

**NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİNİN YARILANMIŞ
KAROT ÖRNEKLERİNDEN BELİRLENEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE DETERMINATION OF THE
POINT LOAD STRENGTH INDEX USING HALF-SPLIT
CORE SAMPLES**

MERVE ŞAHİN

Prof. Dr. REŞAT ULUSAY
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2018

MERVE ŞAHİN' in hazırladığı **"Nokta Yüğü Dayanım İndeksinin Yarılanmış Karot Örneklerinden Belirlenebilirliğinin Araştırılması"** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK
Başkan



Prof. Dr. Reşat ULUSAY
Danışman



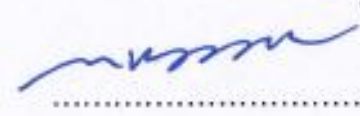
Prof. Dr. Ergün TUNCAY
Üye



Doç. Dr. Adil BİNAL
Üye



Doç. Dr. Hasan KARAKUL
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- o Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, teziniz arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 09.05.2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.)

- o Tezimin/Raporumun.....tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- o Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

09.05.2020

(İmza) *Merve*

Öğrencinin Adı SOYADI

Merve SAHİN

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

07/05/2018

Merve Şahin

MERVE ŞAHİN

ÖZET

NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİNİN YARILANMIŞ KAROT ÖRNEKLERİNDEN BELİRLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Merve ŞAHİN

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Reşat ULUSAY

Nisan 2018, 94 sayfa

Nokta yükü dayanım indeksi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında ve tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı yoldan tahmin edilmesinde yaygın şekilde kullanılan bir indekstir. Bu indeks, silindirik karot örnekleri veya düzensiz şekilli örnekler üzerinde yapılan nokta yükü deneyiyle tayin edilmektedir. Ancak maden sahalarından alınan karotlar cevherin kalitesinin belirlenmesi amacıyla yarılanarak jeokimyasal analizlere tabi tutulmak üzere laboratuvara gönderilmektedir. Bu durum; örneklerden geriye kalan yarılanmış karotların sadece dayanım ve deformabilite deneylerinde değil, nokta yükü deneylerinde de kullanılamaması sorununa neden olmaktadır. Bu çalışmada; nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yarılanmış karotlar üzerinde uygulanabilirliğinin araştırılması ve bu şekilde belirlenen nokta yükü dayanım indeksi değerlerinden tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı yoldan tahmin edilebilmesi için görgül bir eşitliğin önerilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; farklı yerlerden derlenen bozunmamış 12 farklı kaya türünden farklı çaplarda silindirik ve yarılanmış çok sayıda örnek hazırlanmıştır. Yarılanmış örnekler üzerinde nokta yükü dayanım indeksi deneyi, silindirik karot örnekler üzerinde ise hem nokta yükü hem de tek eksenli sıkışma dayanım deneyleri yapılmıştır. Silindirik örnekler ile yarılanmış örneklerin nokta

yükü dayanım indeksi deney sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı ve çok yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir görgül ilişki bulunmuştur. Ayrıca, istatistiksel analizler sonucunda önerilen ve yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indeksi değerlerini esas alan görgül ilişkinin silindirik örneklerle ait nokta yükü dayanım indeksini esas alan görgül ilişkiye göre tek eksenli sıkışma dayanımını deneysel olarak tayin edilmiş değerlere çok daha yakın şekilde tahmin edebildiği belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, nokta yükü dayanım indeksinin yarılanmış karotlardan da belirlenebileceği ve yarılanmış karottan tayin edilen bu değer belirlen bir katsayıyla çarpılmasıyla tek eksenli sıkışma dayanımının da düşük bir hata payıyla dolaylı olarak tahmin edilebileceği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yarılanmış karot, nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma dayanımı, görgül ilişki, istatistiksel analiz.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE DETERMINATION OF THE POINT LOAD STRENGTH INDEX USING HALF-SPLIT CORE SAMPLES

Merve ŞAHİN

Master of Science, Geological Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Reşat ULUSAY

April 2018, 94 pages

The point load strength index is a widely used index for classifying rocks according to their strengths and estimating the uniaxial compressive strength. This index is determined by the point load test on cylindrical core specimens or irregular shaped specimens. But the cores taken from the mine sites are cut axially into two equal parts to obtain half-split cores and one part is sent to the laboratory to be subjected to geochemical analyzes in order to determine the quality of the ore. This situation causes the problem that the remaining half cores from the specimens cannot be used not only in the strength and deformability tests but also in the point load test. In this study, it is aimed to investigate the applicability of the point load strength index test on half-split core samples and to suggest an empirical equation for indirectly estimating the uniaxial compressive strength from the values of point load strength index determined in this way. For this purpose, a large number of cylindrical and half-split core specimens were prepared at different diameters from 12 different unweathered rock types compiled from different sites. The point load strength index test was performed on the half-split core specimens, while both point load and uniaxial compressive strength tests were performed on the cylindrical core specimens. A statistically significant and

linear empirical relationship, with a very high correlation coefficient, between the results of the point load strength index of the cylindrical specimens and those of the half-split core specimens was found. In addition, it was also found that the empirical relationship, based on the statistical analyses and the values of point load strength index, which were determined from the point load tests carried out on the half-split core specimens, estimates uniaxial compressive strength values better than the empirical equation based on the point load strength index determined from cylindrical specimens. As a result of this study, it is understood that the point load strength index can also be determined from half-split core specimens and the uniaxial compressive strength can be indirectly estimated from this value, which is determined from the half-split core specimen, with a low error margin by multiplying it by a conversion coefficient.

Keywords: Half-split core specimen, point load strength index, uniaxial compressive strength, empirical relationship, statistical analysis.

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca, çalışmanın ilerlemesi, geliştirilmesi ve derinleştirilmesi ile ilgili tüm katkılarından dolayı değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a,

Tezin savunması sırasında görüş ve değerlendirmelerinden yararlandığım jüri üyeleri; Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK, Prof. Dr. Ergün TUNCAY, Doç. Dr. Adil BİNAL ve Doç. Dr. Hasan KARAKUL'a,

Tez çalışması kapsamında deneylerde kullanmak için gerekli olan kaya örneklerini toplamak amacıyla yapılan yoğun arazi çalışmaları için yardımlarını esirgemeyen, laboratuvarda karot alma ve deney yapma süreçlerinde yoğun emeğini esirgemeyen Jeo. Müh. Mesut Gökhan GÜMRÜK'e,

Tez çalışması kapsamında Trabzon'dan örnek temini konusunda yardımcı olan Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Hakan ERSOY'a ve Araş. Gör. Oğuzhan GÜMRÜK'e,

Tez çalışmasında kullanılan örneklerin mineralojik - petrografik analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji- Petrografi Anabilim Dalı'ndan Doç. Dr. H.Evren ÇUBUKÇU'ya,

Laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarı teknisyeni Özgür EROL'a,

Tez çalışması boyunca, maddi ve manevi yönden desteklerini esirgemeyen ve her daim yanımda olan canım aileme,

TEŞEKKÜR EDERİM.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi.....	5
2.2. Örnek Şekli ve Boyutlarının Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deney Sonuçlarına Etkisiyle İlgili Çalışmalar	12
2.3. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyinin Diğer Dayanım Parametrelerinin Dolaylı Yoldan Tayin Edilmesinde Kullanımıyla İlgili Çalışmalar	14
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN KAYA TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	21
4. ÖRNEK HAZIRLAMA VE LABORATUVAR DENEYLERİ.....	32
4.1. Örnek Hazırlama ve Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyleri.....	32
4.2. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	40
4.3. Birim Hacim Ağırlık Tayinleri.....	43
5. YARILANMIŞ ÖRNEKLERDE NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİNİN TAYİNİ VE TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ TAHMİNİ	44
5.1. Yarılanmış Örnekler Ait Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi	44
5.2. Silindirik ve Yarılanmış Örneklerden Elde Edilen Sonuçlar (Is(50) – IsHS) Arasındaki İlişkiler	47
5.3. Yarılanmış Örnekler İçin Yarıçap Düzeltmesi ve Is(50)'nin Tahmini.....	65
5.4. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ile IsHS Arasındaki İlişki	71
5.5. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ile Is(50) Arasındaki İlişki	74
5.6. İstatistiksel Anlamlılık Testleri	81
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	85
KAYNAKLAR.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye'deki bir açık işletmede kullanılan (a) taş kesme ve yarılama makinesinden ve (b) yarılanmış karotlardan birer görünüm (Fotoğraflar: R.Ulusay).....	2
Şekil 2.1. Kaya mühendisliğinde en sık kullanılan indeks deneylerin farklı dayanım aralıklarındaki uygulanabilirliği (İ.D.D.: İleri derecede düşük, Ç.D.: Çok düşük, D.: Düşük, O.: Orta, Y.: Yüksek, Ç.Y. :Çok yüksek, İ.D.Y.: İleri derecede yüksek) (Ulusay ve Ergüler, 2012'den düzenlenmiştir.[4])....	4
Şekil 2.2. (a) Nokta yükleme deney aleti (Ulusay vd., 2011[23]) ve (b) konik yükleme başlığı (ISRM, 2007[3]).	6
Şekil 2.3. Nokta yükü dayanım indeksi deneyinin (a) çapsal, (b) eksenel, (c) blok ve (d) düzensiz şekilli örnekler üzerinde uygulaması (Broch ve Franklin [5]).....	6
Şekil 2.4. Nokta yükleme deneyi için gerekli (a) çapsal, (b) eksenel, (c) blok ve (d) düzensiz örnek boyutları (ISRM, 1985 [9] ve 2007 [3]'den düzenlenmiştir.).....	7
Şekil 2.5. Geçerli ve geçersiz deneylere ait tipik yenilme yüzeyleri: (a) geçerli çapsal deney, (b) geçerli eksenel deney, (c) geçerli blok deney, (d) geçersiz çapsal deney, (e) geçersiz eksenel deney, (f) geçersiz blok deney (ISRM 1985 [9], 2007 [3])	9
Şekil 2.6. Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksinin, $I_s(50)$, tayini (Broch ve Franklin,1972 [5]) (O: orta; Y: yüksek; ÇY: çok yüksek; İDY: ileri derecede yüksek).	11
Şekil 2.7. Boyut düzeltme faktörü, F (ISRM, 1985 [9], 2007 [3]'den düzenlenmiştir.)	11
Şekil 2.8. Broch ve Franklin (1972) [5]'in (a) dolerit ve (b) kumtaşı örnekleri üzerinde yapmış oldukları nokta yükleme deneylerine göre (I_s)-L/D arasındaki ilişkiler.	13
Şekil 2. 9. Değişik araştırmacıların elde ettikleri eşitliklere göre UCS'nin $I_s(50)$ 'ye bağlı değişimi (Suarez- Burgao 2010; Suarez- Burgao 2012'den alınmıştır.)	21
Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılmak üzere araziden ve taş satan kuruluşlardan derlenen kaya türlerinin orijinal yerlerini gösteren harita.....	23
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan örneklerin makro ve ince kesit (tek ve çift nikol) görüntüleri: (a) Bazalt, (b) Traki bazalt andezit, (c) Andezit, (d) Kireçtaşı-1, (e) Kireçtaşı-2, (f) Kumtaşı, (g) Kireçtaşı-3, (h) Mermer, (i) Granit, (j) Alçıtaşı, (k) Bazanit, (l) Andezitik tuf. (Amf: Amfibol, Bio: Biyotit, Cam: Volkan camı, Cpx: Klinopiroksen, Plj: Plajiyoklaz, Px: Piroksen, Q: kuvars, Or: Ortoklaz)	26
Şekil 3.2. (devam ediyor)	27
Şekil 3.2. (devam ediyor).....	28

Şekil 3.2. (devam ediyor).....	29
Şekil 3.2. (devam ediyor).....	30
Şekil 3.2. (devam ediyor).....	31
Şekil 4.1. Düzenli geometriye sahip blok örneklerden karot alınması ve bir karottan iki adet silindirik ve iki adet yarılanmış örneklerin hazırlanması aşamasında izlenen yöntemin şematik gösterimi.....	33
Şekil 4.2. Taş kesme makinesine monte edilmiş mengeneli düzenek.	34
Şekil 4.3. Taş kesme makinesine monte edilmiş V-kanalın genel ve yakından görünümü.	34
Şekil 4.4. Nokta yükleme deney aletinde kullanılacak olan (a) silindirik örnek, (b) yarılanmış üst örnek, (c) yarılanmış alt örnek.	35
Şekil 4.5. Yarılanmış örneklerin düz yüzeylerine çizilen köşegenler.....	35
Şekil 4.6. Yarılanmış karotların (a) alt ve (b) üst örnekler olarak nokta yükleme aletine yerleştirilmesi.	36
Şekil 4.7. Yarılanmış (a) bazalt, (b) traki bazalt andezit, (c) andezit, (d) kireçtaşı-1, (e) kireçtaşı-2, (g) kireçtaşı- 3, (h) mermer, (ı) granit, (j) alçıtaşı, (k) bazanit ve (l) andezitik tuf örneklerine ait yenilme yüzeylerinin üstten görünümü.	37
Şekil 4.7. (devam ediyor).....	38
Şekil 4.7. (devam ediyor).....	39
Şekil 5.1. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplı örneklerin yarılanmasıyla elde edilen alt ve üst örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin karşılaştırılması.	45
Şekil 5.1. (devam ediyor).....	46
Şekil 5.2. Yarılanmış alt ve üst örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin örnek yarıçapına bakılmaksızın karşılaştırılması.	46
Şekil 5.3. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik bazalt karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is50 - IsHs) karşılaştırılması.....	50
Şekil 5.4. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik traki bazalt andezit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is50 - IsHs) karşılaştırılması.....	51
Şekil 5.5. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik andezit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is50 - IsHs) karşılaştırılması.....	52
Şekil 5.6. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kireçtaşı-1 karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is50 - IsHs) karşılaştırılması.....	53
Şekil 5.7. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kireçtaşı-2 karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is50 - IsHs) karşılaştırılması.....	54

Şekil 5.8. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kumtaşı karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.9. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kireçtaşı-3 karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.10. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik mermer karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.11. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik granit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.	58
Şekil 5.12. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik alçıtaşı karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.	59
Şekil 5.13. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik bazanit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.14. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik andezitik tuf karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.....	61
Şekil 5.15. Tüm kaya türlerine ait (a) NX, (b) NQ, (c) BX çaplı silindirik karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.16. Tüm kaya türlerine ait NX, NQ ve BX çaplarındaki silindirik karot örnekleri ile bu çaplardaki karotlardan yarılanarak hazırlanmış örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin (Is_{50} - Is_{Hs}) karşılaştırılması.	63
Şekil 5.17. Her kaya türü için yarılanmış karotlardan tayin edilen nokta yükü dayanım indeksi değerlerinden $Is(50)$ 'nin tahmin edilmesi için belirlenmiş dayanım indeksi dönüştürme katsayılarının (k_{HS}) karşılaştırılması.	64
Şekil 5.18. Eşitlik 5.1 kullanılarak yarılanmış örneklerden tahmin edilen ve silindirik karot örneklerde tayin edilen $Is(50)$ değerlerinin karşılaştırılması.	65
Şekil 5.19. Eşitlik 5.1 kullanılarak yarılanmış örneklerden tahmin edilen ve silindirik karot örneklerinden tayin edilen $Is(50)$ 'nin yüzde hata payı değişimi grafiği.....	65
Şekil 5.20. Nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yapıldığı yarılanmış örneklerin yarıçapa göre nokta yükü dayanım değerlerinin değişimi.	66
Şekil 5.21. Standart 23 mm yarıçapa göre düzeltme katsayılarının yarıçapa bağlı değişimini gösteren grafik.	68
Şekil 5.22. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi uygulanan 23 mm'ye göre düzeltilmiş yarılanmış örneklerin silindirik karot örneklerle karşılaştırılması.	69

