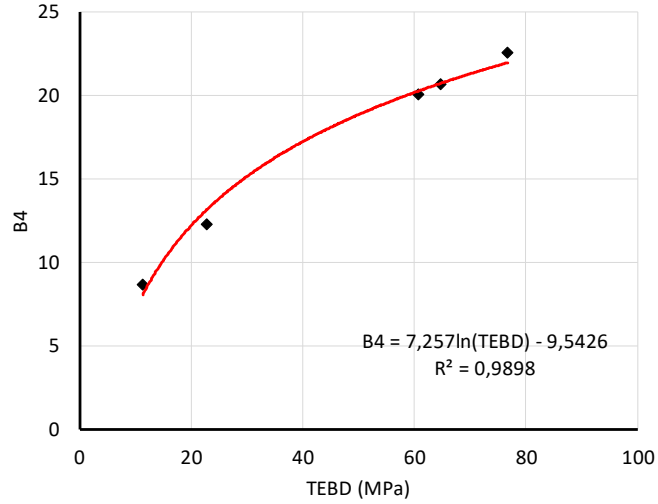
TEBD değerinin arttıkça B₃ değerinin de artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. En iyi regresyon üs fonksiyonu ile elde edilmiş ve iki değer arasındaki regresyon katsayısı değeri 0,93 olarak tespit edilmiştir. İki değişken arasındaki bağıntı ise Eşitlik 4.4'de görüldüğü gibidir.

$$B_3 = 1,0571 TEBD^{1,2609} \quad (4.4)$$

4.2.1.5. B₄ Kırılmalık indeks değeri ile tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

Yağız ve Gökçeoğlu (2010) tarafından geliştirilen B₄ kırılmalık indeksi ile TEBD değerleri karşılaştırıldığında iki değer arasında diğer indekslere oranla en güçlü ilişkinin olduğu görülmüştür. TEBD değerinin arttıkça B₄ değerinin de artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. En iyi regresyon logaritmik fonksiyon ile elde edilmiş (Şekil 4.5) ve iki değer arasındaki regresyon katsayısı değeri 0,99 olarak tespit edilmiştir. İki değişken arasındaki bağıntı Eşitlik 4.5'de görüldüğü gibidir.

$$B_4 = 7,257 \ln(TEBD) - 9,5426 \quad (4.5)$$

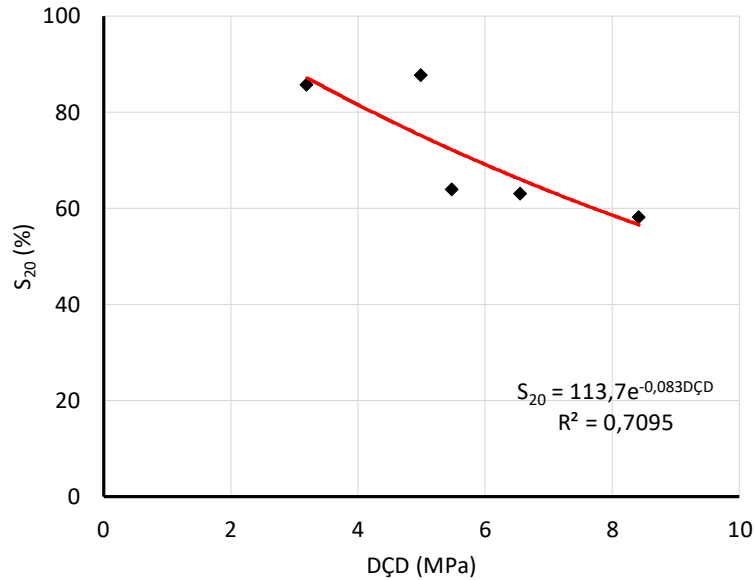


Şekil 4.5 TEBD ve B₄ kırılma indeksi arasındaki ilişki

4.2.2. Dolaylı çekme dayanımı ile kırılma değerlerinin karşılaştırılması

4.2.2.1. S₂₀ Kırılma indeksi değeri ile dolaylı çekme dayanımının karşılaştırılması

DÇD deneylerinde elde edilen sonuçlar ile S₂₀ kırılma indeksi değeri analiz edildiğinde Şekil 4.6'da görüldüğü gibi ikisi arasında negatif ve üstel bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6 DÇD ve S₂₀ kırılma indeksi arasındaki ilişki

Eşitlik 4.6'da görülen bu ilişkiye ait regresyon katsayısı ise 0.71 olarak bulunmuştur.

$$S_{20} = 113,7 e^{-0,083D\text{ÇD}} \quad (4.6)$$

Şekil 4.5'den de görülebileceği gibi S_{20} ile DÇD arasında negatif bir ilişkinin varlığı göze çarpmaktadır.

4.2.2.2. B₁ Kırılma indeks değeri ile dolaylı çekme dayanımının karşılaştırılması

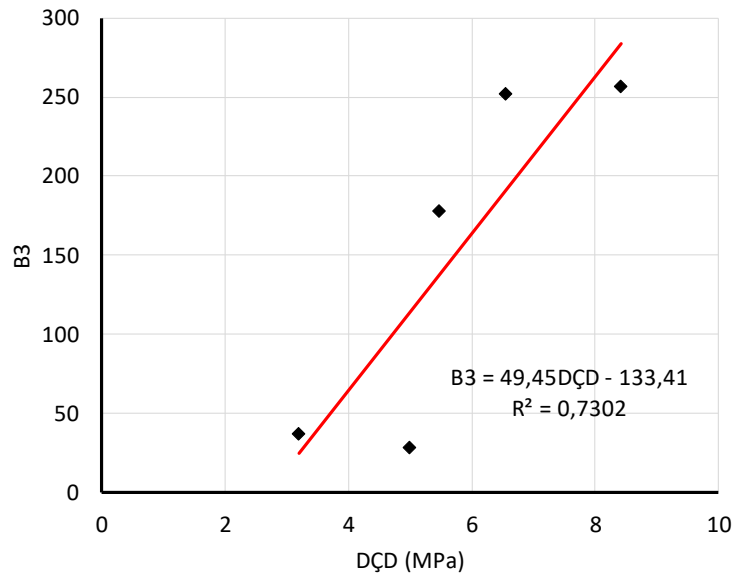
DÇD değerleri ile B₁ kırılma indeksindeki ilişki araştırıldığında herhangi anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. R² değeri sıfıra yakın değerlerde belirlenmiştir.

4.2.2.3. B₂ Kırılma indeks değeri ile dolaylı çekme dayanımının karşılaştırılması

DÇD değerleri ile B₁ kırılma indeksindeki ilişki B₂ kırılma indeks değeri ile benzer bir ilişki göstermiş herhangi anlamlı bir ilişki elde edilememiştir.

4.2.2.4. B₃ Kırılma indeks değeri ile dolaylı çekme dayanımının karşılaştırılması

DÇD değerleri ile B₃ kırılma indeksindeki ilişki araştırıldığında Şekil 4.9'da görüldüğü gibi doğrusal ve pozitif bir regresyon eğrisi elde edilmiştir. R²=0.73 regresyon değerine sahip olan bu doğrusal ilişkiye ait matematiksel ifade Eşitlik 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 DÇD ve B₃ kırılma indeksindeki ilişki

$$B_3=49,45 D\text{ÇD}-133,41 \quad (4.9)$$

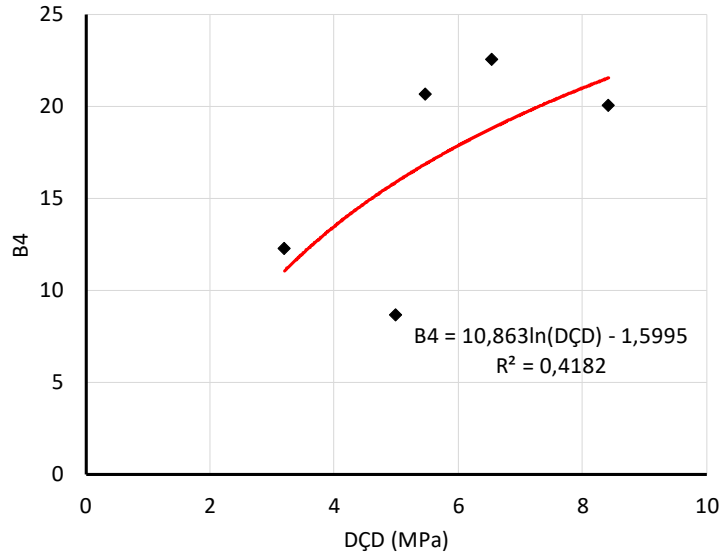
Yine S_{20} kırılma indeksi olduğu gibi B_3 kırılma indeksi ile DÇD değerleri arasındaki ilişkiye ait regresyon katsayısı nispeten daha düşük çıkmıştır. Bu da, DÇD sonuçlarının B_3 kırılma indeksinin elde etmede daha az belirleyici olduğunu göstermektedir.

4.2.2.5. B_4 Kırılma indeksi değeri ile dolaylı çekme dayanımının karşılaştırılması

DÇD ile B_4 kırılma indeksi arasındaki matematiksel bağıntı ise Eşitlik 4.10'da görüldüğü gibi tespit edilmiştir (Şekil 4.10).

$$B_4=10,863 \ln(D\text{ÇD})-1,5995 \quad (4.10)$$

Eşitlik 4.10'da görülen bu bağıntı her ne kadar yapılan analizler sonucunda elde edilen en yüksek regresyon katsayısına sahip eşitlik olarak bulunmuş olsa da bu eşitliğe ait regresyon katsayısı 0.42 ile sınırlı kalmıştır. Bu da, dolaylı çekme dayanımı parametresi ile B_4 kırılma indeksi arasındaki ilişkinin zayıf bir ilişki olduğu sonucunu doğurmaktadır.

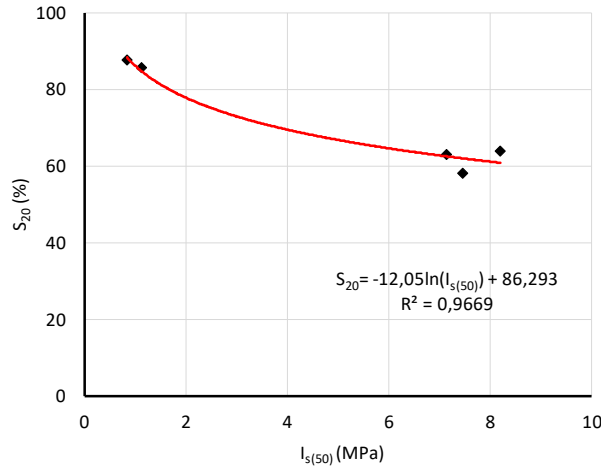


Şekil 4.10 DÇD ve B_4 kırılma indeksi arasındaki ilişki

4.2.3. Nokta yükleme indeks dayanımı ile kırılgenlik değeri nin karşılaştırılması

4.2.3.1. S_{20} Kırılgenlik indeks değeri ile nokta yükleme indeks dayanımının karşılaştırılması

Gerçekleştirilen analiz çalışmalarının bu aşamasında nokta yükleme indeks dayanımı ($I_{s(50)}$) ile S_{20} kırılgenlik indeksi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için regresyon çalışmaları yürütülmüştür. Elde edilen bulgulara göre Şekil 4.11’de de görüldüğü gibi negatif ve logaritmik bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Söz konusu ilişkiyi temsil eden matematiksel ifade Eşitlik 4.11’de görülen ve $0,97 R^2$ değeri ile bulunan ifadedir. Bu yüksek regresyon katsayısı değerlendirildiğinde Schmidt çekme dayanımında olduğu gibi $I_{s(50)}$ değerlerinin de S_{20} kırılgenlik indeksinin tespitinde oldukça belirleyici bir parametre olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 4.11 $I_{s(50)}$ ve S_{20} kırılgenlik indeksi arasındaki ilişki

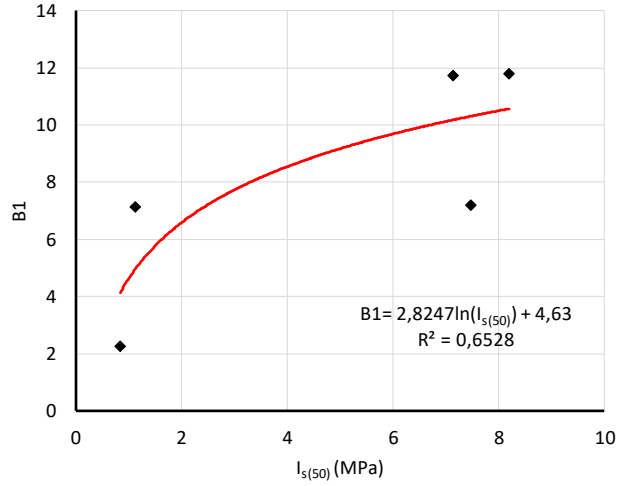
$$S_{20} = -12,05 \ln(I_{s(50)}) + 86,293 \quad (4.11)$$

4.2.3.2. B_1 Kırılgenlik indeks değeri ile nokta yükleme indeks dayanımının karşılaştırılması

$I_{s(50)}$ değerlerinin karşılaştırıldığı bir diğer kırılgenlik indeksi olan B_1 kırılgenlik indeksi ile yapılan çalışmalar sonucunda Eşitlik 4.12’de görülen logaritmik ifade elde edilmiştir.

$$B_1 = 2,8247 \ln(I_{s(50)}) + 4,63 \quad (4.12)$$

$R^2=0,65$ regresyon katsayısı ile elde edilen bu ilişki Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi pozitif bir ilişki olarak ortaya çıkmıştır.



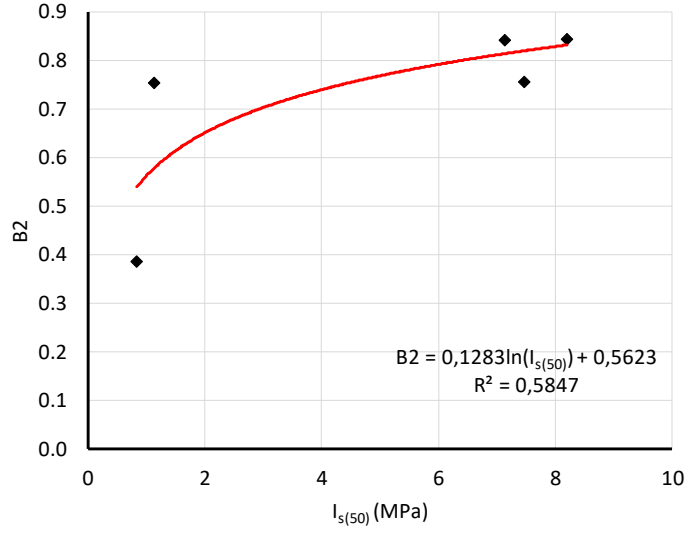
Şekil 4.12 $I_{s(50)}$ ve B_1 kırılma indeksi arasındaki ilişki

4.2.3.3. B_2 Kırılma indeksi değeri ile nokta yükleme indeksi dayanımının karşılaştırılması

$I_{s(50)}$ değerleri ile Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_2 kırılma indeksi arasındaki ilişkinin araştırıldığı analiz çalışmalarında ise en yüksek regresyon katsayısı $R^2=0,58$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.13). Elde edilen matematiksel ifade ise Eşitlik 4.13’de sunulmuştur.

$$B_2 = 0,1283 \ln(I_{s(50)}) + 0,5623 \quad (4.13)$$

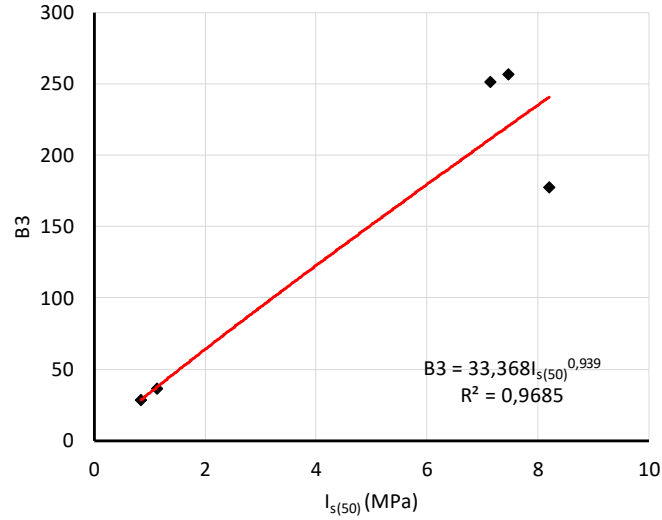
Eşitlik 4.13 ve Şekil 4.13’den de görülebileceği gibi söz konusu ilişkinin pozitif ve logaritmik bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Fakat yine diğer deney sonuçlarının çoğunda olduğu gibi nokta yükleme indeksi dayanımı için de B_2 ile ilişkinin regresyon katsayısı düşük değere sahiptir. Başka bir ifade ile nokta yükleme indeksi dayanımı ile B_2 arasında zayıf bir ilişki olduğu değerlendirilebilir.



Şekil 4.13 $I_{s(50)}$ ve B_2 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.3.4. B_3 Kırılmalık indeks değeri ile nokta yükleme indeks dayanımının karşılaştırılması

$I_{s(50)}$ ile B_3 kırılmalık indeksi arasındaki ilişkide ise Şekil 4.14’de görüldüğü gibi yüksek bir regresyon katsayısına sahip ($R^2=0.97$), doğrusala çok yakın üs fonksiyonu ile ifade edilen bir bağıntı tespit edilmiştir.



Şekil 4.14 $I_{s(50)}$ ve B_3 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

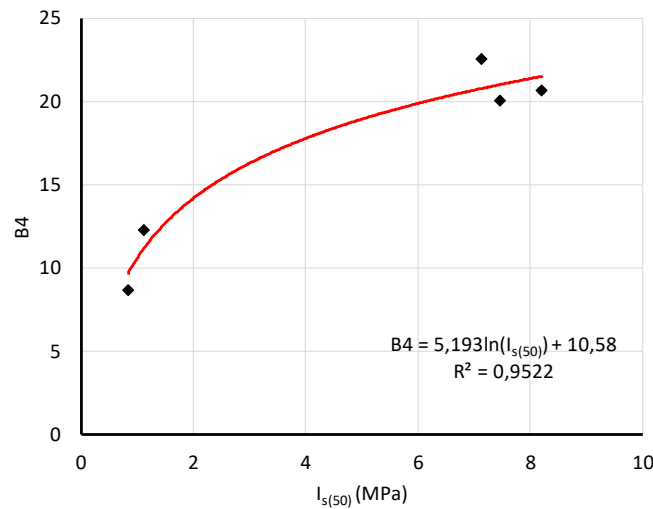
Elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.14’de verilmektedir.

$$B_3 = 33,3681 I_{s(50)}^{0,939} \quad (4.14)$$

Söz konusu ilişkinin sahip olduğu yüksek regresyon katsayısı değerlendirildiğinde, $I_{s(50)}$ ile B_3 kırılmalık indeksi arasında oldukça kuvvetli bir pozitif ilişkinin varlığı göze çarpmaktadır.

4.2.3.5. B_4 Kırılmalık indeks değeri ile nokta yükleme indeks dayanımının karşılaştırılması

$I_{s(50)}$ ile yapılan son analiz çalışmasında ise B_4 ile arasındaki ilişki araştırılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 $I_{s(50)}$ ve B_3 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre $I_{s(50)}$ ile B_4 kırılmalık indeksi arasında Eşitlik 4.15’de de görülen logaritmik pozitif ilişki tespit edilmiştir. Söz konusu ilişkinin sahip olduğu regresyon katsayısı da $R^2=0.95$ olarak bulunmuştur. Bu da, $I_{s(50)}$ parametresinin B_4 kırılmalık indeksinin hesaplanmasında belirleyici parametrelerden biri olduğu sonucunu doğurmaktadır.

$$B_4 = 5,193 \ln(I_{s(50)}) + 10,58 \quad (4.15)$$

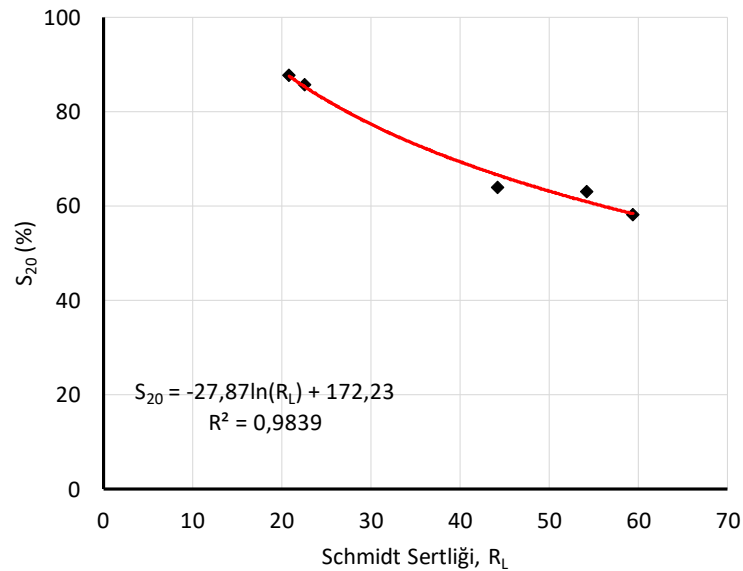
4.2.4. Schmidt sertliği ile kırılmalık değerlerinin karşılaştırılması