Şekil 5.23. Her kaya türü için $I_sHS(23)$ 'ten $I_s(50)$ 'nin tahmini için dayanım dönüştürme katsayıları.	69
Şekil 5.24. Eşitlik 5.4'ten tahmin edilen ve laboratuvarında silindirik karotlarda tayin edilen nokta yükü dayanım indekslerinin karşılaştırılması.	70
Şekil 5.25. Farklı kaya türleri için Eşitlik 5.4'ten tahmin edilen ve laboratuvarında tayin edilen nokta yükü dayanım indekslerinin yüzdece hata payları.	71
Şekil 5.26. Yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indeksi deneyinin tek eksenli sıkışma dayanımı ile karşılaştırılması.	72
Şekil 5.27. Her kaya türü için I_sHS 'den UCS'nin tahminine yönelik dayanım dönüştürme katsayıları.	73
Şekil 5.28. Eşitlik 5.5 kullanılarak tahmin edilen ve laboratuvarında tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanımlarının karşılaştırılması.	73
Şekil 5.29. Eşitlik 5.5'ten tahmin edilen ve tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanımlarının yüzdece hata payı.	74
Şekil 5.30. Bu çalışmaya ait deneysel veriye göre $\sigma_c - I_s(50)$ arasındaki ilişki.	76
Şekil 5.31. Her kaya türü için silindirik karotlardan tayin edilen $I_s(50)$ değerleriyle tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı yoldan tahmin edilmesi için gereken dayanım dönüştürme katsayıları ile tüm kaya türleri için ortalama dayanım dönüştürme katsayısının karşılaştırılması.	76
Şekil 5.32. Eşitlik 5.6'dan tahmin edilen ve deneyden belirlenen UCS değerlerinin karşılaştırılması.	77
Şekil 5.33. Silindirik karot örneklerden ($I_s(50)$) tahmin edilen UCS'lerin, ölçülen tek eksenli sıkışma dayanımına göre hata yüzde değişimleri.	77
Şekil 5.34. I_sHS 'den ve $I_s(50)$ 'den tahmin edilen UCS değerlerin laboratuvarında tayin edilen UCS'lere göre hata paylarının karşılaştırılması.	78
Şekil 5.35. I_sHS 'den $I_s(50)$ ve UCS'nin tahminin belirlenmesinde izlenecek yolu gösteren akış şeması.	79
Şekil 5.36 Silindirik karotların ortadan eşit şekilde iki yarılanmış karot elde edilecek şekilde kesilememesi durumunda yarılanmış karotların görünümü (r: Silindirik karot örneğinin yarıçapı, O: Silindirik karot örneğinin kesitinin merkezi, h: OBC üçgeninin yüksekliği, a: OBC ikizkenar üçgeninin taban kenarının uzunluğunun yarısı)	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. σ_c ile $I_{s(50)}$ arasındaki ilişkinin araştırıldığı bazı çalışmalar, önerilen eşitlikler ve k faktörleri	17
Çizelge 2.1. (devam ediyor).....	18
Çizelge 2.1. (devam ediyor).....	19
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kaya türlerinin lokasyonları, jeolojik yaşları ve tanımları.	24
Çizelge 4.1. Çalışmada incelenen kayaç türleri için farklı çapa sahip örneklerin sayıca deneylere göre dağılımı.	41
Çizelge 4.2. İncelenen kaya türlerinin birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirmeler.	42
Çizelge 5.1. Farklı fonksiyonlar için NX, NQ ve BX çaplarına sahip silindirik karot örnekleri ile bu çaplardaki karotlardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin arasındaki ilişkiler.	47
Çizelge 5.1. (devam ediyor).....	48
Çizelge 5.1. (devam ediyor).....	49
Çizelge 5.2. 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 mm yarıçapa sahip örneklerin yarıçap düzeltme katsayıları.	67
Çizelge 5.3. Farklı yarıçaplardan elde edilen I_s HS değerleri ile laboratuvarında ölçülen I_s HS değerleri arasında yapılan F-testi sonuçları.	67
Çizelge 5.4. F- ve t- testi yapılan modellerin tanımlanması.	82
Çizelge 5.5. Tüm modeller için F- testi analiz sonuçları.	82
Çizelge 5.6. Tüm modeller için t- testi analiz sonuçları.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Alan
a	Üçgenin bir kenarının uzunluğu
BX	42 mm çaplı silindirik örnek
D	Karot çapı
D _e	Eşdeğer karot çapı
F	Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde çap düzeltme faktörü
F	F- testi değeri
F _{HS}	Yarılanmış örneklerde yarıçap düzeltme faktörü
h	Yükseklik
I _A	Eksenel nokta yükü dayanım indeksi
I _D	Çapsal nokta yükü dayanım indeksi
I _s	Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi
I _{sHS}	Yarılanmış örneğin nokta yükü dayanım indeksi
I _{sHS(a)}	Yarılanmış alt örneklerin nokta yükü dayanım indeksi
I _{sHS(ü)}	Yarılanmış üst örneklerin nokta yükü dayanım indeksi
I _{sHS(23)}	23 mm yarıçapa göre düzeltme uygulanmış yarılanmış örneğin nokta yükü dayanım indeksi deneyi
I _{s(50)}	50 mm çapa göre düzeltme uygulanmış nokta yükü dayanım indeksi
k	Tek eksenli sıkışma dayanımının nokta yükü dayanım indeksinden tahmininde esas alınan dönüştürme katsayısı
L	Örnek boyu
M	Örneğin uç kısmı ile nokte yükü aletinin konik başlığı arasındaki mesafe
NQ	47.6 mm çaplı silindirik örnek
NX	54 mm çaplı silindirik örnek
P	Nokta yükü deneyinde yenilme yükü
p	Anlamlılık düzeyi

r	Yarıçap
r	Korelasyon katsayısı
R^2	Belirleme katsayısı
t	t testi değeri
W	Örnek kalınlığı
Θ	Üçgenin iç açısı
γ	Birim hacim ağırlık
σ_c	Tek eksenli sıkışma dayanımı

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Birliği
BPI	Disk makaslama dayanım indeksi
RMR	Kaya kütlesi sınıflama sistemi
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği
L/D	Silindirik örneğin boy/çap oranı
UCS	Tek eksenli sıkışma dayanımı

1. GİRİŞ

Mühendislik jeolojisi ve kaya mühendisliği uygulamalarında kayaların dayanım özellikleri, kaya malzemesi ve kaya kütlesi sınıflamalarından tasarıma kadar değişen birçok amaçla kullanılan parametreler arasında yer almaktadır. Bu özellikler; doğrudan laboratuvar deneyleriyle tayin edilebildikleri gibi, uluslararası deney standartlarıncı önerilen boyutlarda örneklerin hazırlanamadığı durumlarda (ileri derecede eklemlili veya zayıf kayalar vb.) dolaylı deney yöntemleriyle de tahmin edilebilmektedirler. Kayaların başlıca dayanım özelliklerinden biri olan “tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS)” laboratuvarında yükleme presi kullanılarak yapılan tek eksenli sıkışma deneyiyle tayin edilmektedir. Ancak bu deneyin uluslararası standartlara (ASTM [1]) veya önerilmiş uluslararası yöntemlere (ISRM [2, 3]) göre yapılabilmesi için deney örneğinin belirli bir “boy/çap” oranına göre hazırlanması gerekmektedir. Bunun mümkün olamadığı durumlarda UCS dolaylı yöntemlerle tayin edilmekte olup, bu yöntemler arasında en eskilerinden olan ve yaygın kullanılanların başında gelen yöntem “Nokta yükleme dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ ” deneyidir (ISRM [3]). Nokta yükü aletinin kullanıldığı bu deneyde; $I_{s(50)}$ değeri silindirik karot örnekleri veya düzensiz şekilli örnekler üzerinde belirlenmekte ve bu değer literatürde önerilmiş belirli eşitliklerde kullanılarak veya önerilmiş katsayılar ile çarpılarak UCS tahmin edilmektedir. Ayrıca deney aletinin taşınabilir olması nedeniyle hem laboratuvarında hem de arazide kullanılabilmesi, karotların yanı sıra, düzensiz şekilli örneklerin üzerinde de deney yapılabilmesi ve hızlı sonuç vermesi nokta yükü dayanım indeksi deneyinin önemini ve kullanımını arttırmıştır.

Maden sahalarında sondaj tekniğiyle yer altından alınan silindirik karot örnekleri sadece maden jeologları tarafından değil, aynı zamanda maden sahasında işletme tasarımı ve üretim sırasında gereksinim duyulan jeoteknik verinin de sağlanması açısından mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği uygulamalarında da önemlidir. Maden sahalarından alınan karotlar gerek maden arama aşamasında, gerekse maden bulunduğundan sonraki fizibilite ve işletme (üretim) aşamalarında cevherin kalitesinin belirlenmesi amacıyla maden jeologları tarafından kesme makinesiyle kesilip yarılanarak (Şekil 1.1) cevher tenörünün belirlenmesi için jeokimyasal analizlere tabi tutulmak üzere laboratuvara gönderilmektedir. Bu durum;

örneklerden geriye kalan yarım karotların dayanım ve deformabilite deneyleri için kullanılamaması, dolayısıyla UCS'nin hem doğrudan (silindirik karot) hem de dolaylı yoldan (nokta yükü dayanım indeksi deneyiyle) tayini amacıyla uygun karot temin edilememesi sorununu beraberinde getirmektedir. Bu sorunun giderilmesi amacıyla bu tez çalışmasında; nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yarılanmış karotlar üzerinde de yapılabilirliğinin ve UCS'nin yarılanmış karotlardan tayin edilecek $I_{s(50)}$ değerlerinden tahmin edilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Türkiye'deki bir açık işletmede kullanılan (a) taş kesme ve yarılama makinesinden ve (b) yarılanmış karotlardan birer görünüm (Fotoğraflar: R.Ulusay)

Yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda bu tez çalışması, aşağıda tanımlanan aşamalar izlenerek yürütülmüştür:

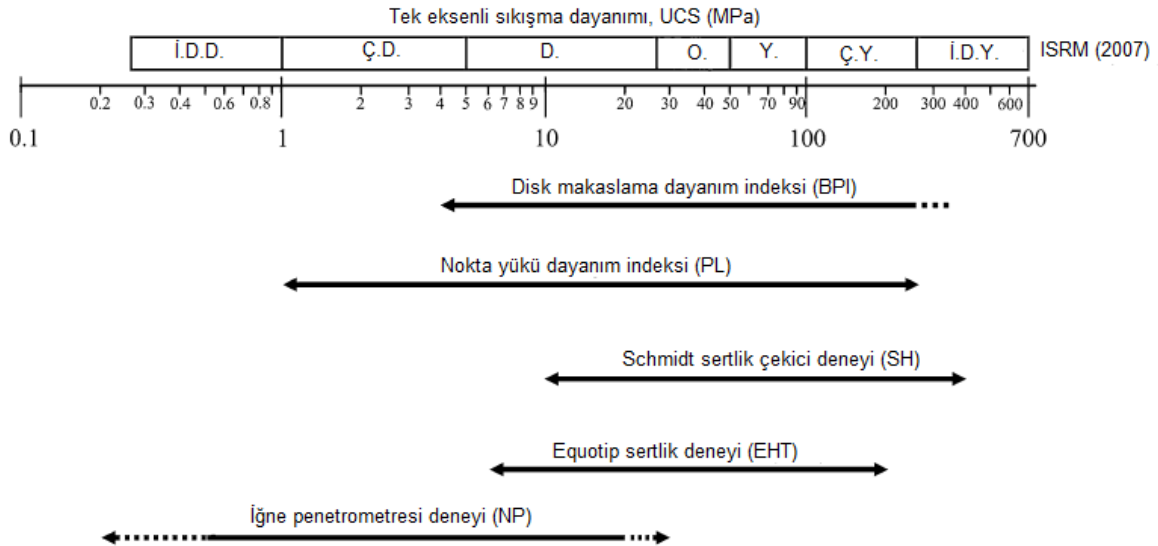
1. Ankara ve yakın civarında araziden, kaya bloğu satışı yapan yerlerden ve/veya Türkiye'nin değişik bölgelerinde bulunan taş ocaklarından bozunma etkilerinden uzak, homojen, masif yeterli büyüklükte ve sayıda, mümkün olduğunca prizmatik şekilli farklı kaya türlerine ait blok örnekler temin edilmiştir.
2. Uygulamada farklı çapta karotların alındığı göz önünde bulundurularak, temin edilen bu bloklardan planlanan kaya mekaniği deneyleri (nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma dayanımı) için NX (54.7 mm), NQ

(47.6 mm) ve BX (42 mm) aplarında laboratuvarda yeterli nitelik ve nicelikte örnekler hazırlanmıştır.

3. Daha önce bu amaca yönelik bir çalışmanın yapılmamış olması nedeniyle, nokta yükü dayanım indeksi deneyinde kullanılacak olan yarılanmış karot rnekleri, ISRM [3] tarafından bu deney için önerilen yöntem esas alınarak hazırlanmış olan silindirik örneklerin arasından belirlenip taş kesme makinesiyle ortadan kesilerek hazırlanmışlardır.
4. Hazırlanan silindirik ve yarılanmış karotlar üzerinde nokta yükü deneylerinin ayrı ayrı yapılmasının yanı sıra, hazırlanmış olan diğerk silindirik karot örnekleri üzerinde de tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.
5. Daha sonra; silindirik ve yarılanmış karotlarda tayin edilen nokta yükü dayanım indeksleri karşılaştırılıp sonuçlar arasında bir dizi istatistiksel analizler yapılmış ve yarılanmış karotlarda $I_{s(50)}$ 'nin belirlenmesi için kullanılacak görgül (ampirik) eşitlik önerilmiştir.
6. Tek eksenli sıkışma deney sonuçları ile silindirik ve yarılanmış karotlardan tayin edilen nokta yükü dayanım indeksi değerkleri kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış ve bunların sonuçlarına göre yarılanmış karotlardan tayin edilen nokta yükü dayanım indeksi değerkleri esas alınarak UCS'nin tahminini sağlayan görgül bir eşitlik önerilmiştir.

2. NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mühendislik jeolojisi ve kaya mühendisliği uygulamalarında, tasarımda ve kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde önemli girdi parametrelerinden biri de tek eksenli sıkışma dayanımıdır. Tek eksenli sıkışma dayanımının doğru ve temsil edici bir şekilde belirlenmesi, uluslararası standartlara ve/veya önerilmiş uluslararası yöntemlere göre yapılabilmesi için deney örneğinin belirli bir “boy/çap” oranına göre hazırlanması gerekmektedir. Ancak ileri derecede eklemlili veya çok zayıf kayalarda istenilen boy/çap oranında örnek hazırlanması oldukça güç hatta bazen olanaksızdır. Bu güçlükten ve sınırlamalardan dolayı her zaman doğrudan tayin edilemeyen UCS’nin, dolaylı yoldan tayin edilmesi amacıyla yerinde veya laboratuvarında uygulanmak üzere değişik indeks deneyler önerilmiştir. UCS’nin tahmini amacıyla bu indeks deneylerin farklı dayanım aralıklarındaki uygulanabilirliği Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu indeks deneylerden nokta yükü dayanım indeksinin, çok düşük UCS’den çok yüksek UCS’ye sahip geniş bir aralıktaki kaya grupları için UCS’yi tahmin edebildiği Şekil 2.1’den görülmektedir.



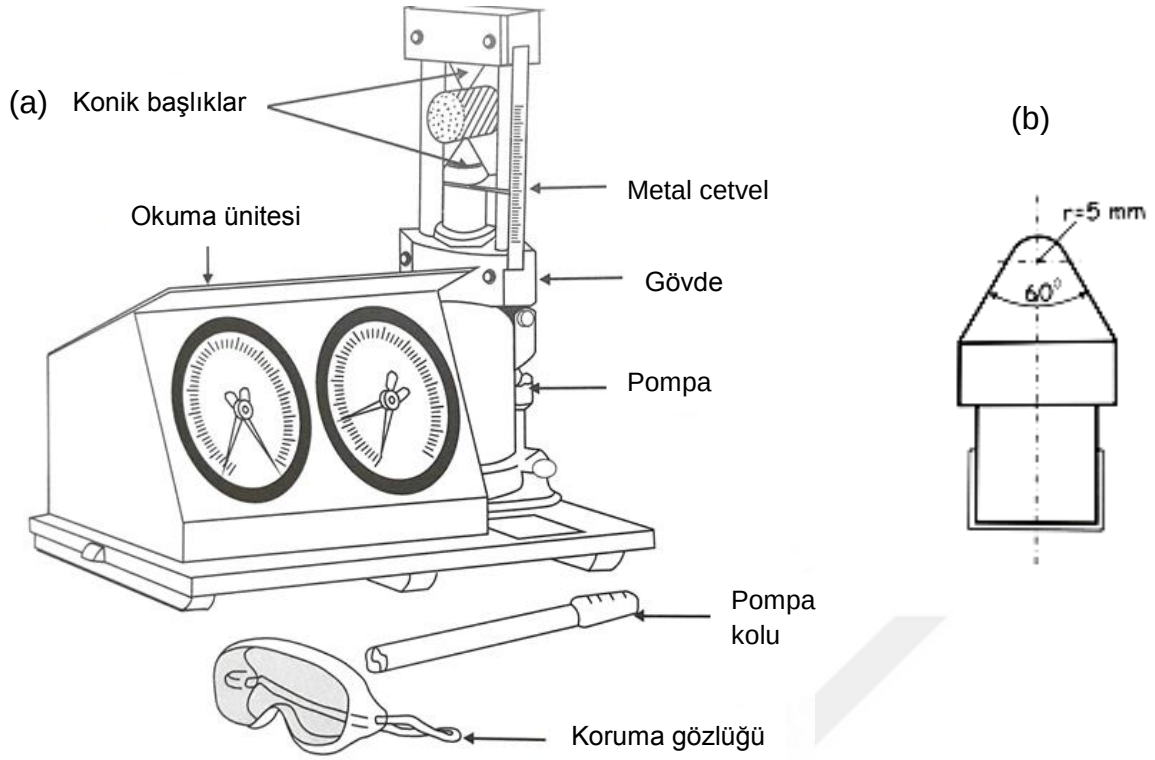
Şekil 2.1. Kaya mühendisliğinde en sık kullanılan indeks deneylerin farklı dayanım aralıklarındaki uygulanabilirliği (İ.D.D.: İleri derecede düşük, Ç.D.: Çok düşük, D.: Düşük, O.: Orta, Y.: Yüksek, Ç.Y.: Çok yüksek, İ.D.Y.: İleri derecede yüksek) (Ulusay ve Ergüler [4]'den düzenlenmiştir.)

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı; mevcut haliyle nokta yükleme deneyinin silindirik şeklini koruyan karotlar üzerinde yapılması şeklindeki sınırlamasının giderilerek, ortadan yarılanmış yarım karotlar üzerinde de yapılabilirliğini araştırmaktır. Nokta yükü dayanım indeksinin yarılanmış karotlardan belirlenmesiyle ilgili daha önce herhangi bir çalışma yapılmadığından, bu bölümde; nokta yükü dayanım indeksi deneyi, örneklerin şeklinin, çapının ve boyunun bu deneyin sonuçları üzerindeki etkisi ile $I_{s(50)}$ 'nin kayaçların dayanım özelliklerinin dolaylı yoldan tahmininde kullanılması amacıyla daha önce yapılmış çalışmalar ana hatlarıyla sunulmuştur.

2.1. Nokta Yükü Dayanım İndeksi Deneyi

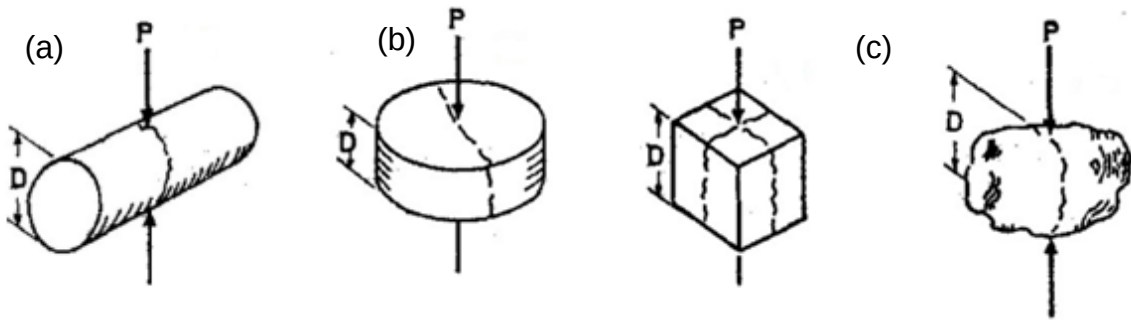
Nokta yükü dayanım indeksi deneyi günümüzde mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney, kayaçların tek eksenli sıkışma (örneğin; Broch ve Franklin [5]; Pells [6]; Hassani vd. [7]; Read vd. [8]; ISRM [9]; Bieniawski [10]; Kahraman vd. [11]; ISRM [3]; Sülükçü [12] ve Sülükçü ve Ulusay [13]) ve çekme dayanımlarının (Sülükçü [12]; Ma ve Wu [14]) dolaylı olarak belirlenmesinde, kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında (Guidicini vd. [15]; Bieniawski [16]), kayaç anizotropisinin saptanmasında (Greminger [17]; Broch [18]), RMR kaya kütlesi sınıflamasında (Bieniawski [10]), ve kayaçların dış etkilere karşı dayanıklılığı ile ilgili çalışmalarda (Fookes vd. [19]; Rodrigues ve Jeremias [20]) kullanılmaktadır. Genelde kayaçlar için önerilen bu deney, beton örnekleri üzerinde de yapılmıştır (Robins [21]; Demir [22]).

Nokta yükü aleti (Şekil 2.2a); yükleme sistemi (yükleme gövdesi, yükleme pompası ve iki konik uç), yük göstergeleri (düşük ve yüksek basınç için) ve deney sırasında konik uçlar arasındaki mesafeyi ölçen ölçüm sisteminden (gövdeye monteli metal cetvel) oluşmaktadır. Konik uçlar (Şekil 2.2b) ise; 60°'lik bir açığa sahip olup, uç kısmının yarıçapı 5 mm'dir. Deney sırasında hasar görmemeleri için uçlar tungsten karbür veya sertleştirilmiş çelik gibi sert malzemelerden üretilmelidir (ISRM [3, 9]).



Şekil 2.2. (a) Nokta yükleme deney aleti (Ulusay vd. [23]) ve (b) konik yükleme başlığı (ISRM [3]).

Deney, silindirik karot örneklerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli örnekler de kullanılarak, çapsal (karot eksenine dik, Şekil 2.3a), eksenel (karot eksenine paralel, Şekil 2.3b), blok ve düzensiz (Şekil 2.3c) şekilli örneklerde olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır.

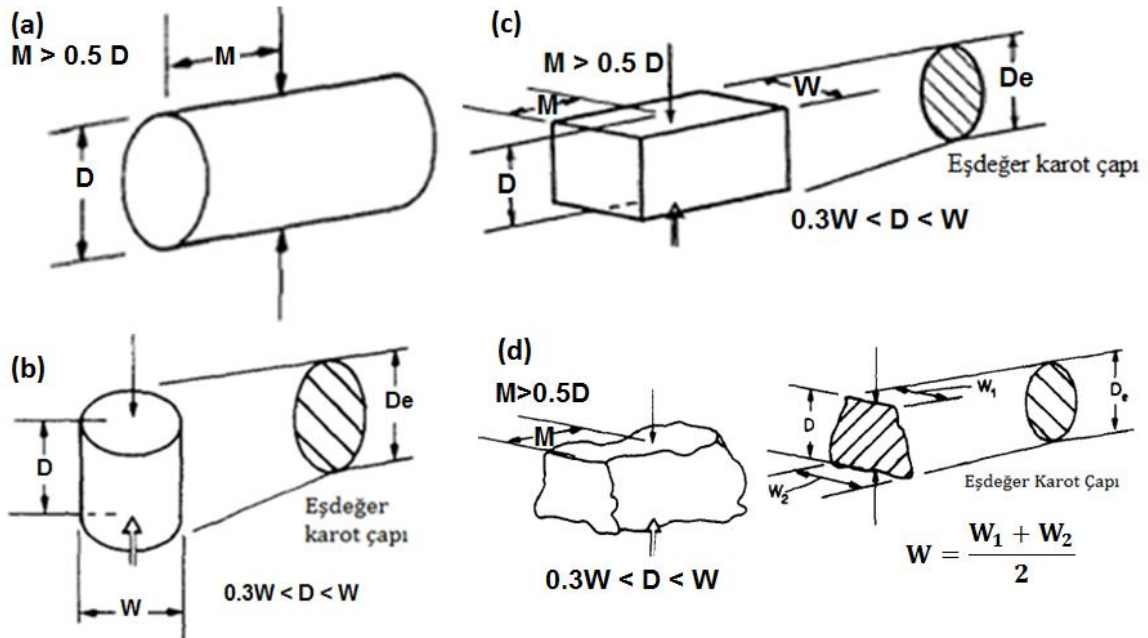


Şekil 2.3. Nokta yükü dayanım indeksi deneyinin (a) çapsal ve (b) eksenel, (c) blok ve düzensiz şekilli örnekler üzerinde uygulaması (Broch ve Franklin [5]).

Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde izlenen aşamalar Şekil 2.3'te görülen üç tip uygulama için aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir (ISRM [3], [9]).

(i) Çapsal deneyde:

- (a) Şekil 2.4a'da gösterildiği gibi, bu deney için karot örneğinin uzunluğunun (L) çapına (D) oranı 1'den büyük olmalıdır ($L/D > 1$; tercihen $L/D = 1.0-1.4$).
- (b) Deney en az 10 adet örnek üzerinde yapılmalı ve eğer kaya örneği heterojen veya anizotrop ise bu sayı artırılmalıdır.
- (c) Örnek, nokta yükleme aletinin konik uçları arasına karot eksenine dik doğrultuda yerleştirilir.
- (d) Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P) yük göstergesinden okunarak kaydedilir.
- (e) Deneyin geçerli olup olmadığı Şekil 2.5'te verilen yenilme yüzeyi şekillerinden anlaşılır.



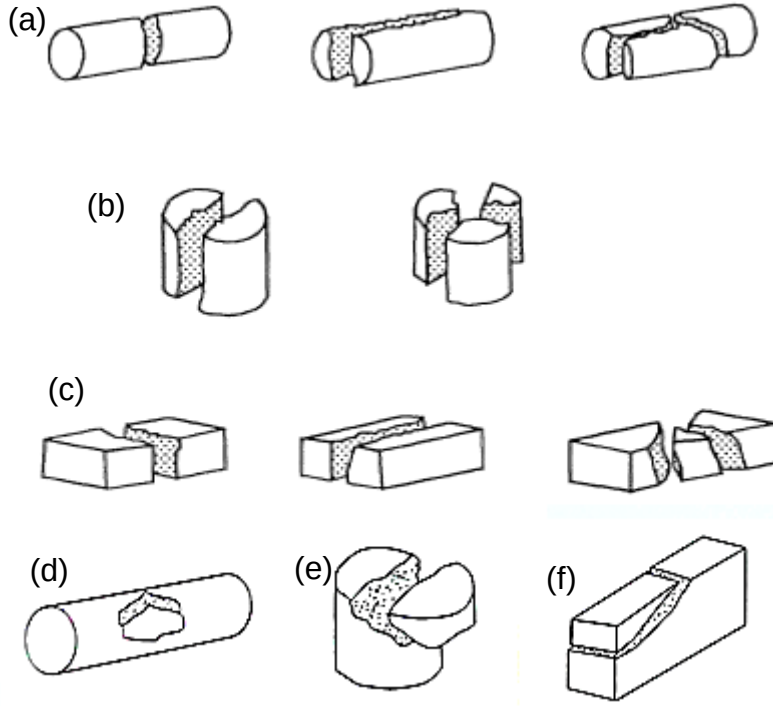
Şekil 2.4. Nokta yükleme deneyi için gerekli (a) çapsal, (b) eksenel, (c) blok ve (d) düzensiz örnek boyutları (ISRM [3, 9]'den düzenlenmiştir.).

(ii) Eksenel deneyde:

- (a) Bu deney için W/D oranı 0.3-1.0 arasında olan karot örnekleri kullanılmalıdır (Şekil 2.4b).
- (b) Deney en az 10 adet örnek üzerinde yapılmalı ve eğer kaya örneği heterojen veya anizotrop ise bu sayı artırılmalıdır.
- (c) Örnek nokta yükleme aletinin konik uçları arasına karot eksenine paralel doğrultuda yerleştirilir.
- (d) Çapsal deney için belirtilen uygulama burada da yapılır.

(iii) Blok ve düzensiz örneklerle deney:

- (a) 50 ± 35 mm boyutundaki blok (Şekil 2.4c) ve düzensiz (Şekil 2.4d) şekilli örnekler bu tür deney için uygundur. Kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0.3 ile 1.0 arasında, tercihen 1'e yakın, Şekil 2.4c ve Şekil 2.4d'de gösterilen ve konik uçların temas noktası ile en yakın serbest uç arasındaki mesafeyi tanımlayan M mesafesi ise, en az 0.5D olmalıdır. Bu örneklerin eşdeğer çaplarının yaklaşık 50 mm olması tercih edilir.
- (b) Deney en az 10 adet örnek üzerinde yapılmalı ve eğer kaya örneği heterojen veya anizotrop ise bu sayı artırılmalıdır.
- (c) Örnek, konik başlıkların arasına yerleştirilir. Yükleme yönünde dik konumundaki en küçük örnek genişliği $W \pm \%5$, konik başlıkların örneklerle olan temas noktaları arasındaki D mesafesi de deney aletinin gövdesindeki metal cetvel kullanılarak, $\pm \%2$ duyarlılıkla ölçülür. Örneğin kenarları birbirine paralel değilse, W uzunluğu, Şekil 2.4d'de gösterildiği gibi, $W=(W1+W2)/2$ eşitliğinden belirlenir.
- (d) Çapsal ve eksenel deneylerde belirtildiği gibi yükleme yapılarak yenilme yükü saptanır.



Şekil 2.5. Geçerli ve geçersiz deneylere ait tipik yenilme yüzeyleri: (a) geçerli çapsal deney, (b) geçerli eksenel deney, (c) geçerli blok deney, (d) geçersiz çapsal deney, (e) geçersiz eksenel deney, (f) geçersiz blok deney (ISRM [3, 9]).

Deney tamamlandıktan sonra öncelikle düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi I_s (MPa), Eşitlik 2.1'den hesaplanır:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (2.1)$$

Burada, P yenilme yükü (N) ve D_e eşdeğer karot çapı (mm) olup,

(i) Çapsal deneyde, $D_e^2 = D^2$

(ii) Eksenel, blok ve düzensiz deneylerde ise, $D_e^2 = \frac{4A}{\pi}$

(A=WD; konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanıdır.)

I_s değeri; çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise D_e 'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle, I_s değerinin standart bir karot çapına ($D=50$ mm) göre düzeltilmesi gerekir. Bu amaçla hazırlanmış nomogram (Şekil 2.6) kullanılarak

düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) belirlenir. Ayrıca düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi Eşitlik 2.2'den de hesaplanır.

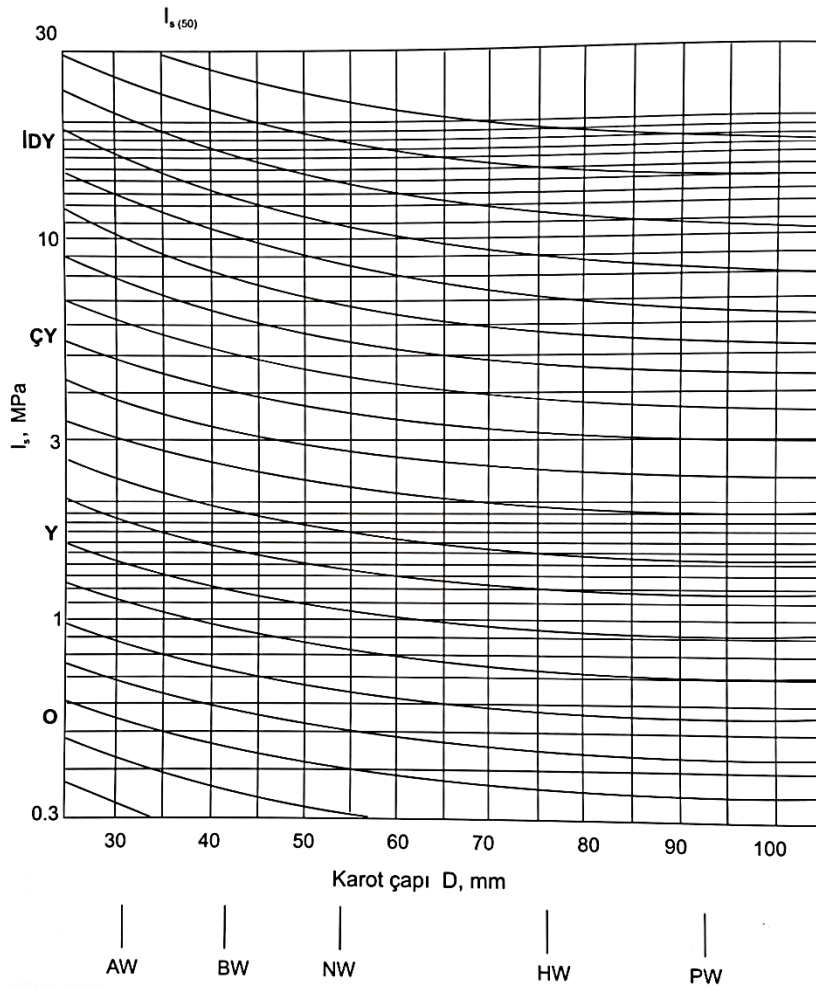
$$I_{s(50)} = FxI_s \quad (2.2)$$

Boyut düzeltme faktörü (F) Şekil 2.7'deki grafikten doğrudan veya Eşitlik 2.3 kullanılarak belirlenebilir.

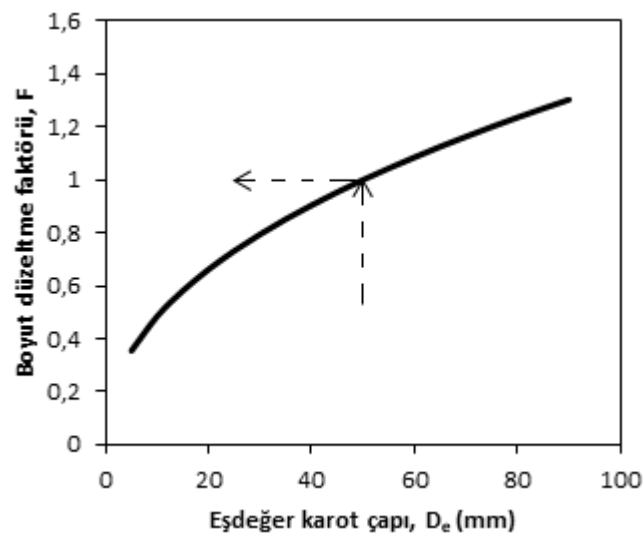
$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (2.3)$$

Ortalama $I_{s(50)}$ değeri; en az 10 adet geçerli deney sonucu arasındaki en yüksek ve en düşük ikişer değer iptal edilip, geriye kalan değerlerin ortalaması alınarak hesaplanır. Deneyde sayısı 10'dan az olan sadece birkaç örnekte deney yapılabildi ise, en yüksek ve en küçük değerler iptal edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.

Ayrıca anizotropik kayalarda nokta yükü dayanım indeksi deneyi için uygulama ve hesaplama yöntemi de vardır. Bu yöntemde, kaya örneğinin anizotropi düzlemine dik ve paralel yönde yükleme yapılır. Dayanım anizotropisi indeksi ($I_{a(50)}$), zayıflık düzlemine dik ve paralel yönlerde ölçülen $I_{s(50)}$ değerlerinin oranı olup, $I_{a(50)}=1$ koşulu kayacın izotrop, $I_{a(50)}>1$ koşulu ise anizotrop olduğunu göstermektedir. Tezin konusu dışında kaldığı için, bu deneyde anizotropi konusunun ayrıntısına girilmemiştir. Deney sonucu esas alınarak; kayacın "nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ " ve ayrıca "dayanım anizotropi indeksi, $I_{a(50)}$ " hesaplanmaktadır.



Şekil 2.6. Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksinin, $I_{s(50)}$, tayini (Broch ve Franklin [5]) (O: orta; Y: yüksek; ÇY: çok yüksek; İDY: ileri derecede yüksek).

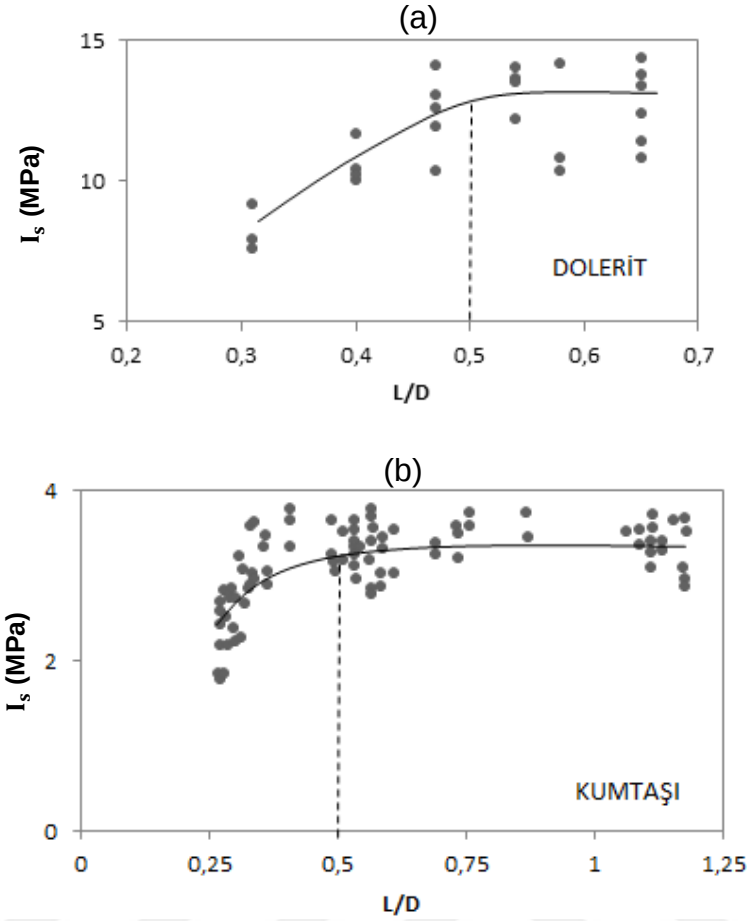


Şekil 2.7. Boyut düzeltme faktörü, F (ISRM [3, 9]'den düzenlenmiştir.).

2.2. Örnek Şekli ve Boyutlarının Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deney Sonuçlarına Etkisiyle İlgili Çalışmalar

Nokta yükleme deneyi ilk kez Reichmuth [24] tarafından tasarımlanmış olup, Broch ve Franklin [5] tarafından geliştirilmiştir. Deneyin temel amacı, tek eksenli sıkışma dayanımını dolaylı yoldan tahmin etmektir. Örnek hazırlığına gerek duyulmaksızın, karot ve düzensiz şekilli örnekler üzerinde de bu deneyin yapılabilmesi ve sonuçların kolayca hesaplanması nokta yüğü dayanım indeksi deneyini pratik ve yaygın kullanılan bir deney haline getirmiştir (Türk [25]). Ancak yapılan araştırmalarda, nokta yüğü dayanım indeksi deney sonuçlarının örneğin şekil, çap ve boyutlarına bağılı olduğu da ortaya konulmuştur. Günümüze değin bu hususla ilgili yapılmış başlıca çalışmalar aşağıdaki paragraflarda ana hatlarıyla tartışılmıştır.

Broch ve Franklin [5], çalışmalarında homojen ve izotrop sayılabilecek dolerit ve kumtaşlarından farklı boylarda ve 38 mm çapa (D) sahip çok sayıda örnekler hazırlamışlardır. Örnek boyunun 2L olarak kabul edildiği ve nokta yüğü dayanım indeksi deneyinin yapıldığı bu çalışmada, dayanım değerleri (I_s) ile L/D arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 2.8). Elde edilen verilerle oluşturulan grafiklerden; deneyde 0,5'ten yüksek değerlerde L/D oranının değişim göstermediği ve sabit olduğu görülmekte olup, bu araştırmacılar deneyde kullanılacak örneklerin L/D oranının 0,5'ten büyük olması gerektiğini önermişlerdir. Ayrıca aynı araştırmacılar, homojen ve izotrop özellikteki 5 farklı kaya türünden 5 farklı çapta çok sayıda örnek hazırlamışlar ve bunlar üzerinde nokta yüğü dayanım indeksi deneyi yapmışlardır. Çapsal deneyler sonucunda aynı kaya türü olmasına karşın farklı çaplardaki örnekler için farklı dayanım değerleri elde etmişlerdir. Çap arttıkça dayanım değerlerinin düştüğünü belirten bu araştırmacılar, nokta yüğü deney sonuçlarının örneklerin çap ve boylarına göre değişkenlik gösterdiğini ve bu nedenle standart çapta (50 mm) örnekleri temsil eden nokta yükleme dayanım indeksi değerinin kullanılmasını önermişlerdir. Standart çapta olmayan örneklerin, 50 mm çaptaki örneğe ait dayanımın tahmin edilmesi amacıyla Broch ve Franklin [5], Hassani vd. [7], Brook [26, 27], Türk ve Dearman [28, 29] ve Türk [30] grafikler önermişlerdir. Düzeltilmiş I_s değerinin belirlenmesi için günümüzde en yaygın kullanılan abak ise Broch ve Franklin [5]'e aittir (Şekil 2.6).



Şekil 2.8. Broch ve Franklin [5]'in (a) dolerit ve (b) kumtaşı örnekleri üzerinde yapmış oldukları nokta yükleme deneylerine göre (I_s)- L/D arasındaki ilişkiler.

Greminger [17], nokta yükü dayanım indeksi deneyinde şekil faktörünü araştırmak amacıyla, dört farklı kaya türünden, farklı şekillerde ve yükleme yönünden bağımsız olarak şekil düzeltme faktörü türetmiştir. Araştırmacı, $1 < D/L < 3$ koşulunun sağlanması halinde örneklerde şekil faktörü etkisinin düzenlenmesi için $(D/L)^{0.75}$ eşitliğinin kullanılmasını önermektedir.

Forster [31], değişik kaya türlerinden, D/L oranı 0.5 ile 1 arasında değişecek şekilde 1000'den fazla örnek hazırlamış ve bunların üzerinde eksenel ve çapsal nokta yükü dayanım indeksi deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda eksenel nokta yükü dayanım indeksi I_A ile D/L arasındaki ilişkiyi araştıran Foster, her kaya türü için elde ettiği değerlerin birbirleriyle uyumlu olduğunu belirtmektedir. Kayacın dayanım indeksinin belirlenmesinin söz konusu olduğu durumlarda, homojen kaya malzemeleri için çapsal nokta yükü deneyi, kayacın tabakalanma veya foliasyon

gibi zayıflık düzlemlerini içermesi koşulunda ise, bu yüzeylere dik yönde yüklemenin yapıldığı eksenel nokta yükü deneyi daha güvenilir olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca araştırmacı, eksenel nokta yükü dayanım indeksi değerlerini çapsal nokta yükü dayanım indeksine (I_D) dönüştürmek amacıyla aşağıdaki eşitliği de önermiştir.

$$I_D = 0.1723e^{1.5987D/L}I_A \quad (2.4)$$

Türk ve Dearmen [28], farklı çaptaki dolerit ve norit tipi kayalardan çok sayıda düzensiz şekilli ve prizmatik örnekler kullanılarak nokta yükü dayanım indeksi deneyleri yapmışlar ve elde edilen deney sonuçlarından yola çıkarak, her iki tarafı logaritmik ölçekteki grafikte I_s ile çap arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. Ayrıca bu araştırmacılar, $I_s - D$ doğrusal ilişkisinden yararlanarak kayacın 50 mm çaplı karotlardan nokta yükü dayanım indeksi değerinin tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Demir [22], 4 farklı beton ve 3 farklı alçı karışımlarını çapları 50 mm ve boy/çap oranı 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 olan kalıplara dökerek örnekler hazırlamıştır. Bu örnekleri kullanarak çapsal nokta yükü dayanım indeksi deneylerini yapan araştırmacı, örnek boyunun bu deneyin sonuçları üzerindeki etkisini incelemiştir. Boy/çap oranının 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 olması halinde $I_{s(50)}$ değerlerinde belirli bir artış veya azalma olmamış olup, $I_{s(50)}$ değerlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada nokta yükü dayanım indeksi deneyinde boy/çap oranları 1,0 ile 4,0 arasında değişen örneklerin deney sonucunu etkilemediği sonucuna varılmıştır.