4.2.4.1. S_{20} Kırılmalık indeks değeri ile Schmidt sertlik değerinin karşılaştırılması

Gerçekleştirilen Schmidt çekici deneylerinde elde edilen sonuçlar ile S_{20} kırılmalık değeri arasındaki ilişkinin belirlenmesi için yapılan analizler sonucunda

Eşitlik 4.16'da görülen bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen regresyon katsayısının çok yüksek olduğu göz önüne alındığında ($R^2=0,98$), Schmidt sertlik değerinin (R_L) S_{20} kırılmalık değerlerinin belirlenmesinde oldukça belirleyici bir faktör olduğu söylenebilir. Bunun yanı sıra söz konusu ilişkinin negatif bir ilişki olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.16). Başka bir ifade ile R_L değerinde meydana gelen artış, S_{20} kırılmalık değerinin azalmasına neden olmaktadır. Yapılan analiz çalışmalarında regresyon katsayısının en yüksek olmasına yol açan matematiksel ifadenin logaritmik bir ifade olduğu tespit edilmiştir. Özetle, Schmidt çekici deneyleri ile elde edilecek R_L değeri kullanılarak, S_{20} kırılmalık değeri oldukça kuvvetli bir yaklaşımla elde edilebilmektedir.

$$S_{20} = -27,87 \ln(R_L) + 172,23 \quad (4.16)$$



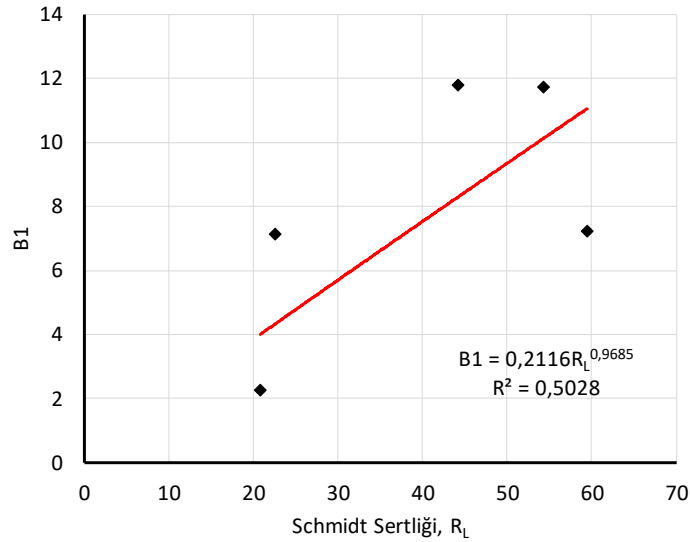
Şekil 4.16 Schmidt sertliği (R_L) ve S_{20} kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.4.2. B_1 Kırılmalık indeks değeri ile Schmidt sertlik değerinin karşılaştırılması

Schmidt sertlik değeri ile Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_1 kırılmalık indeksinin karşılaştırılması için yapılan analizler sonucunda ise üs fonksiyonu şeklinde bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Şekil 4.17'de gözlenen bu ilişkiye ait eşitlik şu şekilde bulunmuştur:

$$B_1 = 0,2116 R_L^{0,9685} \quad (4.17)$$

Eşitlik 4.17’de görülen matematiksel ifade, analizler sonucunda en yüksek regresyon katsayısını veren ifade olarak bulunmuş olsa da elde edilen katsayı değerinin düşük olduğu gözlenmiştir ($R^2=0.50$). Buradan hareketle, Schmidt sertlik değeri ile B_1 kırılmalık indeksi arasındaki ilişkinin çok yüksek bir ilişki olmadığı, hatta zayıf bir ilişkinin var olduğu yorumu yapılabilir.



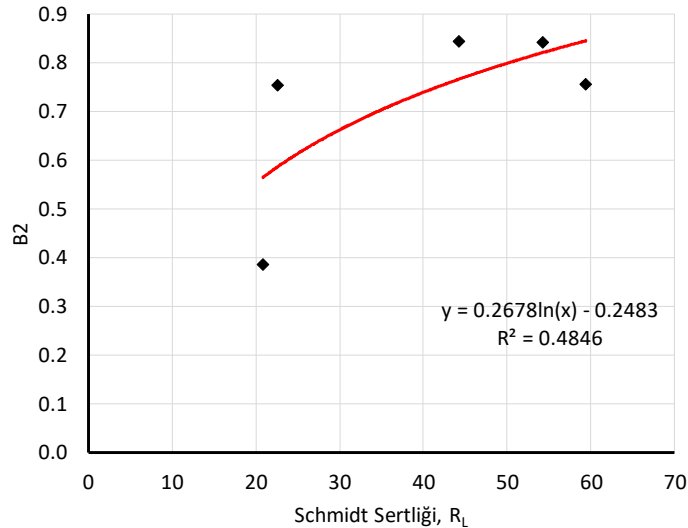
Şekil 4.17 Schmidt sertliği (R_L) ve B_1 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.4.3. B_2 Kırılmalık indeks değeri ile Schmidt sertlik değerinin karşılaştırılması

Yine Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_2 kırılmalık indeksi ile Schmidt sertlik değerleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, B_1 kırılmalık indeksi değerinde olduğu gibi aralarında yüksek bir ilişki olmamakla birlikte pozitif yönde logaritmik bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.18). En yüksek regresyon katsayısı Eşitlik 4.18’de görüldüğü şekliyle elde edilmiş olup söz konusu regresyon katsayısının değeri 0.48 olarak tespit edilmiştir.

$$B_2 = 0.2678 \ln(R_L) - 0.2483 \quad (4.18)$$

Elde edilen regresyon katsayısının düşük olduğu göz önüne alındığında, B_1 kırılmalık indeksinde olduğu gibi, B_2 kırılmalık indeksinin tespiti için de Schmidt sertlik değerinin belirleyici bir değişken olduğu söylenemez.

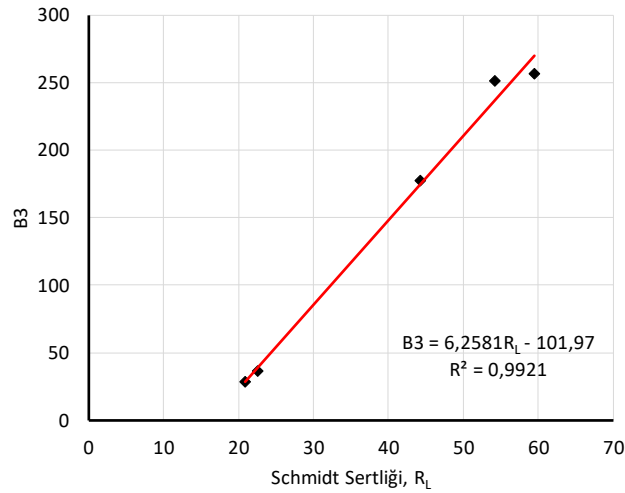


Şekil 4.18 Schmidt sertliği (R_L) ve B_2 kırılgenlik indeksi arasındaki ilişki

4.2.4.4. B_3 Kırılgenlik indeks değeri ile Schmidt sertlik değerinin karşılaştırılması

Gerçekleştirilen bir diğer analiz çalışmasında, Schmidt sertliği ile Altındağ (2002) tarafından geliştirilen B_3 kırılgenlik indeksi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda da Eşitlik 4.19'da verilen matematiksel ifadenin iki değişken arasındaki en yüksek regresyon katsayısını ($R^2=0.99$) verdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.19). Bu katsayı aynı zamanda Schmidt sertliği ile diğer kırılgenlik indeksleri için elde edilen regresyon katsayıları arasında en yüksek değerde olanıdır. Elde edilen regresyon katsayısının 1'e çok yakın olması Schmidt sertlik değeri ile B_3 kırılgenlik indeksi arasındaki ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedir. Söz konusu ilişkinin doğrusal ve pozitif olduğu gözlenmiştir. Diğer bir deyişle, Schmidt sertlik değeri arttıkça B_3 kırılgenlik indeksinde de benzer bir artış meydana gelmektedir.

$$B_3 = 6,2581R_L - 101,97 \quad (4.19)$$

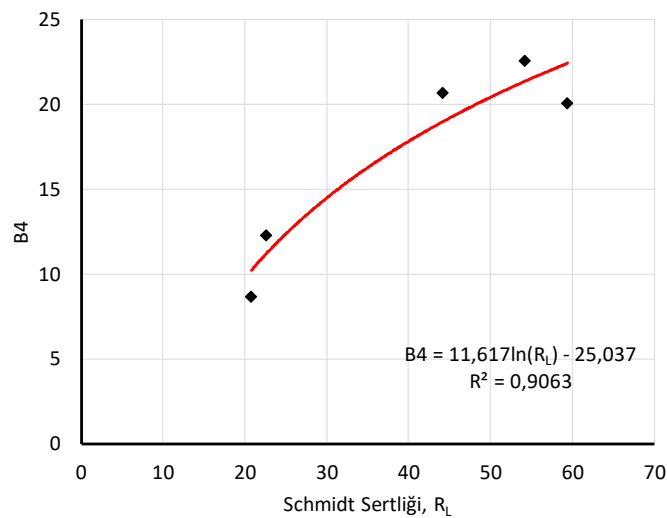


Şekil 4.19 Schmidt sertliği (R_L) ve B_3 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.4.5. B_4 Kırılmalık indeks değeri ile Schmidt sertlik değeri karşılaştırılması

Schmidt sertlik değerinin karşılaştırıldığı son kırılmalık indeksi ise Yağız ve Gökçeoğlu (2010) tarafından geliştirilen B_4 kırılmalık indeksi olmuştur. Elde edilen en yüksek regresyon katsayısına sahip ilişki Şekil 4.20’de görülmektedir. Eşitlik 4.20’de görülen matematiksel ifade, en yüksek regresyon katsayısını veren matematiksel ifade olarak tespit edilmiştir. Söz konusu regresyon katsayısı 0.90 olarak elde edilmiştir. Yine diğer kırılmalık indeksi değerlerinde olduğu gibi logaritmik bir ilişkinin varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 4.20). Bunun yanı sıra B_3 kırılmalık indeksine benzer şekilde pozitif ve kuvvetli bir ilişkinin varlığından söz edilebilir.