2.3. Nokta Yükü Dayanım İndeksi Deneyinin Diğer Dayanım Parametrelerinin Dolaylı Yoldan Tayin Edilmesinde Kullanımıyla İlgili Çalışmalar

Nokta yükü dayanım indeksi, başlıca kayaların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır. Günümüze değin yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak nokta yükü dayanım indeksi ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişkiyi, diğer bir ifadeyle 'dönüşüm faktörü' olarak

adlandırılan k katsayısını ($\sigma_c = kI_{s(50)}$) konu alan birçok çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasında da sadece hem yarılanmış hem de silindirik örneklerde tayin edilen nokta yükü dayanım indeksleri ile UCS arasındaki ilişkiler araştırıldığı için, çekme dayanımı ile nokta yükü dayanım indeksi arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalara burada yer verilmemiştir.

σ_c ile $I_{s(50)}$ arasındaki ilişkiyi araştırmış olan çalışmacılar, bunların çalışmalarında kullandıkları kaya türleri ve önerdikleri eşitlik ile k katsayıları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Tüm bu çalışmalarda farklı kayalar için deneyler gerçekleştirilmiş ve istatistiksel analizlerle farklı fonksiyonlar denenerek k katsayıları belirlenmiştir. Ancak Çizelge 2.1'den de görüleceği gibi, k katsayısı oldukça geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Norbury [32], 16 ile 24 arasındaki değerlerde bir yoğunlaşma olmakla birlikte, literatüre göre k değerlerinin 13 ile 50 arasında geniş bir aralıkta değişim gösterdiğini belirtmektedir. Çizelge 2.1'den de verilen 30'dan fazla eşitlikle k 'nın 11 ile 30 arasında değiştiği görülmektedir. Bieniawski [16] pratik değerlendirmeler için standart çapın NX (54 mm) olmasını ve dönüşüm katsayısı olan k değerinin ise 24 alınmasını önermiştir. Ayrıca aynı araştırmacı, sert kayalarda 40 mm'den daha büyük çaptaki örneklerin deney aletine zarar verdiğini (konik başlıkların kütleşmesine neden olduğu) gözlemlemiş ve bu nedenle sert kayalarda 40 mm'den geniş çaptaki örneklerin nokta yükü dayanım indeksi deneyinde kullanılmaması gerektiğini belirtmiştir.

Topal [33], nokta yükü dayanım indeksi deneyinde karşılaşılan deney aletiyle ilgili bazı sorunlar ve kullanıcıyı ilgilendiren hususlar üzerinde durmuştur. Aletle ilgili sorunlarda; konik uçlar, örnek kalınlığını belirten ölçek, hatalı alet tasarımı gibi konuları ele alan araştırmacı alınması gereken önlemleri belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı; tüf örnekleri üzerinde nokta yükü dayanım indeksi ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yapmış ve bu kayaç için σ_c ile $I_{s(50)}$ arasında $\sigma_c = 10.65I_{s(50)} + 2.47$ eşitliği ile temsil edilen ve yüksek belirleme katsayısına sahip doğrusal ($R^2=0.92$) bir ilişki bulmuştur. Topal [33]; bu deneyde kullanılan aletlerdeki (örneğin konik başlıklar) bazı farklılıklar nedeniyle ISRM [9]'den önce

yapılan çalışmalarla ISRM [9]'den sonra yapılan çalışmaların sonuçlarının doğrudan ilişkilendirilmesinin hatalı olacağını da belirtmiştir.

Sülükçü [12] ve Sülükçü ve Ulusay [13], tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımlarının tahmininde disk makaslama dayanım indeksi deneyinin diğer indeks deneylere (nokta yükü dayanım indeksi deneyi, Schmidt çekici deneyi) göre avantajının olup olmadığını araştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında 23 kaya türü üzerinde disk makaslama dayanım indeksi, nokta yükü dayanım indeksi, Schmidt çekici deneyi, tek eksenli sıkışma dayanımı ve çekilme dayanımlarını belirlemişlerdir. Söz konusu çalışmada, nokta yükü dayanım indeksi deneyleri eksenel ve çapsal olmak üzere iki şekilde yapılmış olup, eksenel ve çapsal deney sonuçlarının birbiriyle benzer olması nedeniyle elde edilen değerler birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışmada; nokta yükü dayanım indeksi deneyi ile tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı ve disk makaslama dayanım indeksi arasındaki ilişkiler de belirlenmiş olup, bu üç dayanım için elde edilen k katsayıları sırasıyla, 15.31, 2.30 ve 0.29'dur. Bu çalışma sonucunda; disk makaslama dayanım indeksinin, nokta yükü dayanım indeksinin ve Schmidt geri sıçrama değerlerinin kullanıldığı ilişkilere göre, deneysel olarak tayin edilen UCS'lere daha yakın değerler vererek daha iyi bir tahmin performans sergilediği sonucuna varmışlardır.

k katsayısının literatürde bu denli değişkenlik göstermesi farklı araştırmacılar tarafından farklı şekilde yorumlanmıştır. Chau ve Wong [45], yaptıkları teorik çalışmada, dönüşüm katsayısı olan k 'nın 24'ten daha küçük ve yaklaşık 15 olması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Read vd. [8], k katsayısının kayaç türüne ve bozunmanın derecesine bağlı olduğunu belirtmiştir. Brook [26] ve Tsidzi [59] gibi araştırmacılar; k katsayısının kayaç türüne, deney yöntemine, kayacın su içeriğine, petrografisine, yapısına ve dokusuna ve bozunma derecesine bağlı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 2.1. σ_c (MPa) ile $I_{s(50)}$ (MPa) arasındaki ilişkinin araştırıldığı bazı çalışmalar, önerilen eşitlikler ve k faktörleri

Araştırmacı(lar)	Kayaç Türü	Eşitlik	k faktörü
D'Andrea vd. [34]	Dört farklı kaya türü (Kayaç türü belirtilmemiş)	$\sigma_c = 15.3I_{s(50)} + 16.3$	---
Deere ve Miller [35]	Kayaç türü belirtilmemiş	$\sigma_c = 20.7I_{s(50)} + 29.6$	---
Broch ve Franklin [5]	Dolerit ve kumtaşı	$\sigma_c = 24I_{s(50)}$	24
Bieniawski [16]	Kumtaşı, kuvarsit ve iki farklı gabro	NX çapta $\sigma_c = 24I_{s(50)}$	24
		BX çapta $\sigma_c = 21I_{s(50)}$	21
		EX çapta $\sigma_c = 18I_{s(50)}$	18
Pells [6]	Dolerit, norit ve piroksenit	$\sigma_c = 24I_{s(50)}$	24
Jassar ve Hawskin [36]	Karbonatlı kayaçlar	$\sigma_c = 24I_{s(50)}$	24
Hassani vd. [7]	Sedimanter kayaç	$\sigma_c = 29I_{s(50)}$	29
Read vd. [8]	Sedimanter kayaç	$\sigma_c = 16I_{s(50)}$	16
	Bazalt	$\sigma_c = 20I_{s(50)}$	20
Greminger [17]	Gnays, kumtaşı ve sleyt	$\sigma_c = 24I_{s(50)}$	24
Forster [31]	5 farklı dolerit ve 3 farklı kumtaşı	$\sigma_c = 14.5I_{s(50)}$	14.5
Gunsallus ve Kulhawy [37]	Dolomitik kireçtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı	$\sigma_c = 16.5I_{s(50)} + 51$	---
Brook [27]	Granit ve kireçtaşı	$\sigma_c = 22I_{s(50)}$	22
	Bazalt	$\sigma_c = 20I_{s(50)}$	20
Das [38]	Silttaşı	$\sigma_c = 14.7I_{s(50)}$	14.7
	Kumtaşı	$\sigma_c = 18I_{s(50)}$	18
	Şeyl	$\sigma_c = 12.6I_{s(50)}$	12.6
ISRM [9]	Kumtaşı	$\sigma_c = (20 - 25) I_{s(50)}$	20-25
Hawkins ve Olver [39]	Kireçtaşı	$\sigma_c = 26.5I_{s(50)}$	26.5
	Kumtaşı	$\sigma_c = 25I_{s(50)}$	25
Norbury [32]	Kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, sleyt, kireçtaşı ve tebeşir	$\sigma_c = 27I_{s(50)}$	27

Çizelge 2.1. (devam ediyor)

Araştırmacı(lar)	Kayaç Türü	Eşitlik	k faktörü
O'Rourke [40]	Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 30I_{s(50)}$	30
Vallejo vd. [41]	Kumtaşı	$\sigma_c = 17.4I_{s(50)}$	17.4
	Şeyl	$\sigma_c = 12.6I_{s(50)}$	12.6
Ghosh ve Srivastava [42]	Granit	$\sigma_c = 16I_{s(50)}$	16
Singh ve Singh [43]	Kuvars	$\sigma_c = 23.4I_{s(50)}$	23.4
Ulusay vd. [44]	Kumtaşı	$\sigma_c = 19I_{s(50)} + 12.7$	---
Chau ve Wong [45]	Granit ve tüf	$\sigma_c = 12.5I_{s(50)}$	12.5
Smith [46]	Kumtaşı- Kireçtaşı	$\sigma_c = 24I_{s(50)}$	24
	Şeyl	$\sigma_c = 12.6I_{s(50)}$	12.6
Rusnak ve Mark [47]	Şeyl	$\sigma_c = 21I_{s(50)}$	22
	Silttaşı	$\sigma_c = 20I_{s(50)}$	20
	Kumtaşı	$\sigma_c = 20.6I_{s(50)}$	20.6
	Kireçtaşı	$\sigma_c = 22 I_{s(50)}$	22
Topal [33]	Tüf	$\sigma_c = 10.65I_{s(50)} + 2.47$	---
Sülükçü [12]	23 farklı kaya türü	$\sigma_c = 15.31I_{s(50)}$	15.31
Kahraman [48]	48 farklı kaya türü	$\sigma_c = 8.41I_{s(50)} + 9.51$	---
	Kömür	$\sigma_c = 23.62I_{s(50)} - 2.69$	---
Lashkaripour [49]	Çamurtaşı	$\sigma_c = 21.43I_{s(50)}$	21.43
Quane ve Russel [50]	Bazalt	$\sigma_c = 24.4I_{s(50)}$	24.4
	4 farklı tüf	$\sigma_c = 3.86I_{s(50)}^2 + 5.65 I_{s(50)}$	---
Tsiambaos ve Sabatakakis [51]	Kireçtaşı	$\sigma_c = 13 I_{s(50)}$	13
	Marn	$\sigma_c = 20I_{s(50)}$	20
	Kumtaşı	$\sigma_c = 28I_{s(50)}$	28
Fener vd. [52]	Bazalt, granit, andezit, metagabro, kuvarsit, mermer, granadiyorit, kireçtaşı ve traverten	$\sigma_c = 9.08I_{s(50)} + 39.32$	---

Çizelge 2.1. (devam ediyor)

Araştırmacı(lar)	Kayaç Türü	Eşitlik	k faktörü
Akram ve Bakar [53]	Kumtaşı, kireçtaşı, marn	$\sigma_c = 11.076I_{s(50)}$	11.076
Demir [22]	4 farklı beton ve 3 farklı alçı örneği	$\sigma_c = 16.538I_{s(50)}$	16.538
Heidari vd. [54]	Alçıtaşı	$\sigma_c = 5.575I_{s(50)} + 21.92$	---
Singh vd. [55]	Kumtaşı	$\sigma_c = 22I_{s(50)}$	22
	Şeyl	$\sigma_c = 14.4I_{s(50)}$	14.4
	Kaya tuzu	$\sigma_c = 16I_{s(50)}$	16
	Kireçtaşı	$\sigma_c = 22.3I_{s(50)}$	22.3
	Dolomit	$\sigma_c = 22.7I_{s(50)}$	22.7
Salah vd. [56]	Kireçtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı;		
	Geometrik ilişki	$\sigma_c = 25.6I_{s(50)}^{0.57}$	---
	Doğrusal ilişki	$\sigma_c = 9.30I_{s(50)} + 20.04$	---
Kaya ve Karaman [57]	Aglomera, volkanik breş, tuf, andezit, bazalt, 2 farklı dasit, granit, granodiorit, 3 farklı kireçtaşı, traverten ve konglomera	$\sigma_c = 14.81I_{s(50)}$	14.81
	Aglomera, volkanik breş, tuf, andezit, bazalt, 2 farklı dasit, granit ve granodiorit	$\sigma_c = 14.58I_{s(50)}$	14.58
	3 farklı kireçtaşı, traverten ve konglomera	$\sigma_c = 15.14I_{s(50)}$	15.14
	Şist, mermer ve metabazalt	$\sigma_c = 15.16I_{s(50)}$	15.16
	Aglomera, volkanik breş ve tuf	$\sigma_c = 14.16I_{s(50)}$	14.16
	Andezit, bazalt ve 2 farklı dasit	$\sigma_c = 17.15I_{s(50)}$	17.15
	Granit ve granodiorit	$\sigma_c = 14.14I_{s(50)}$	14.14
	3 farklı kireçtaşı ve traverten	$\sigma_c = 17.20I_{s(50)}$	17.20
	Konglomera	$\sigma_c = 12.59I_{s(50)}$	12.59
Binal [58]	İgnimbirit	$\sigma_c = 9I_{s(50)}$	9

Diamantis vd. [60], farklı kaya türleri için nokta yükü dayanım indeksi ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerini yapmışlar ve farklı kaya türleri için UCS'nin $I_{s(50)}$ 'den dolayı olarak tayininde kullanılmak üzere tek bir k katsayısının olmadığını belirtmişlerdir.

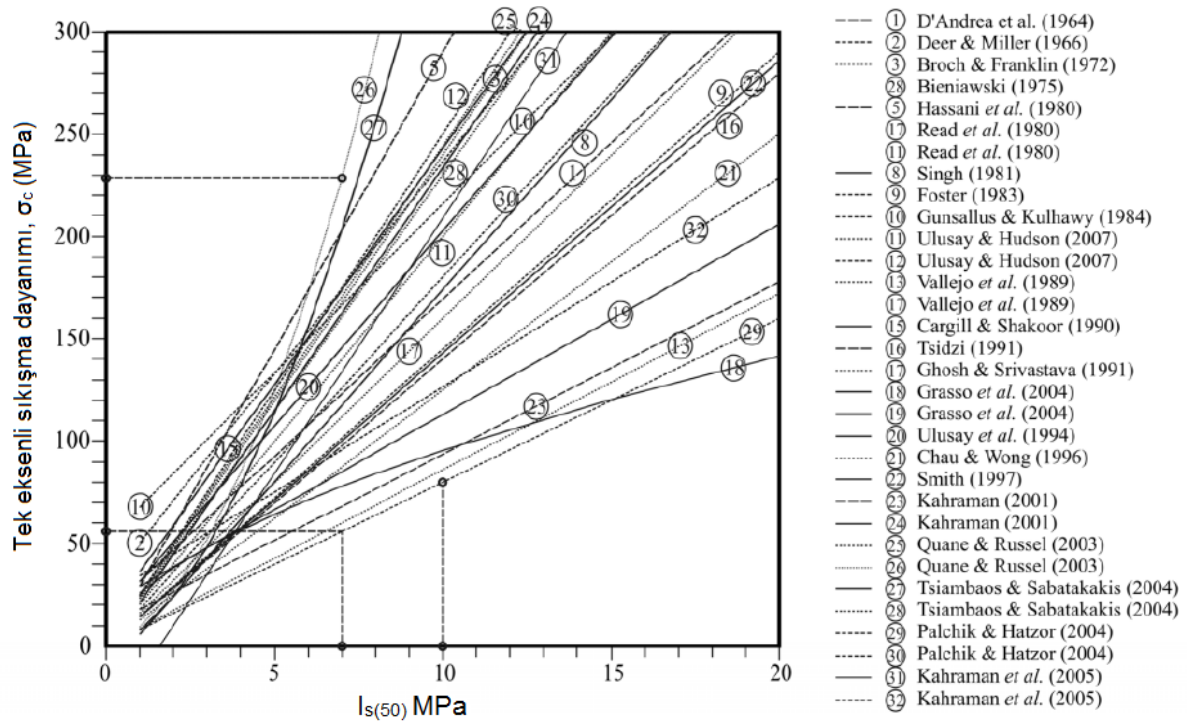
Kahraman vd. [61], k katsayısının tek bir değer olması durumunda tahmin edilen UCS değerlerinde %100'e yakın hata oranlarının mümkün olabileceğini belirtmektedirler.

Singh vd. [55], kuvars, kumtaşı, amfibolit, gabro, diyorit, kireçtaşı, dolomit, şeyl ve kaya tuzu örneklerinde nokta yükü dayanım indeksi ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yaparak dönüşüm katsayılarını (k) belirlemişlerdir. Bu araştırma sonucunda araştırmacılar; tüm kaya türleri için tek bir dönüşüm katsayısı uygulanmasının hatalı sonuçlar vereceğini ve dönüşüm katsayısının sert kayalarda 21 ile 24, yumuşak kayalarda ise 14 ile 16 arasında değişebileceğini belirtmektedirler.

Suarez-Burgoa [62], dönüşüm katsayısının çok geniş bir aralıkta değişmesinden (Şekil 2.9) dolayı bir belirsizliğin olduğunu ve nokta yükü dayanım indeksi deneyinde bulunan sonucun kullanılarak dolaylı yoldan tek eksenli sıkışma dayanımına geçilmesinden kaçınılmasının ve nokta yükü deneyiyle belirlenen dayanım indeksi değerlerinin kendi aralarında ve herhangi bir dönüşüme tabi tutulmadan sınıflandırılması gerektiğini belirtmiştir.

UCS'nin $I_{s(50)}$ 'den tahmin edilmesi için bugüne değin önerilmiş ilişkilerde kullanılan dönüştürme katsayısının (k) oldukça geniş bir aralıkta değişmesinin başlıca nedenleri olarak aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- (a) Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde çekilme gerilmesi dominant gerilme türüdür. Bu tür bir gerilme altında tayin edilen bu indeksten ise, tamamen sıkıştırıcı gerilmeyle ilgili bir dayanım türü olan UCS tahmin edilmektedir.
- (b) Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde uygulanan nokta yükü ile örnekte gelişen yenilme yüzeyi bazen karot çapına tam paralel olamamakta ve yenilme yüzeyinin alanı değişebilmektedir.



Şekil 2. 9. Değişik araştırmacıların elde ettikleri eşitliklere göre UCS'nin $I_{s(50)}$ 'ye bağlı değişimi (Suarez- Burgao ([63];[62]'den)

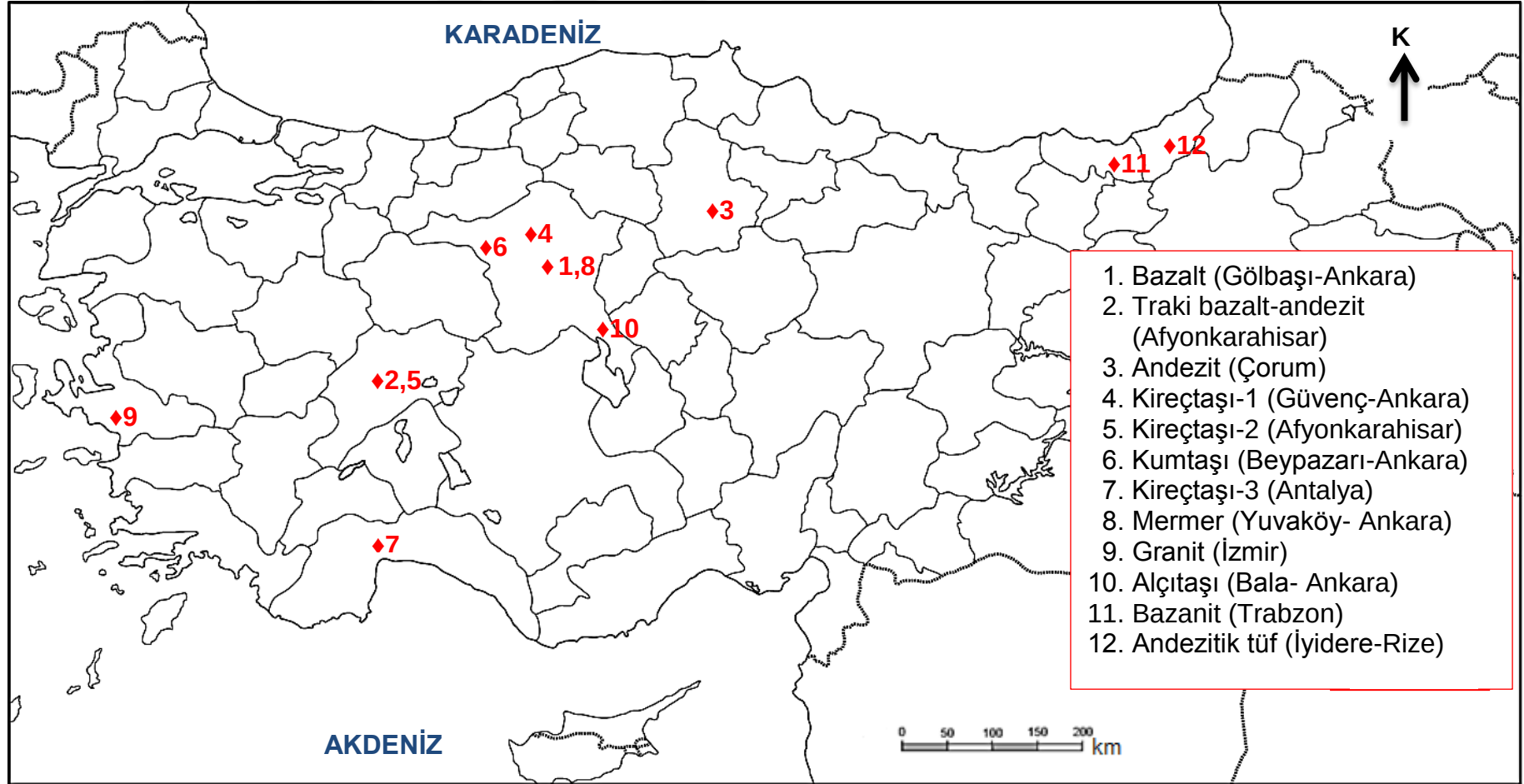
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN KAYA TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Örnek seçiminde; tezin amacına uygun olarak araziden doğrudan örnek alınmasının yanı sıra, taş satan yerlerden ve/veya taş ocaklarından bozunma etkilerine maruz kalmamış, homojen, masif ve çatlaksız, yeterli büyüklükte ve sayıda, mümkün olduğunca prizmatik blok örneklerin alınmasına dikkat edilmiştir. Kaya mekaniği deneylerinde kullanılması önerilen boyutlardaki örneklerin temin edilebilmesi amacıyla örnekleme işleminde mümkün olduğunca kenar uzunlukları en az 20- 25 cm olan örneklerin seçilmesine özen gösterilmiştir.

Bu çalışmada; Ankara ve yakın civarında araziden, kaya bloğu satışı yapan yerlerden veya Türkiye'nin değişik bölgelerinde bulunan taş ocaklarından olanaklar dahilinde örnek alımı sağlanmıştır. Orijinal yerleri (çıkarıldıkları ocaklar) Şekil 3.1'de gösterilen toplam 12 farklı kaya türünün jeolojik yaşları ve tanımlamaları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Arazide makro olarak adlandırılmış olan örneklerin ayrıca ince kesitleri de hazırlanarak petrografik incelemeler yapılmış olup, nihai kaya türü adlandırmaları bu incelemelere göre gerçekleştirilmiştir. Alınan örneklerden bazanit ve andezitik tuf örneği Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji ve Petrografi Anabilim Dalı'nda, diğer örnekler ise Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji ve Petrografi Anabilim Dalı'nda mineralojik-petrografik analize tabi tutulmuş olup, yapılan analizler sonucunda alınan kaya türleri petrografik olarak adlandırılmıştır. Örneklerle ait makro ve mikro (tek ve çift nikol) görüntüleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Mineralojik - petrografik analizlere göre örneklerin mineralojik bileşimleri aşağıda sunulmuştur.

Bazalt örneğinde, klinopiroksen, biyotit ve hamurunda volkan camı yer yer plajiyoklaz mineralleri görülmektedir. Örnek, mikrolitik dokulu ve oldukça fazla miktarda vesiküler boşluk içermektedir (Şekil 3.2a).



Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılmak üzere araziden ve taş satan kuruluşlardan derlenen kaya türlerinin orijinal yerlerini gösteren harita.

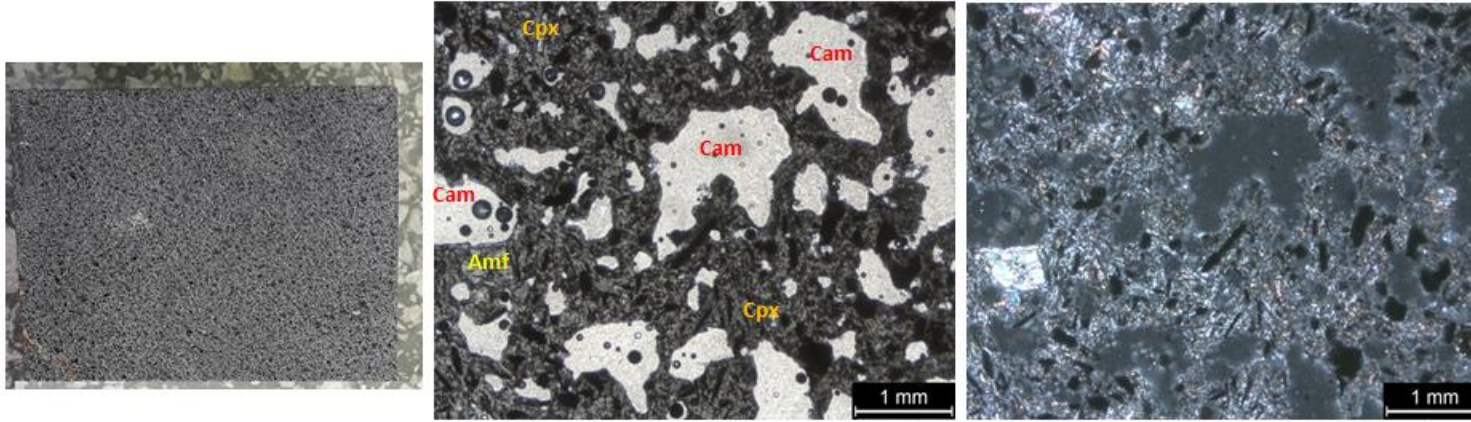
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kaya türlerinin lokasyonları, jeolojik yaşları ve tanımları.

Kaya Türü	Lokasyon	Jeolojik Yaş	Mühendislik Tanımlaması
Bazalt	Ankara (Gölbaşı - Taş ocağı)	Orta – Üst Miyosen (1)	Siyah, bozunmamış, dayanımlı
Traki bazalt andezit	Afyonkarahisar (Taş ocağı)	Orta – Alt Miyosen (1)	Siyahımsı-koyu gri, bozunmamış, dayanımlı
Andezit	Çorum (Taş ocağı)	Orta - Üst Miyosen (1)	Açık grimsi, bozunmamış, dayanımlı
Kireçtaşı-1	Ankara (Kahramankazan - Yüzlek)	Eosen (1)	Açık sarı, bol fosilli, az bozunmuş, düşük dayanımlı
Kireçtaşı-2	Afyonkarahisar (Taş ocağı)	Üst Miyosen (1)	Bej, az fosilli, az bozunmuş, dayanımlı
Kumtaşı	Ankara (Beypazarı - Taş ocağı)	Paleosen (1)	Sarımsı, iyi derecede pekişmiş, az bozunmuş, düşük dayanımlı
Kireçtaşı-3	Antalya (Taş ocağı)	Miyosen(1)	Sarımsı, bozunmamış, düşük dayanımlı
Mermer	Ankara (Yuvaköy - Taş ocağı)	Üst Triyas- Üst Kretase (2)	Açık grimsi- beyazımsı, bozunmamış, dayanımlı
Granit	İzmir (Taş ocağı)	Paleozoyik (3)	Grimsi, bozunmamış, dayanımlı
Alçıtaşı	Ankara (Bala - Taş ocağı)	Permotriyas (1)	Beyaz, bozunmamış, düşük dayanımlı
Bazanit	Trabzon (Taş ocağı)	Üst Kretase (4)	Koyu yeşilimsi, az bozunmuş, dayanımlı
Andezitik tüf	Rize (Taş ocağı)	Üst Kretase (5)	Açık kahverengi- sarımsı, az bozunmuş, düşük dayanımlı

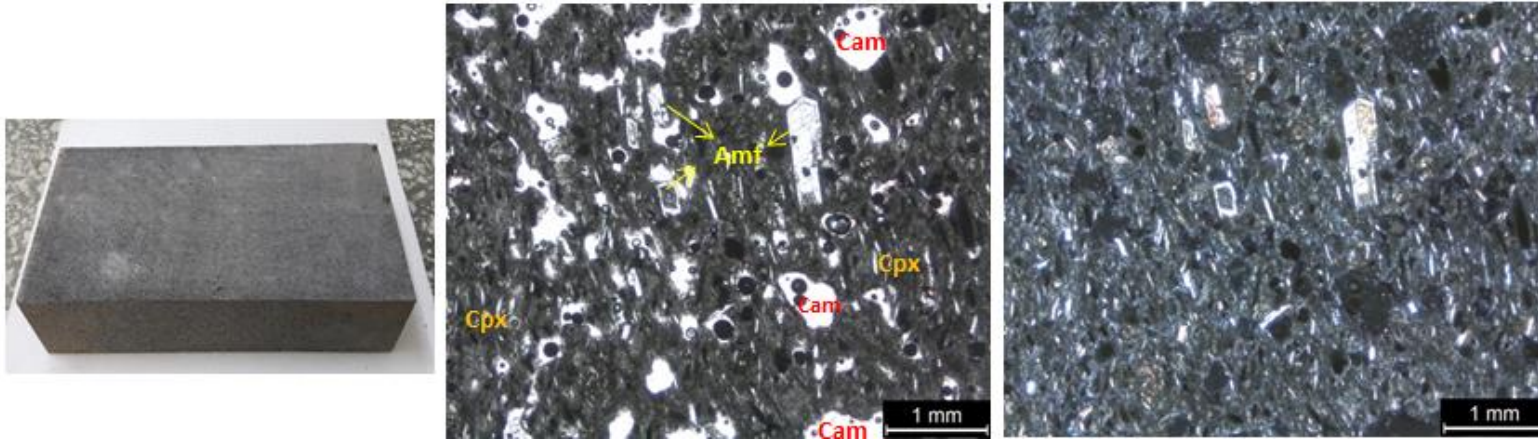
(1) MTA (2017) [64]; (2) Çakır vd. (2007) [65]; (3) Dora (1967) [66]; (4) Korkmaz vd. (1993) [67]; (5) Abidinoğlu ve Arslan (2007) [68].