$$B_4 = 11.617 * \ln(R_L) - 25.037 \quad (4.20)$$

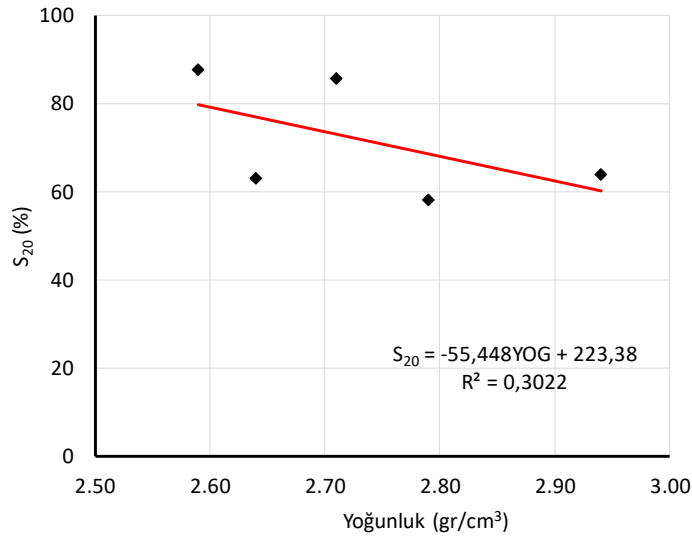


Şekil 4.20 Schmidt sertliği (R_L) ve B_4 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.5. Yoğunluk ile kırılma değeri arasındaki ilişki

4.2.5.1. S_{20} Kırılma indeksi değeri ile yoğunluk değerinin karşılaştırılması

Yoğunluk deneyi sonuçlarının (YOG) ilk olarak S_{20} kırılma indeksi ile arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bunun için gerçekleştirilen regresyon çalışmaları sonucunda en yüksek regresyon katsayısını veren ilişki Şekil 4.21’de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.21 Yoğunluk ve S_{20} kırılma indeksi arasındaki ilişki

Şekilden de görülebileceği gibi, yapılan analizler sonucunda yoğunluk (YOG) ve S_{20} kırılma indeksi arasında Eşitlik 4.21’de görülen doğrusal ilişki elde edilmiştir.

$$S_{20} = -55,448 YOG + 223,38 \quad (4.21)$$

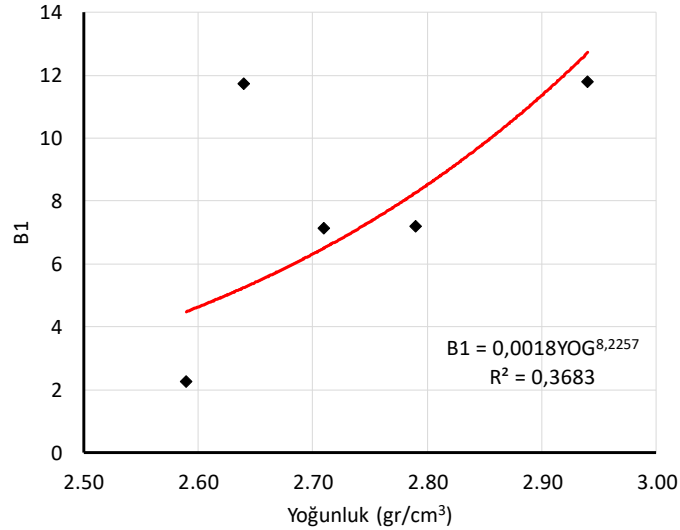
Her ne kadar elde edilen eşitlik analizler esnasında elde edilen en yüksek regresyon katsayısına sahip olan eşitlik olsa da, söz konusu regresyon katsayısının 0,30 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre yoğunluk ile S_{20} kırılma indeksi arasında bir ilişkinin varlığından söz etmek pek mümkün görünmemektedir.

4.2.5.2. B_1 Kırılma indeksi değeri ile yoğunluk değerinin karşılaştırılması

Yoğunluk deneyi sonuçlarının karşılaştırıldığı bir diğer kırılma indeksi olan B_1 kırılma indeksi ile yapılan çalışmalar sonucunda Eşitlik 4.22’de görülen ve üs fonksiyonu formatında olan matematiksel ifade elde edilmiştir.

$$B_1 = 0,0018 YOG^{8,2257} \quad (4.22)$$

$R^2=0,37$ regresyon katsayısı ile elde edilen bu ilişki Şekil 4.22’de de görüldüğü gibi pozitif bir ilişki olarak ortaya çıkmıştır fakat regresyon katsayısının oldukça düşük olması yoğunluk değeri ile B_1 kırılmalık indeksi arasında yok denecek derecede az olan oldukça düşük bir ilişkinin varlığını göstermektedir.



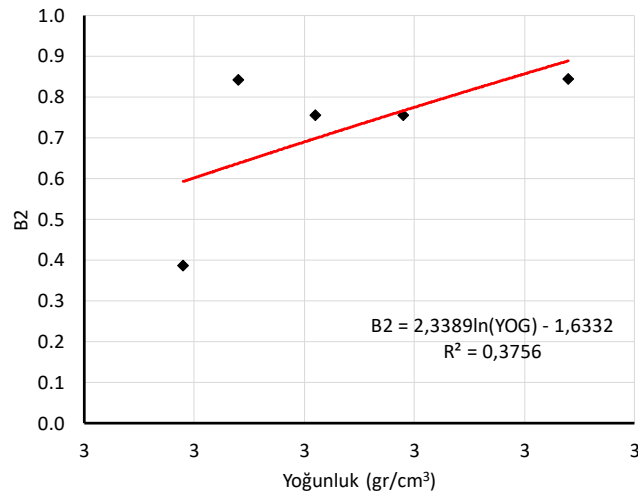
Şekil 4.22 Yoğunluk ve B_1 kırılmalık indeksi arasındaki ilişki

4.2.5.3. B_2 Kırılmalık indeks değeri ile yoğunluk değerinin karşılaştırılması

Yoğunluk ile Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_2 kırılmalık indeksi arasındaki ilişkinin araştırıldığı analiz çalışmalarında ise en yüksek regresyon katsayısı $R^2=0,38$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.23). Elde edilen matematiksel ifade ise Eşitlik 4.23’de sunulmuştur.

$$B_2 = 2,3389 \ln(YOG) - 1,6332 \quad (4.23)$$

Eşitlik 4.23 ve Şekil 4.23’den de görülebileceği gibi söz konusu ilişkinin pozitif ve logaritmik bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Fakat diğer kırılmalık indekslerinde olduğu gibi B_2 ile de ilişkinin regresyon katsayısı düşük değere sahiptir. Dolayısıyla yoğunluk ile B_2 arasında da zayıf bir ilişki olduğu değerlendirilebilir.



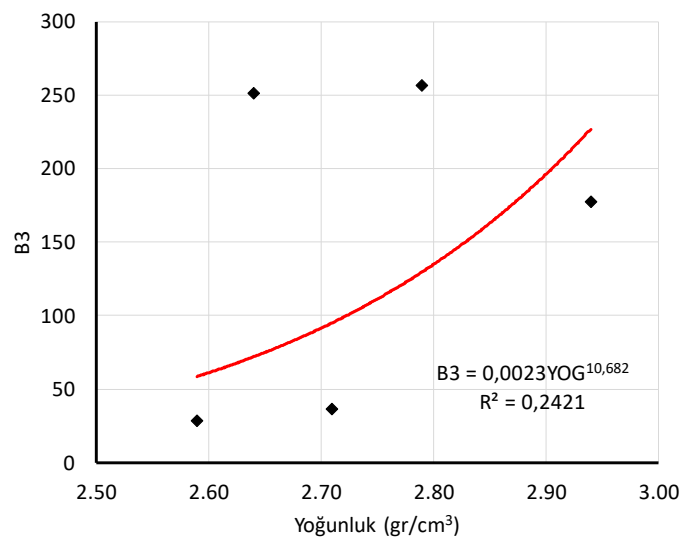
Şekil 4.23 Yoğunluk ve B₂ kırılma indeksi arasındaki ilişki

4.2.5.4. B₃ Kırılma indeksi değeri ile yoğunluk değerinin karşılaştırılması

Yoğunluk ile B₃ kırılma indeksi arasındaki ilişkide de Şekil 4.24'de görüldüğü gibi oldukça düşük bir regresyon katsayısına sahip ($R^2=0.24$), üs fonksiyonu ile ifade edilen pozitif yönlü bir bağıntı tespit edilmiştir (Eşitlik 4.24).

$$B_3 = 0,0023 YOG^{10,682} \quad (4.24)$$

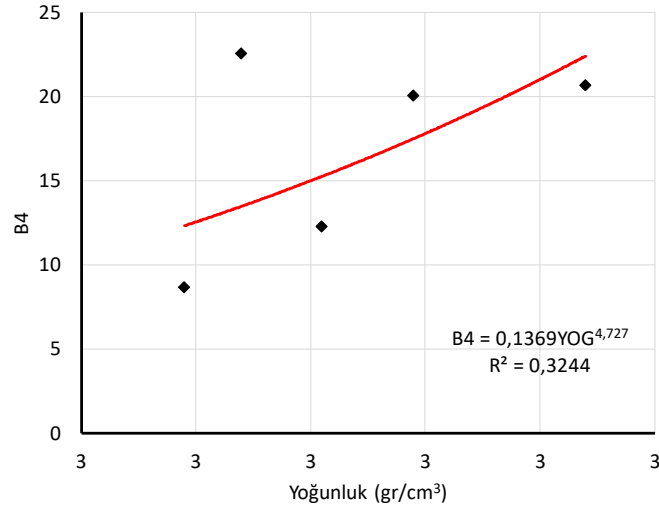
Söz konusu ilişkinin sahip olduğu düşük regresyon katsayısı değerlendirildiğinde, nokta yükleme indeks dayanımı ile B₃ kırılma indeksi arasında herhangi bir ilişkinin varlığından söz etmek oldukça güç görülmektedir.



Şekil 4.24 Yoğunluk ve B₃ kırılma indeksi arasındaki ilişki

4.2.5.5. B₄ Kırılma indeksi değeri ile yoğunluk değerinin karşılaştırılması

Son olarak yoğunluk ile B₄ kırılma indeksi arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla gerçekleştirilen analiz çalışmalarında yine düşük bir regresyon katsayısı ($R^2=0,32$) ile bir bağıntı elde edilmiş, elde edilen bu bağıntı da Eşitlik 4.25'de verilmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Yoğunluk ve B₄ kırılma indeksi arasındaki ilişki

$$B_4 = 0,1369 YOG^{4,727} \quad (4.25)$$

Yine diğer kırılma indeksi değerlerinde olduğu gibi B₄ için de benzer yorum yapılabilir. Diğer bir deyişle yoğunluk ile B₄ kırılma indeksi arasındaki ilişkinin yok denecek kadar az olduğu söylenebilir.