Traki bazalt-andezit örneği mikrolitik porfiri dokulu olup, trakitik piroksen, plajiyoklaz ve amfibol minerallerini içermektedir (Şekil 3.2b). Andezit örneği; porfiri dokulu ve yavaş soğumaya bağlı olarak iri plajiyoklaz ve iri amfibol mineralleri içermektedir (Şekil 3.2c). Kireçtaşı-1, bol miktarda nummilites ve foraminifer fosil parçalarından oluşmaktadır. Fosiller genellikle tam şekilli yer yer kırıntılı parçalı olup, fosil parçalarının arasını karbonat dolgu doldurmaktadır (Şekil 3.2d). Kireçtaşı-2 no.lu örnekte; yer yer fosil parçaları ve bu parçaların arasını dolduran karbonat dolgu gözlenmektedir (Şekil 3.2e). Kumtaşı; vesiküler – mikrogranüler porfirik dokulu, kuvars ve plajiyoklazca zengin olup, farklı köken ve boyutlarda kayaç parçacıkları içermektedir (Şekil 3.2f). Kireçtaşı-3 örneğinde, bol miktarda foraminifer fosil parçaları ve bu parçalar arasında karbonat dolgu ve boşluklar görülmektedir (Şekil 3.2g). Mermer, kristoblastik dokulu ve tamamen kalsit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.2h). Granit; kuvars, plajiyoklaz, amfibol, biyotit ve ortoklaz içermektedir (Şekil 3.2i). Alçıtaşı örneğinin tamamı kalsiyum sülfattan oluşmaktadır (Şekil 3.2j). Bazanit; hiyalo-mikrogranüler porfirik, hiyalo porfirik dokulu olup, volkan camı, plajiyoklaz, lösit, olivin ve ojit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.2k). Andezitik tüf; çoğunlukla volkan camı, eser miktarda bazaltik kayaç ve kristal (ojit ve plajiyoklaz) parçalarından oluşmaktadır (Şekil 3.2l).

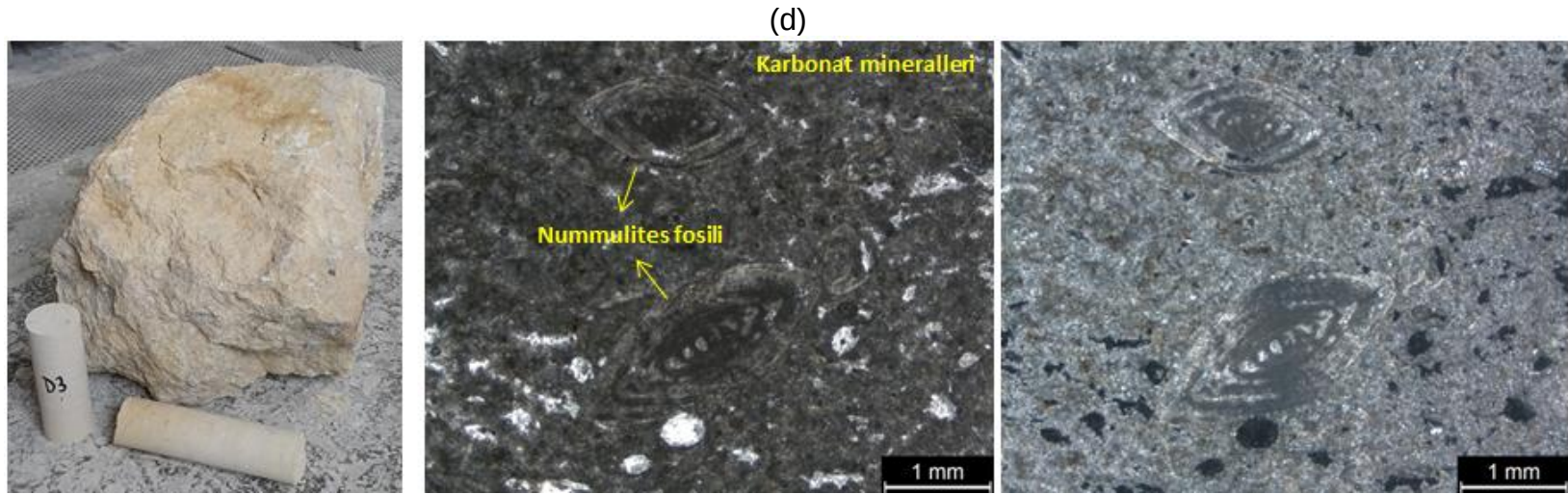
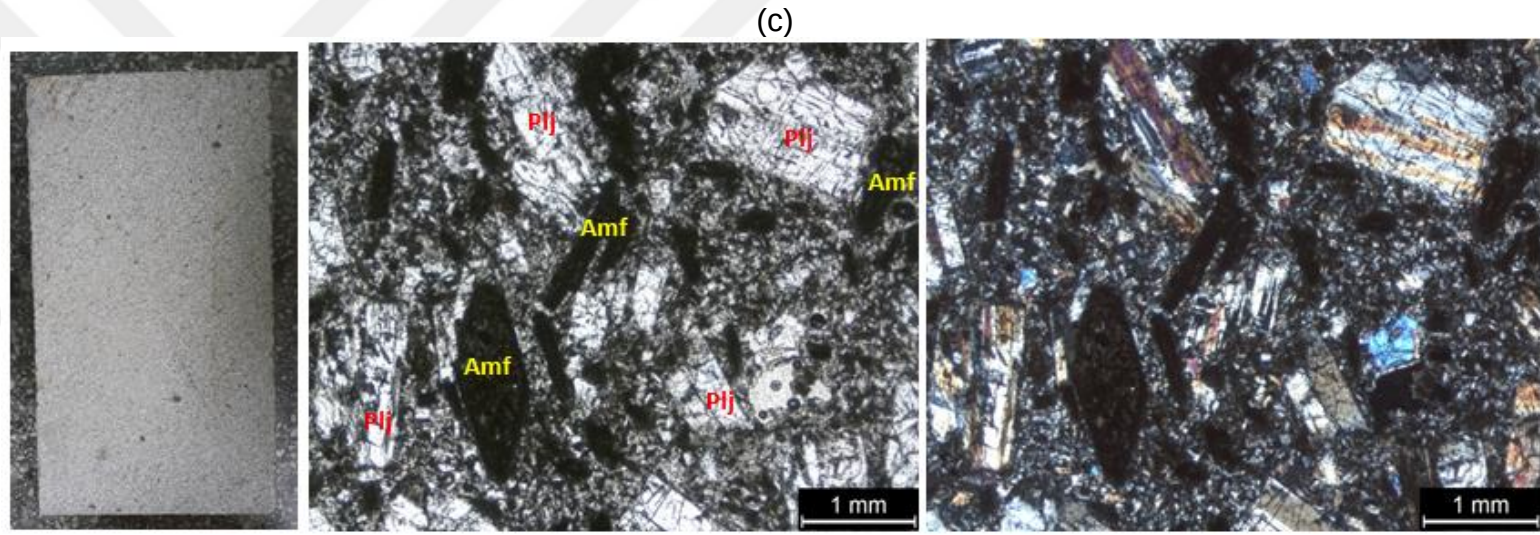
(a)



(b)

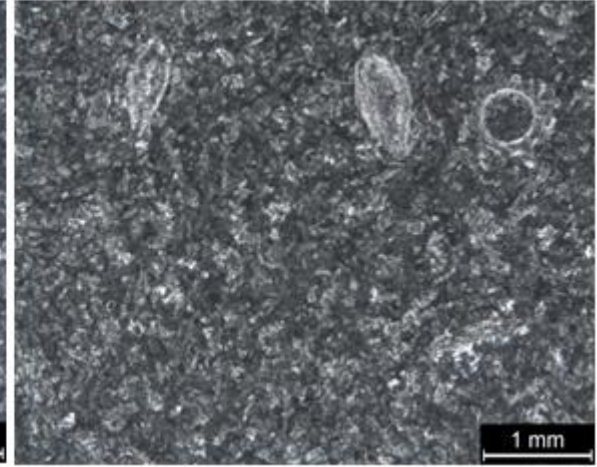


Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan örneklerin makro ve ince kesit (tek ve çift nikol) görüntüleri: (a) Bazalt, (b) Traki bazalt andezit, (c) Andezit, (d) Kireçtaşı-1, (e) Kireçtaşı-2, (f) Kumtaşı, (g) Kireçtaşı-3, (h) Mermer, (ı) Granit, (j) Alçıtaşı, (k) Bazanit, (l) Andezitik tüf. (Amf: Amfibol, Bio: Biyotit, Cam: Volkan camı, Cpx: Klinopyroksen, Plj: Plajiyoklaz, Px: Piroksen, Q: kuvars, Or: Ortoklaz)

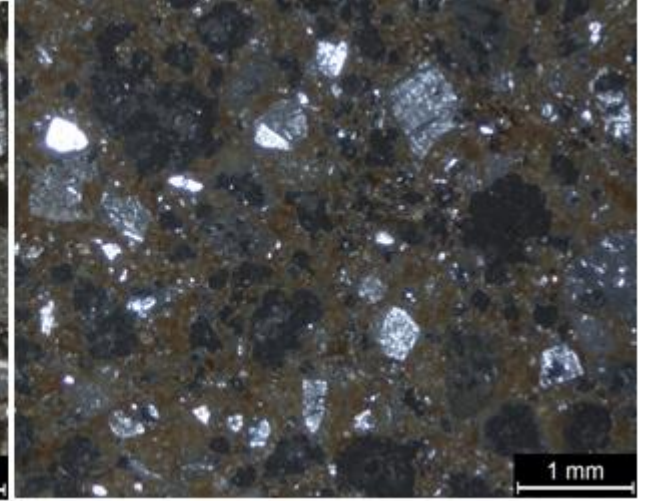
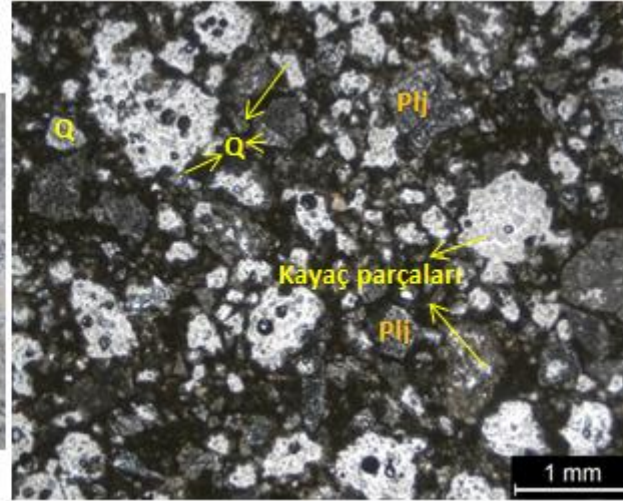


Şekil 3.2. (devam ediyor)

(e)

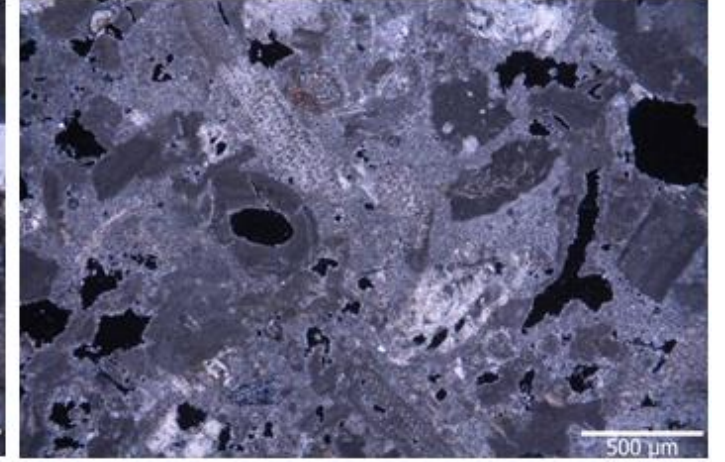
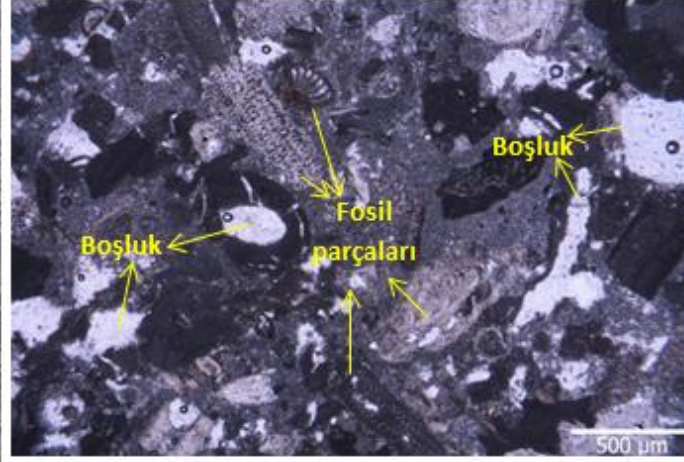


(f)

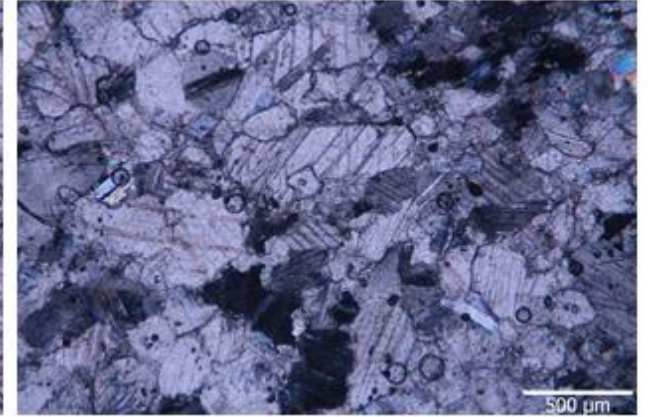
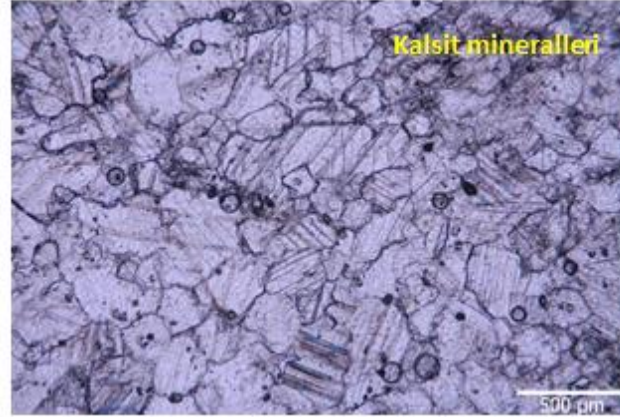