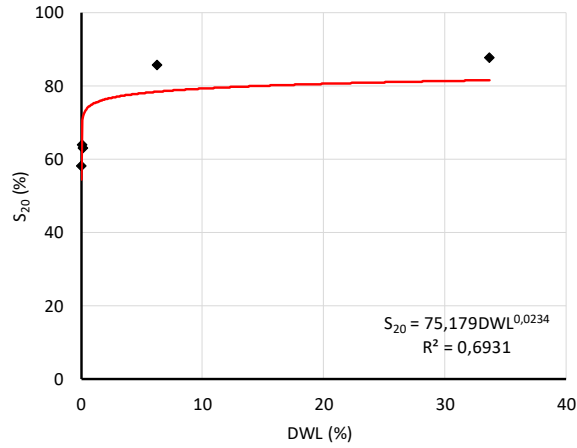
4.2.6. Kuru ağırlık kaybı ile kırılma değerlerinin karşılaştırılması

4.2.6.1 S₂₀ Kırılma indeksi değeri ile kuru ağırlık kaybı değerinin karşılaştırılması

Yapılan kuru ağırlık kaybı deneylerinde elde edilen sonuçların (DWL) S₂₀ kırılma değeri ile karşılaştırılması sonucu Eşitlik 4.26'daki bağıntı elde edilmiştir.

$$S_{20} = 75,179 DWL^{0,0234} \quad (4.26)$$

Elde edilen regresyon eğrisi ise Şekil 4.26’da görülmektedir.



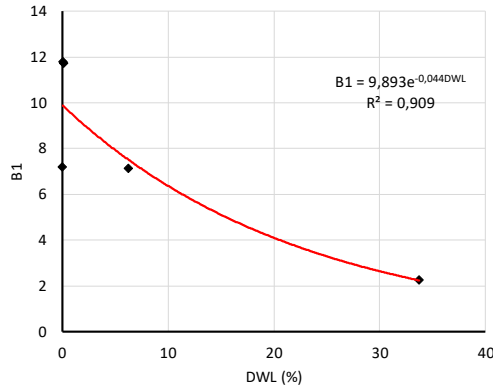
Şekil 4.26 DWL ve S₂₀ kırılgenlik indeksi arasındaki ilişki

Elde edilen regresyon katsayısı $R^2=0,69$ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucunda DWL değerinin arttıkça S₂₀ kırılgenlik indeksi değerinin de arttığı görülmüştür. İki parametre arasındaki en yüksek regresyon katsayılı ilişkinin üs fonksiyonu şeklinde olduğu bulunmuştur.

4.2.6.2. B₁ Kırılgenlik indeksi değeri ile kuru ağırlık kaybı değerinin karşılaştırılması

Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B₁ kırılgenlik indeksi ile kuru ağırlık kaybı değerleri karşılaştırıldığında iki değer arasında negatif ve güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.27). Kuru ağırlık kaybı değerinin arttıkça B₁ değerinin azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. En iyi regresyon üstel fonksiyon ile elde edilmiş ve iki değer arasındaki regresyon katsayısı değeri 0,91 olarak tespit edilmiştir. İki değişken arasındaki bağıntı Eşitlik 4.27’de görüldüğü gibidir.

$$B_1 = 9,893e^{-0,044DWL} \quad (4.27)$$

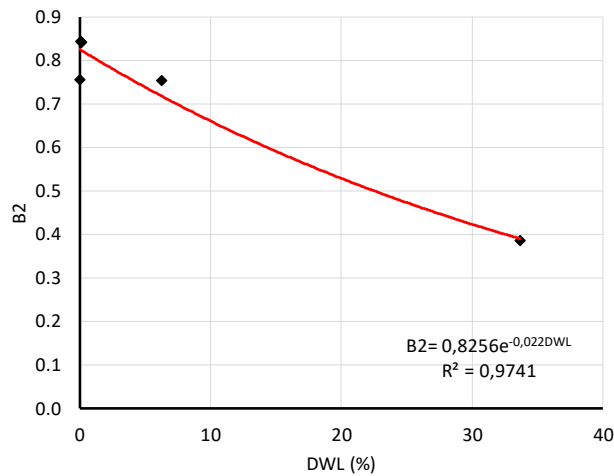


Şekil 4.27 DWL ve B_1 kırılgenlik indeksi arasındaki ilişki

4.2.6.3. B_2 Kırılgenlik indeks değeri ile kuru ağırlık kaybı değerinin karşılaştırılması

Hucka ve Das (1974) tarafından geliştirilen B_2 kırılgenlik indeksi ile DWL değerleri karşılaştırıldığında iki değer arasında yine negatif ve güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.28). Yine B_1 kırılgenlik indeksi değerinde olduğu gibi, DWL değeri arttıkça B_2 kırılgenlik indeksi azalmaktadır. En iyi regresyon değeri üstel fonksiyon ile elde edilmiş ve iki değer arasındaki regresyon katsayısı değerinin 0,97 olduğu görülmüştür. Buradan da anlaşılacağı gibi DWL ile B_2 kırılgenlik indeksi arasında oldukça kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. İki değişken arasındaki bağıntı Eşitlik 4.28'de görüldüğü gibidir.

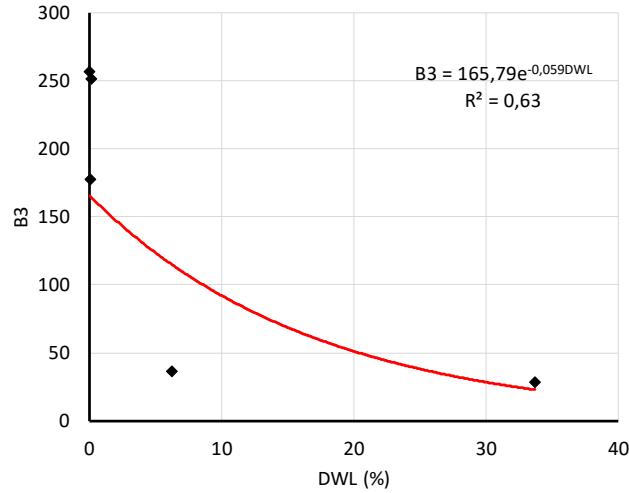
$$B_2 = 0,8256e^{-0,022DWL} \quad (4.28)$$



Şekil 4.28 DWL ve B_2 kırılgenlik indeksi arasındaki ilişki

4.2.6.4. B_3 Kırılgnlık indeks değeri ile kuru ağırlık kaybı değeri nin karşılaştırılması

DWL değeri nin B_3 kırılgnlık indeksi ile arasındaki ilişki nin tespiti için yapılan analiz çalışmalarında söz konusu ilişki nin B_1 ve B_2 indeks değeri ne göre nispeten daha zayıf oldu ğu gözlenmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 DWL ve B_3 kırılgnlık indeksi arasındaki ilişki

Elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.29'de görüldü ğü gibi elde edilmiştir. Bu matematiksel ifade için elde edilen regresyon katsayısı ise 0,63 olarak tespit edilmiştir.

$$B_3 = 165,79e^{-0,059DWL} \quad (4.29)$$

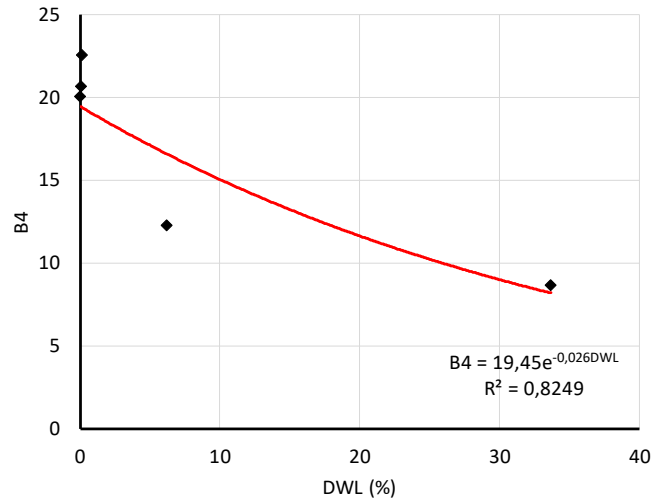
Eşitlik 4.29'dan da görülebilece ği gibi söz konusu bu ilişki nin üstel bir ilişki oldu ğu göze çarpmakta, aynı zamanda pozitif bir ilişki oldu ğu da değerlendirilmektedir. Başka bir ifade ile DWL'deki artış B_3 değeri nin de artmasına yol açmaktadır.

4.2.6.5. B_4 Kırılgnlık indeks değeri ile kuru ağırlık kaybı değeri nin karşılaştırılması

Son olarak DWL ile B_4 kırılgnlık indeksi arasındaki ilişki araştırılmış ve regresyon katsayısı $R^2=0,82$ olan üstel bir matematiksel ifade elde edilmiştir (Şekil 4.30). Elde edilen matematiksel ifade Eşitlik 4.30'da görülmektedir.

$$B_4 = 19,45e^{-0,026DWL} \quad (4.30)$$

Elde edilen matematiksel ifadeden de anlaşılacağı üzere DWL ile B_4 kırılma indeksi arasında negatif güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. Yüksek regresyon katsayısı ise DWL'nin B_4 için belirleyici faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.30 DWL ve B_4 kırılma indeksi arasındaki ilişki

4.3. Kırılma indeksini ile yapılan karşılaştırma sonuçlarının değerlendirilmesi

Bölüm 4.2'de yapılan analizler sonucunda çeşitli kırılma değerlerinin deney sonuçları ile nasıl ilişkilendirilebileceğine dair analizler gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir kırılma değeri için deney sonuçlarının ilişkilendirilmesi sonucu elde edilen regresyon katsayısı değerleri Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Deney sonuçları ile kırılma değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda elde edilen regresyon katsayıları

Kırılma	TEBD*	DÇD*	$I_{s(50)}$ *	R_L *	YOG*	DWL*
S ₂₀	0,87	0,71	0,96	0,98	0,30	0,69
B ₁	0,82		0,66	0,50	0,37	0,91
B ₂	0,79		0,58	0,48	0,38	0,97
B ₃	0,93	0,73	0,97	0,99	0,24	0,63
B ₄	0,99	0,42	0,95	0,90	0,32	0,82

* TEBD: Tek eksenli basınç dayanımı, DÇD: Dolaylı çekme dayanımı, $I_{s(50)}$:Nokta yükleme dayanımı, R_L :Schmidt çekme dayanımı, YOG: yoğunluk, DWL: Kuru ağırlık kaybı

TEBD değerlerinin genel olarak tüm kırılma indeksleri ile yüksek bir ilişki içerisinde olduğu görülmektedir. TEBD değerinin en yüksek 0,99 regresyon katsayısı ile B_4 kırılma indeksi, en düşük ise 0,79 regresyon katsayısı ile B_2 kırılma indeksi ile ilişkilendirildiği tespit edilmiştir.

DÇD parametresinin ise S_{20} ve B_3 kırılma indeksleri ile bir miktar ilişkilendirilebileceği gözlenmekle birlikte B_1 , B_2 ve B_4 kırılma indeksleri ile arasında bir ilişkinin bulunmadığı söylenebilir. Özellikle B_1 ve B_2 kırılma indekslerinin kesinlikle DÇD değerlerinden etkilenmediği yorumu yapılabilir.

Nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$) için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise S_{20} , B_3 ve B_4 kırılma indeksi değerleri ile bu parametre arasında oldukça yüksek regresyon katsayılarının elde edilmiş olduğu göze çarpmaktadır ($R^2 > 0,95$). Buradan hareketle $I_{s(50)}$ parametresinin S_{20} , B_3 ve B_4 kırılma indekslerinin belirlenmesinde oldukça belirleyici bir faktör olduğu söylenebilir.

Schmidt sertliği (R_L) ile S_{20} , B_1 , B_2 , B_3 ve B_4 kırılma indeksleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, en kuvvetli ilişkinin 0,99 regresyon katsayısı ile B_3 için elde edildiği, en zayıf ilişkinin ise 0,48 ile B_2 için tespit edildiği görülmektedir. Bunun yanında Schmidt sertliği ile B_3 , S_{20} ve B_4 arasındaki ilişkinin oldukça kuvvetli ($> 0,90$), öte yandan B_1 ve B_2 ile arasındaki ilişkinin ise oldukça zayıf ($< 0,51$) olduğu gözlenmiştir.

Yoğunluk değerleri ile kırılma indeksi değerleri arasındaki regresyon katsayıları ise genel itibarıyla oldukça düşük elde edilmiştir ($R^2 < 0,38$). Bu nedenle bu deney sonucunda elde edilen yoğunluk değerlerinin herhangi bir kırılma indeksinin tespitinde rol oynamadığı, çizelgedeki değerlere bakıldığında açıkça görülebilir.

Kuru ağırlık kaybı (DWL) ile kırılma indeksleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde ise B_1 , B_2 ve B_4 için güçlü bir ilişkinin varlığı, öte yandan S_{20} ve B_3 için ise çok kuvvetli olmayan bir ilişkinin varlığı tespiti yapılabilmektedir.

Elde edilen sonuçlar toplu bir şekilde değerlendirildiğinde S_{20} kırılma indeksini etkileyen faktörlerin yoğun bir şekilde R_L ve $I_{s(50)}$ olduğu ($R^2 > 0,97$) görülmekte, sonrasında TEBD, DÇD ve DWL olarak sıralanmaktadır ($0,69 < R^2 < 0,87$). B_1 kırılma indeksini belirleyen değerler ise en yüksek DWL olmak üzere ($R^2 = 0,91$), TEBD ve $I_{s(50)}$ olarak sıralanmaktadır ($R^2 = 0,82$ ve $R^2 = 0,66$). B_2 kırılma indeksi değerleri için en yüksek regresyon katsayısına sahip parametreler ele alındığında ise DWL ve TEBD haricinde yüksek ilişki sağlayan bir parametrenin bulunduğu söylenememektedir. DWL için $R^2 = 0,97$ olarak elde edilmiş, TEBD için ise 0,79 olan

korelasyon katsayısı tespit edilmiştir. En yüksek regresyon katsayısının elde edildiği B_3 kırılma indeksi için ise R_L , $I_{s(50)}$ ve $TEBD$ parametreleri sırasıyla $R^2=0,99$, $R^2=0,97$ ve $R^2=0,93$ regresyon katsayıları ile oldukça belirleyici parametreler olarak gözlenmiştir. B_4 kırılma indeksinin belirlenmesinde de en belirleyici parametreler sırasıyla $TEBD$, $I_{s(50)}$, R_L ve DWL olarak tespit edilmiştir ($0,82 < R^2 < 0,99$).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Kaya mekaniğinde kaya malzemesinin bir davranışı olarak tanımlanan kırılma önemli bir mekanik parametredir. Günümüzde kazı mekaniği açısından da önemli bir parametre haline gelen kırılma kayaçların kazılabilirlik, aşındırıcılık, delinebilirlik, kesilebilirlik ve malzeme olarak kullanılabilirlik vb. özelliklerinin anlaşılmasında önemli veriler sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında kayaçların kırılma özellikleri ile bazı kaya mekaniği deneylerinden elde edilen parametreler karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada kayaçların kırılma indeksleri deneysel yöntem ve ampirik formüller kullanılarak iki farklı yöntemle elde edilmiştir. Birincisi, deneysel yöntemle belirlenen Blindheim ve Bruland (1998) geliştirdiği NTNU modeli olarak bilinen S_{20} kırılma değeridir. Bu S_{20} kırılma değeri en çok TBM performansının tahmini için ve kayaçların delinebilirlik değerini tayin etmek için kullanılan delme oranı indeksini (DRI) belirlemek için kullanılmaktadır. İkincisi ise, bazı araştırmacılar tarafından önerilen kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımlarına dayanan farklı ampirik yöntemlerle belirlenen B_1 , B_2 , B_3 ve B_4 kırılma indeks değerleridir.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlara göre kayaçların S_{20} kırılma değeri ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve kuru ağırlık kaybı değerleri ile sırasıyla 0,8685, 0,7095, 0,9669, 0,9839, 0,6931 çok güçlü ve anlamlı ilişkiler gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatürde karşılaşılan bazı sonuçlar ile örtüşmektedir. Ayrıca kayaçların yoğunlukları ile anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Bu sonuçlar neticesinde özellikle kayaçların S_{20} değerlerinin bazı kaya mekaniği değerlerinden deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmadan tahmin edilebileceği anlaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında kayaçların kırılma indeks değerleri (B_1 , B_2 , B_3 , B_4) ile kaya mekaniği deneyleri arasındaki değerlendirmeye göre de $TEBD$ ile B_4 , $DÇD$ ile

B3, $I_{S(50)}$ ile B3, R_L ile B3 ve DWL ile B2 arasında kuvvetli ve anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri ile yine anlamlı ilişkiler belirlenmemiştir.

Sonuç olarak kazı mekaniği ve kaya mekaniği açısından önemli bir yer teşkil eden ve özellikle kazı mekaniği alanında önemli bir parametre haline gelen kırılma değeri bazı kaya mekaniği deneylerinden tahmin edilebileceği bu tez çalışmasında ortaya konulmuştur. Özellikle S_{20} değerleri ile $I_{S(50)}$ ve R_L değerleri arasında anlamlı ve güçlü bir ilişkinin olması bu deneylerin hem arazide hem de laboratuvar ortamında yapılabilir olması ve ayrıca bu deneylerin yapılmasının kolay, ucuz ve daha az zaman alıcı olması nedeniyle bu tez çalışması uygulayıcı mühendisler için projelerinde kolaylık sağlayıcı bir öneri sunmaktadır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada madencilik ve tünellerde faaliyetlerinde kullanılan TBM'lerin performans tahmininde ve kayaçların delme oranı indeksinin belirlenmesinde kullanılan S_{20} kırılma değeri belirlenerek bazı kayaç özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Fakat bu çalışmaya benzer yapılacak çalışmalarda araştırmacıların kayaçların kırılma indeksi ile fiziko-mekanik özellikleri araştırırken detaylı mineralojik, petrografik, doku, ayrışma vb. gibi özellikler üzerinde durmalarını önermektedir. Ayrıca yine kazı mekaniğinde etkili bir parametre olan aşındırıcılık özelliklerinin de belirlenerek kayaçların S_{20} kırılma değeri ile karşılaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Altındağ R., 2002, The Evaluation of Rock Brittleness Concept on Rotary Blasthole Drills, *J. South Afr. Inst. Min. Metal*, 102, 61-66.
- Altindag R., 2003, Correlation of specific energy with rock brittleness concepts on rock cutting, *J S Afr Inst Min Metal*, 103(3), 163–171.
- Aydın, A., Basu, A., 2005, The Schmidt Hammer in Rock Material Characterization, *Eng Geol*, 81, 1-14.
- Bieniawski Z. T., 2007, Predicting TBM excavability. *Tunnels&Tunnelling International*, Spain, 1, 1-4.
- Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1990, Roadheaders Glean Valuable Tips For Istanbul Metro, *Tunnels Tunnelling*, 29-32.
- Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H., 2002, The Performance Prediction of Impact Hammers from Schmidt Hammer Rebound Values in Istanbul Metro Tunnel Drivages, *Tunnelling and Underground Space Technol*, 17 (3), 237-247.
- Blindheim OT., Bruland A., 1998, Boreability testing, Norwegian TBM tunneling 30 years of experience with TBMs in Norwegian tunneling, *Norwegian Soil and Rock Engineering Association Publication*, 11, 29-34.
- Bruland A., 2000, Hard Rock Tunnel Boring, Doctoral Theses at NTNU, *Torondheim Norway*, 1-10, 25-27.
- Copur H., Bilgin N., Tuncdemir H., Balci C., 2003, A set of Indices Based on Indentation Test for Assessment of Rock Cutting Performance and Rock Properties, *J. South A. Ints. Min. Met*, 103(9), 589-600.
- Çapik, M., 2014, Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerindeki Kayaçların Delinebilirlik, Aşındırıcılık, Mekanik ve Petrografik Özelliklerinin Araştırılması, Net Delme Hızı ve Bit Tüketimi ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Dahl, F., 2003, The Sugessted DRI, BWI, CLI standards, NTNU, Anglesggsdrift, Trondheim, Norway.

- Dahl F., Bruland A., Grov E., Nilsen B., 2010, Trademarking the NTNU/SINTEF drillability test indices, *Tunnels and Tunnelling International*, June (4), 44-46.
- Dahl F., Bruland A., Jakobsen PD., Nilsen B., Grov E., 2012, Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 28, 150-158.
- Deketh HJR., Grima MA., Hergarden IM., Giezen M., Verhoef PNW., 1998, Towards the prediction of rock excavation machine performance, *Bull Eng Geol Environ*, 57, 3–15.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966, Engineering classification and index properties of intact rock, *Tech. Report*, AFWL-TR, 65-116, Universty of Illinois.
- Demir, Ece, 2017, Bir mermer ocağından çıkartılan blok mermer ile mermer fabrikasından çıkan ürünlerin maliyet analizi; Barla mermer ocağı ve fabrika örneği, Eğirdir-Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Dollinger GL., Handewith HJ., Breeds CD., 1998, Use of the punch test for estimating TBM performance, *Tunn Undergr Space Technol*, 13(4), 403–408.
- Dursun, A.E., Gokay, M.K., 2016, Cuttability Assessment of Selected Rocks through Different Brittleness Values, *Rock Mech Rock Eng*, 49, 1173-1190.
- Ekincioğlu, G., 2008, Çeşitli kireçtaşlarının delinebilirlik indeks özellikleri ve kayaç kesilebilirliği arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Farmer, I.W., Hignett, H.J., Hudson, J.A., 1979, The Role of Geotechnical Factors in the Cutting Performance of Tunnelling Machines in Rocks, *In: Proceedings of the fourth international congress on rock mechanics of the ISRM*, Montreux, 371–7.
- Fowell RJ., McFeat-Smith I., 1976, Factors influencing the cutting performance of a selective tunnelling machine, *In: Proceedings of Tunnelling'76 Symposium*, 3–10 March 1976. *I.M.M.*, London, 301–309.
- GBG Structural Services, 2004, Material testing and structural investigations- Rebound Hammer Testing. <http://www.gbg.co.uk/index.php?page=strrebound>. Cambridge, UK. [Ziyaret tarihi: 18.03.2014].
- Goktan RM., 1991, Brittleness and micro scale rock cutting efficiency, *Min Sci Technol*, 13, 237–241.
- Goktan, R.M., Ayday, C., 1993, A suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability, *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 30, 321–2.

- Goktan, R.M., Gunes, N., 2005, A Comparative Study of Schmidt Hammer Testing Procedures with Reference to Rock Cutting Machine Performance Prediction, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 42, 466-477.
- Goktan RM., Yilmaz NG., 2005a, A semi-empirical approach to cutting force prediction for point-attack picks, *J S Afr Inst Min Metall*, 105(4), 257–264.
- Hamilton HW., Handewith HJ., 1971, Apparatus and method for testing rock, *United State Patent Office*, No. 3618369.
- Hetenyi M., 1966, Handbook of experimental stress analysis. Wiley, New York, 15.
- Howarth, D.F., Adamson, W.R., Berndt, J.R., 1986, Correlation of Model Tunnel Boring and Drilling Machine Performances with Rock Properties, *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 23, 171–5.
- Hucka, V., 1965, A rapid method for determining the strength of rocks in situ, *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 2, 127–34.
- Hucka V., Das B., 1974, Brittleness determination of rocks by different methods, *Int J Rock Mech Min Sci*, 11, 389–392.
- ISRM, 2007, The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006, In: *Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods. International Society for Rock Mechanics (ISRM)*, Ankara, Turkey.
- Kahraman, R., 1999, Rotary and Percussive Drilling Prediction Using Regression Analysis, *Int J Rock Mech Min Sci*, 36, 981–9.
- Kahraman, R., Balçı, C., Yazıcı, S., Bilgin, N., 2000, Prediction of the Penetration Rate of Rotary Blast Hole Drills Using a New Drillability Index, *Int J Rock Mech Min Sci*, 37, 729–43.
- Kahraman, S., 2002, Correlation of TBM and Drilling Machine Performance with Rock Brittleness, *Eng. Geol.*, 65, 269-283.
- Kahraman, S., Bilgin, N., Feridunoglu, C., 2003, Dominant Rock Properties Affecting the Penetration Rate of Percussive Drills, *Int J Rock Mech Min Sci*, 40, 711–23.
- Karakuş, M., Tutmez, B., 2006, Fuzzy And Multiple Regression Modelling for Evaluation of Intact Rock Strength Based On Point Load, Schmidt Hammer and Sonic Velocity, *Rock Mech Rock Eng*, 39 (1), 45-57.
- Karaman, E., 2008, Sert Kayaçlarda Delinebilirlik Tayini. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Katz, O., Reches, Z., Roegiers, J.C., 2000, Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer, *Int J Rock Mech Min Sci*, 37, 723–8.

- Kazi, A., Al-Mansour, Z.R., 1980, Empirical relationship between Los Angeles Abrasion and Schmidt hammer strength tests with application to aggregates around Jeddah, *Q J Eng Geol London*, 13, 45–52.
- Kidybinski, A., 1968, Rebound Number and the Quality of Mine Roof Strata, *Int J Rock Mech Min Sci*, 5, 283-291.
- Koççaz, C. E., 2013, Göлтаş (Isparta) Kireçtaşı Ocağında Darbeli Delme Performans Analizi ve Uygun Uç Seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Köken, E., Aydın, H., Özarslan, A., 2018, S₂₀ Kırılabilirlik İndeksinin Kayaçların Parçalanabilirliği Açısından İncelenmesi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 57 (özel sayı), 73-83.
- Matthews, J.A., Shakesby, R.A., 1984, The status of the Little Ice Age in southern Norway: relative-age dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry, *Boreas*, 13, 333–46.
- NTH-Anleggsdrift, 1994, Hard Rock Tunnel Boring, Norwegian Institute of Technology, *Department of Civil and Transport Engineering*, Project Report 1–94.
- NTNU-Anleggsdrift, 1998, Hard Rock Tunnel Boring, Norwegian University of Science and Technology, *Dept. of Civil and Transport Engineering*, Report 1B-98.
- Obert L, Duvall WI 1967, Rock mechanics and the design of structures in rock. Wiley, New York, p 278.
- Özacar, V., 2016, Rotary Sondajlarda Delinebilirliği Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Poole, R.W., Farmer, I.W., 1980, Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field testing (Technical Note), *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr*, 17, 167– 171.
- Ramsey JG., 1967, Folding and fracturing of rocks, *McGraw-Hill*, London, 289.
- Selmer-Olsen R., Blindheim O.T., 1970, On the drillability of rock by percussive drilling, *In: Proceedings of the Second Congress International Society on Rock Mechanics*, 65-70.
- Schmidt, E., 1951, A Non-Destructive Concrete Tester, *Concrete*, 59, 34-35.
- Shahriar, K., 1988, Rock Cuttability and Geotechnical Factors Affecting the Penetration Rates of Roadheaders. PhD thesis, *Istanbul Technical University*, 241.
- Soiltest, Inc., 1976, Operating instructions- concrete test hammer, Evanston, IL. 1976.

- Szwedzicki T., 1998, Draft ISRM suggested method for determining the indentation hardness index of rock materials, *Int J Rock Mech Min Sci*, 35(6), 831–835.
- Sumner, P., Nel, W., 2002, The effect of moisture on Schmidt hammer rebound: Tests on rock samples from Marion Island and South africa, *Earth Surf Proc Landforms*, 27, 1137-1142.
- Tarkoy, P.J., Hendron, A.J., 1975, Rock Hardness Index, *US National Science Foundation report NSF-RAT*, 75-030.
- Tiryaki B., 2006, Evaluation of the indirect measures of rock brittleness and fracture toughness in rock cutting, *J S Afr Inst Min Metall*, 106, 407–423.
- USBR, 1998, Engineering geology field manual, *Field index tests*, 1, 111–2.
- Verhoef PNW., Ockeloen JJ., Van Kesteren WGM., 1996, The significance of rock ductility for mechanical rock cutting, *In: Aubertin M, Hassani F, Mitri M (eds) Proceedings of the 2nd North American Rock Mech Symp (NARMS)*, Montreal, 1. Balkema, 709–716.
- Yagiz S., 2002, Development of rock fracture and brittleness indices to quantify the effects of rock mass features and toughness in the CSM Model basic penetration for hard rock tunneling machines, Ph.D. thesis, *Colorado School of Mines*, USA.
- Yagiz S., 2003, A model for prediction of TBM performance in hard rock condition. In 56th Geological congress of Turkey in abstract book. MTA General Directory, Ankara
- Yagiz S (2004) Correlation between uniaxial compressive strength and brittleness of selected rock types. In 57th Geological congress of Turkey in abstract book. MTA General Directory, Ankara
- Yagiz S., 2006, TBM performance prediction based on rock properties. *In: Cotthem AV, et al. (eds) EUROCK'06-multiphysics coupling and long term behavior in rock mechanics*, 663–670.
- Yagiz S., 2008, Utilizing rock mass properties for predicting TBM performance in hard rock condition. *Tunn Undergr Space Technol* 23(3):326–339
- Yagiz, S. 2009. Assesment of Brittleness Using Rock Strength and Density with Punch Penetration Test, *Tunn. Undergr. Sp. Tech.*, 24(1), 64-77.
- Yarali, O., Kahraman, S., 2011, The Drillability Assessment of Rock Using the Different Brittleness Values, *Tunn. Unndergr. Sp. Tech.*, 26(2), 406-414.
- Yenice H., Özfirat M.K., Karaca Z. ve Kahraman B., 2009, Mermerlerde delme oranı indeksini etkileyen parametrelerin araştırılması, *Türkiye 2. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, ed. M E Bilir – B. Ekmekçi, TMMOB MMO Zonguldak Subesi, Zonguldak, 233 – 246.

Young, R.P., Fowell, R.J., 1978, Assessing rock discontinuities, *Tunnels Tunnelling*, June 45–8.

EKLER

EK-1 Kayaçlara ait S_{20} kırılma değeri

EK-1-1. Mermer numunesi S_{20} Kırılma İndeksi

Numune No	Havana Konulan Miktar (gr)	11.2 mm Elekten Geçen Miktar (gr)	S_{20} Değeri(%)
M-1	527	313	59,56
M-2	527.5	300	56,87
Ort.			58,22

EK-1-2. Granit numunesi S_{20} Kırılma İndeksi

Numune No	Havana Konulan Miktar (gr)	11.2 mm Elekten Geçen Miktar(gr)	S_{20} Değeri(%)
G-1	499.2	320.5	64.2
G-2	499.3	314.2	62.93
G-3	499.3	311.6	62.41
Ort.			63.18

EK-1-3. Andezitik Tüf numunesi S_{20} Kırılma İndeksi

Numune No	Havana Konulan Miktar (gr)	11.2 mm Elekten Geçen Miktar(gr)	S_{20} Değeri(%)
An-1	488.5	417.8	85.53
An-2	489.1	440.3	90.02
Ort.			87.77

EK-1-4. Bazalt numunesi S_{20} Kırılma İndeksi

Numune No	Havana Konulan Miktar (gr)	11.2 mm Elekten Geçen Miktar(gr)	S_{20} Değeri(%)
B-1	554.8	346.3	62.42
B-2	555.8	362.5	65.22
B-3	554.8	356.6	64.27
Ort.			63.97

EK-2 Kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları**EK-2-1. Mermer numunesi tek eksenli basınç dayanımı**

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü(kN)	Kırılma Yüğü(kg)	TEBD (MPa)
M-1	53.54	141	0.002251369	132.3	13490.631	58.76
M-2	53.85	139.46	0.002277515	112.7	11492.019	49.48
M-3	53.55	142.04	0.00225221	79.6	8116.812	35.34
M-4	53.57	140.62	0.002253892	124.3	12674.871	55.14
M-5	53.53	135.06	0.002250528	140.6	14336.982	62.47
M-6	53.58	139.55	0.002254734	192.2	19598.634	85.24
M-7	53.63	141.14	0.002258944	206.6	21067.002	91.45
M-8	53.68	142.21	0.002263158	129.9	13245.903	57.39
M-9	53.61	140.93	0.00225726	218.1	22239.657	96.62
M-10	53.80	132.51	0.002273288	118.8	12114.036	52.25
Ort.						64.41

EK-2-2. Andezitik Tüf numunesi tek eksenli basınç dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü(kN)	Kırılma Yüğü(kg)	TEBD (MPa)
An-1	53.73	140.68	0.002267376	26.5	2702.205	11.68
An-2	54.10	136.15	0.002298711	26.1	2661.417	11.35
An-3	54.05	135.22	0.002294464	27.5	2804.175	11.98
An-4	53.99	135.21	0.002289373	15.9	1621.323	6.94
An-5	53.93	138.4	0.002284287	31.3	3191.661	13.70
An-6	53.77	140.08	0.002270753	22.3	2273.931	9.82
An-7	54.31	137.52	0.002316592	40.8	4160.376	17.61
An-8	54.13	139.6	0.002301261	23.3	2375.901	10.12
An-9	53.95	139.61	0.002285982	24.7	2518.659	10.80
An-10	54.51	139.7	0.002333685	20.2	2059.794	8.65
Ort.						11.26

EK-2-3. Bazalt numunesi tek eksenli basınç dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü(kN)	Kırılma Yüğü(kg)	TEBD (MPa)
B-1	54.03	140.83	0.002292766	180	18354.6	78.50
B-2	53.76	140.37	0.002269909	147.9	15081.363	65.15
B-3	53.80	140.67	0.002273288	171.4	17477.658	75.39
B-4	53.97	140.81	0.002287677	154.9	15795.153	67.71
B-5	54.11	140.17	0.002299561	128.7	13123.539	55.96
B-6	54.12	140.36	0.002300411	116.4	11869.308	50.59
B-7	54.09	141.18	0.002297861	161.4	16457.958	70.23
B-8	54.13	141.01	0.002301261	142.7	14551.119	62.00
B-9	54.05	140.38	0.002294464	142.7	14551.119	62.19
B-10	53.98	140.28	0.002288525	135.8	13847.526	59.33
Ort.						64.71

EK-2-4. Granit numunesi tek eksenli basınç dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü(kN)	Kırılma Yüğü(kg)	TEBD (MPa)
G-1	54.08	138.71	0.002297012	134.8	13745.556	58.68
G-2	54.05	136.34	0.002294464	183	18660.51	79.75
G-3	54.36	136.73	0.002320859	81.5	8310.555	35.11
G-4	54.02	138.27	0.002291918	146.2	14908.014	63.78
G-5	54.26	138.4	0.002312328	166.1	16937.217	71.83
G-6	54.14	141.74	0.002302112	169.1	17243.127	73.45
G-7	54.22	137.25	0.00230892	173.5	17691.795	75.14
G-8	54.10	134.65	0.002298711	207.5	21158.775	90.26
G-9	54.13	138.44	0.002301261	214	21821.58	92.99
G-10	54.51	138.36	0.002333685	196.3	20016.711	84.11
Ort.						72.51

EK-3 Kayaçlara ait Brazilian dayanımı deneyi sonuçları**EK-3-1.** Mermer numunesi brazilian dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)
M-1	54.07	33.75	20.5	7.14
M-2	53.67	28.06	22.4	9.46
M-3	53.68	28.40	12	5.01
M-4	53.99	31.40	18.9	7.09
M-5	53.84	30.75	16.2	6.22
M-6	53.66	27.62	20.5	8.80
M-7	53.88	28.56	27.9	11.53
M-8	54.02	32.08	23.6	8.66
M-9	54.11	29.18	20.6	8.30
M-10	53.94	28.46	21	8.70
Ort.				8.09

EK-3-2. Andezitik Tüf numunesi brazilian dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)
AN-1	53.83	27.56	-	0.00
AN-2	53.94	28.54	10.6	4.38
AN-3	53.66	28.88	11.1	4.56
AN-4	53.62	27.61	13.3	5.71
AN-5	53.92	28.05	10.6	4.46
AN-6	53.76	29.63	10.5	4.19
AN-7	53.72	28.33	12.4	5.18
AN-8	53.81	28.37	13.8	5.75
AN-9	53.71	30.47	12.6	4.90
AN-10	53.72	29.48	13	5.22
Ort.				4.93

numunesi brazilian dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)
G-1	53.86	29.18	16.7	6.76
G-2	53.96	28.84	20.1	8.21
G-3	53.88	26.83	17.4	7.66
G-4	53.89	27.05	6	2.62
G-5	53.84	27.81	9.2	3.91
G-6	53.91	28.44	12.4	5.14
G-7	53.89	26.90	13.3	5.84
G-8	54.02	28.55	13.5	5.57
G-9	53.94	32.36	17.2	6.27
G-10	53.9	27.23	15.4	6.67
Ort.				5.86

EK-3-4. Bazalt numunesi brazilian dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)
B-1	53.79	64.07	13.3	2.45
B-2	53.81	63.36	16.1	3.00
B-3	54	60.18	15.4	3.01
B-4	53.9	58.77	11.7	2.35
B-5	53.81	57.21	17.9	3.70
B-6	53.8	62.78	18.8	3.54
B-7	53.71	60.51	11.2	2.19
B-8	54.12	69.69	14.1	2.38
B-9	53.59	65.25	13.8	2.51
B-10	53.64	58.70	11.4	2.30
Ort.				2.74



EK-4 Kayaçlara ait nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları**EK-4-1.** Mermer numunesi nokta yükleme dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü(kN)	Is (Mpa)	F Düzeltme Katsayısı	Is(50) (Mpa)
M-1	53.75	46.82	17.91	5.58	1.057	5.91
M-2	54.33	43.50	24.55	8.15	1.043	8.50
M-3	53.98	41.76	18.26	6.36	1.032	6.56
M-4	53.69	44.95	20.42	6.64	1.048	6.96
M-5	53.41	44.98	23.87	7.80	1.046	8.16
M-6	53.62	41.16	17.21	6.12	1.027	6.28
M-7	53.91	47.20	16.13	4.97	1.060	5.27
M-8	53.85	43.10	26.00	8.79	1.038	9.13
M-9	53.99	43.93	13.32	4.41	1.043	4.60
M-10	53.94	51.25	23.55	6.69	1.080	7.22
Ort.						6.86

EK-4-2. Bazalt numunesi nokta yükleme dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü(kN)	Is (Mpa)	F Düzeltme Katsayısı	Is(50) (Mpa)
B-1	53.75	46.82	17.91	5.58	1.057	5.91
B-2	54.33	43.50	24.55	8.15	1.043	8.50
B-3	53.98	41.76	18.26	6.36	1.032	6.56
B-4	53.69	44.95	20.42	6.64	1.048	6.96
B-5	53.41	44.98	23.87	7.80	1.046	8.16
B-6	53.62	41.16	17.21	6.12	1.027	6.28
B-7	53.91	47.20	16.13	4.97	1.060	5.27
B-8	53.85	43.10	26.00	8.79	1.038	9.13
B-9	53.99	43.93	13.32	4.41	1.043	4.60
B-10	53.94	51.25	23.55	6.69	1.080	7.22
Ort.						6.86

EK-4-3. Andezitik Tüf numunesi nokta yükleme dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü(kN)	Is (Mpa)	F Düzeltme Katsayısı	Is(50) (Mpa)
An-1	54.06	41.99	2.44	0.84	1.033	0.87
An-2	53.99	53.80	1.28	0.34	1.092	0.37
An-3	53.94	41.83	5.21	1.81	1.032	1.87
An-4	54.40	45.25	2.23	0.71	1.052	0.74
An-5	54.20	48.86	0.95	0.28	1.070	0.30
An-6	54.11	43.17	2.00	0.67	1.040	0.69
An-7	54.11	43.82	2.20	0.72	1.043	0.76
An-8	54.43	51.00	1.13	0.31	1.081	0.34
An-9	54.34	41.26	1.62	0.56	1.030	0.58
An-10	53.83	40.99	2.38	0.84	1.027	0.86
Ort.						0.74

EK-4-4. Granit numunesi nokta yükleme dayanımı

Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Yüğü(kN)	Is (Mpa)	F Düzeltme Katsayısı	Is(50) (Mpa)
G-1	53.87	41.27	20.90	7.38	1.028	7.59
G-2	53.82	37.75	19.00	7.34	1.008	7.40
G-3	54.00	39.05	17.01	6.33	1.016	6.43
G-4	54.00	44.86	22.01	7.13	1.048	7.48
G-5	54.13	43.61	20.77	6.91	1.042	7.20
G-6	53.87	40.92	21.02	7.48	1.026	7.68
G-7	53.91	36.31	13.33	5.34	0.999	5.34
G-8	54.14	39.06	21.41	7.95	1.017	8.08
G-9	53.94	36.78	15.85	6.27	1.002	6.28
G-10	53.90	39.29	21.48	7.96	1.017	8.10
Ort.						7.16

EK-5 Kayaçlara ait Schmidt deney sonucu**EK-5-1.** Bazalt numunesi schmidt deney sonucu

NUMUNE NO	SCHMİDT DENEY SONUCU
B-1	37
B-2	33
B-3	34
B-4	35
B-5	36
B-6	39
B-7	44
B-8	32
B-9	38
B-10	37
B-11	47
B-12	51
B-13	42
B-14	43
B-15	37
B-16	44
B-17	45
B-18	46
B-19	39
B-20	41
Deney Sonucu	44.2

EK-5-2. Granit numunesi schmidt deney sonucu

NUMUNE NO	SCHMİDT DENEY SONUCU
G-1	56
G-2	39
G-3	40
G-4	41
G-5	45
G-6	60
G-7	46
G-8	47
G-9	58
G-10	48
G-11	54
G-12	51
G-13	49
G-14	53
G-15	55
G-16	38
G-17	57
G-18	47
G-19	59
G-20	46
Deney Sonucu	55.2

EK-5-3. Andezitik tüf numunesi schmidt deney sonucu

NUMUNE NO	SCHMİDT DENEY SONUCU
An-1	18
An-2	15
An-3	19
An-4	16
An-5	19
An-6	17
An-7	18
An-8	13
An-9	19
An-10	17
An-11	25
An-12	21
An-13	19
An-14	20
An-15	22
An-16	21
An-17	16
An-18	22
An-19	20
An-20	19
Deney Sonucu	20.8

EK-5-4. Mermer numunesi schmidt deney sonucu

NUMUNE NO	SCHMİDT DENEY SONUCU
M-1	60
M-2	44
M-3	45
M-4	46
M-5	66
M-6	46
M-7	54
M-8	51
M-9	53
M-10	47
M-11	55
M-12	59
M-13	61
M-14	57
M-15	58
M-16	63
M-17	59
M-18	41
M-19	56
M-20	46
Deney Sonucu	59.4

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah UYSAL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 1990
Telefon : 0542 525 5836
Faks : -
E-Posta : abduallah.uyosal@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Karaman Fatih Lisesi	Karaman	2007
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Konya	2014
Yüksek Lisans	: Aksaray Üniversitesi	Aksaray	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2015	Özkaymak Krom Magnezit Ltd.Şti.	Maden Mühendisi
2015-	Kozağaç Madencilik Ltd.Şti.	Daimi Nezaretçi