Şekil 3.2. (devam ediyor)

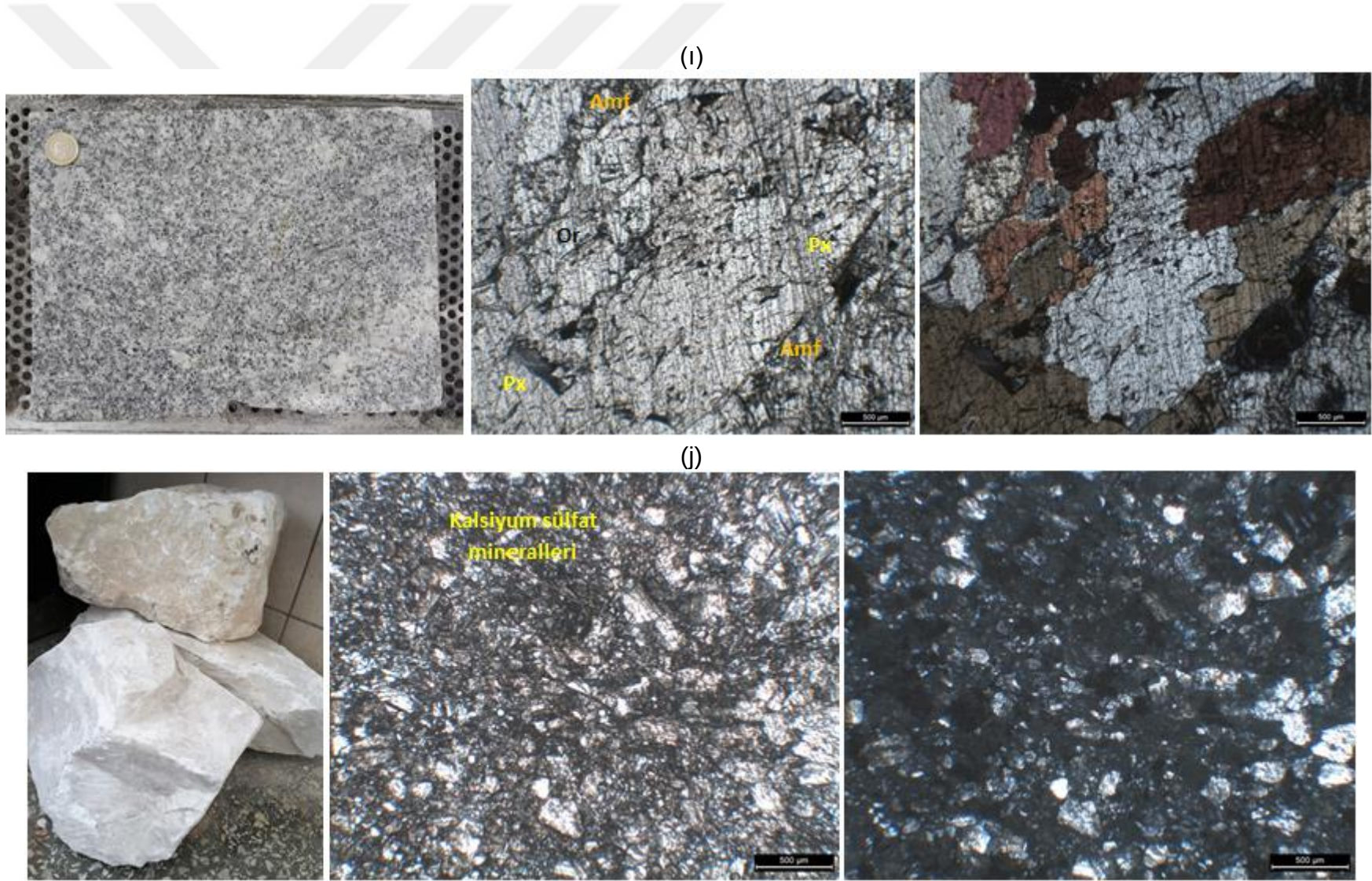
(g)



(h)

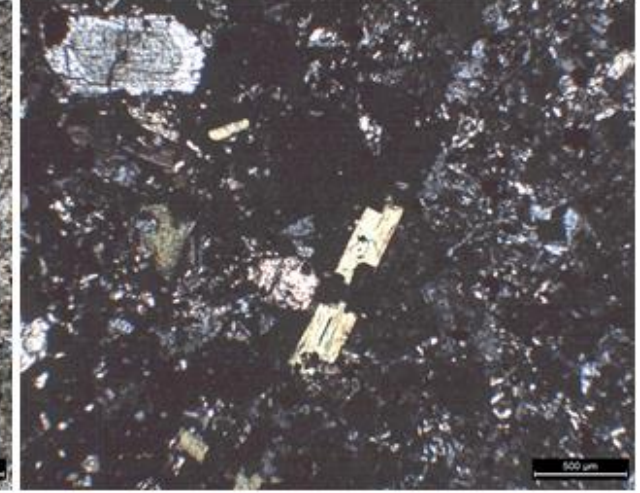
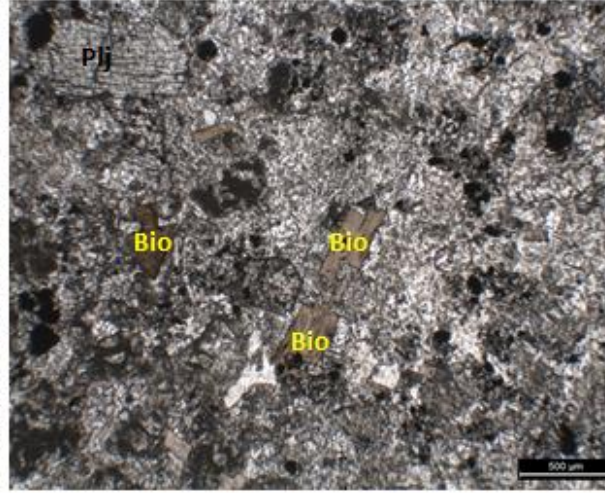


Şekil 3.2. (devam ediyor)

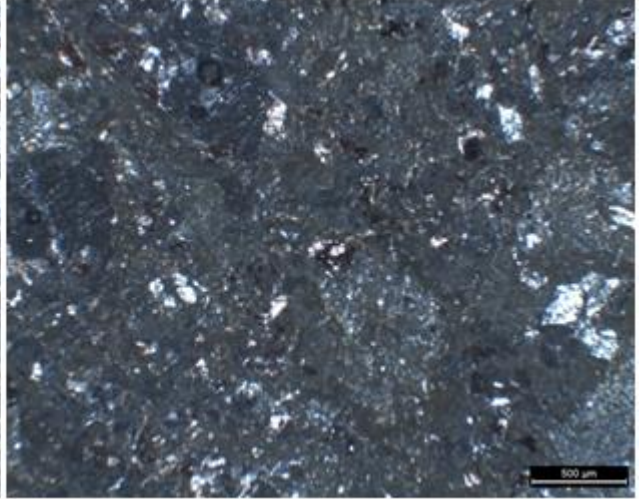
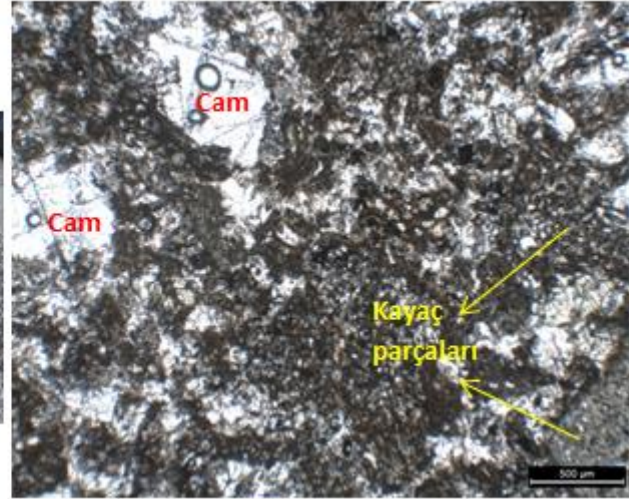


Şekil 3.2. (devam ediyor)

(k)



(l)



Şekil 3.2. (devam ediyor)

4. ÖRNEK HAZIRLAMA VE LABORATUVAR DENEYLERİ

Kaya mekaniği deneylerinde farklı karot çapları kullanıldığı dikkate alınarak, bu çalışmada temin edilen bloklardan NX (54.7 mm), NQ (47.6 mm) ve BX (42 mm) çaplarında örnekler hazırlanmıştır. 12 kaya türüne ait bloklardan çalışmanın amacına uygun olacak şekilde;

(a) Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde kullanılacak olan silindirik örnekler ve nokta yükü dayanım indeksi deneyinde kullanılmak üzere hem silindirik hem de yarılanmış örnekler hazırlanmıştır.

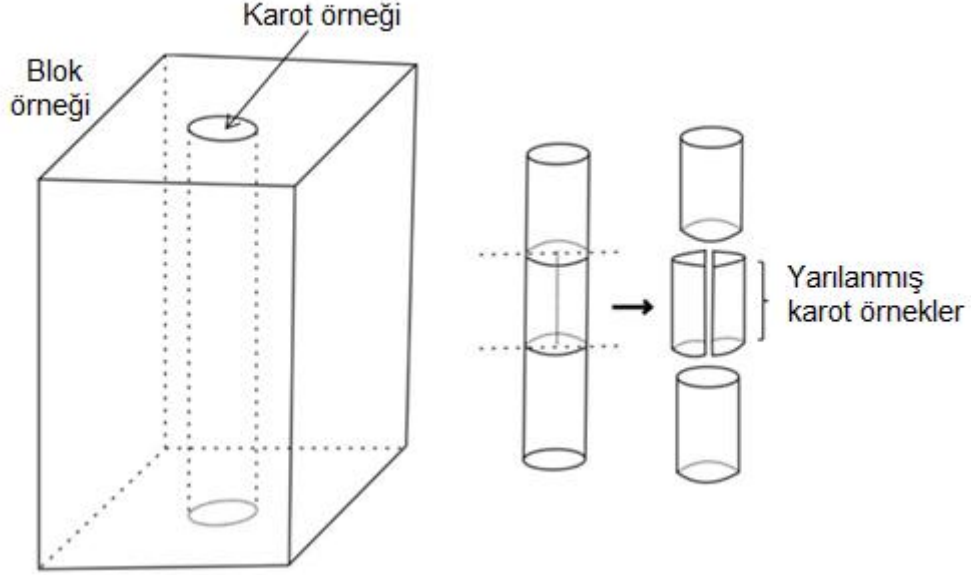
(b) Hazırlanan örnekler karot alma, kesme ve yarılama işlemleri sırasında ıslanma nedeniyle, aynı nem koşulları altında deneye tabi tutulmalarını sağlamak amacıyla oda sıcaklığında ($\sim 21^{\circ}\text{C}$) kurutulmuş ve birim hacim ağırlıkları tayin edilmiştir.

(c) Hazırlanan örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve nokta yükü dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır.

4.1. Örnek Hazırlama ve Nokta Yükü Dayanım İndeksi Deneyleri

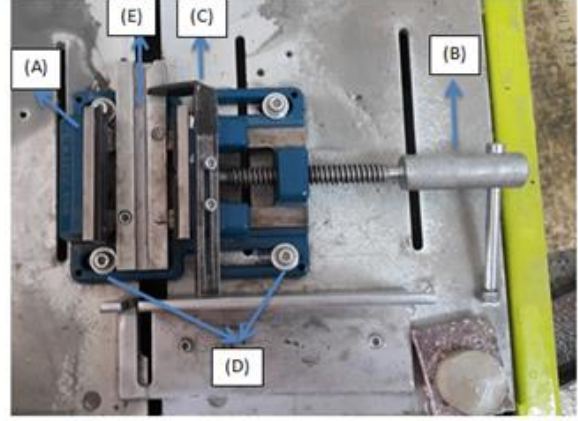
Silindirik ve yarılanmış karotlar üzerinde yapılacak olan nokta yükü dayanım indeksi deneylerinden elde edilecek sonuçların karşılaştırılması amacıyla, Şekil 4.1’de gösterildiği şekilde, silindirik örnekler yarılanacak örneklerin alt ve üst kısımlardan kesilerek hazırlanmıştır. ISRM [3] tarafından önerilen yöntem esas alınarak nokta yükü dayanım indeksi deneyinde kullanılacak olan NX, NQ ve BX çaplarındaki silindirik örnekler için L/D oranı 1 ile 1.4 arasında olacak şekilde kesme işlemleri yapılmıştır. Böylece, NX karot çapından 6’şar cm, NQ karot çapından 5.5’ar cm ve BX karot çapından 5’er cm olmak üzere, her bir karottan 3’er adet örnek alınmıştır. Kaya türlerinden her bir farklı çap (NX, NQ, BX) için en az 5 karot alınması halinde, 10 adet silindirik ve 10 adet yarılanmış örnek elde edilmektedir. Daha önce nokta yükü dayanım indeksiyle ilgili olarak yarılanmış örnekler üzerinde herhangi bir çalışmanın yapılmamış olması nedeniyle, bununla ilgili herhangi bir uluslararası standart veya önerilmiş yöntem de bulunmamaktadır. Bu nedenle yarılanmış karotların hazırlanacağı örnekler silindirik örnekler arasından seçilmiş olup, karot kesme makinesiyle ortadan kesilerek elde

edilmişlerdir. Daha düzenli geometriye sahip olan ve bozunmanın olmadığı bloklarda oldukça yüksek karot verimleriyle örnek hazırlanmıştır.



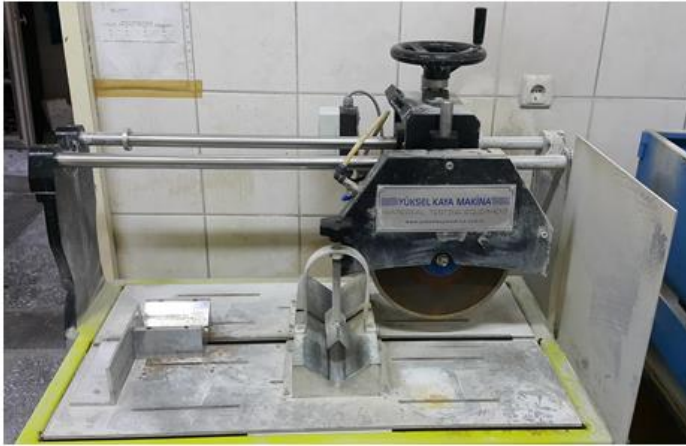
Şekil 4.1. Düzenli geometriye sahip blok örneklerden karot alınması ve bir karottan iki adet silindirik ve iki adet yarılanmış örneklerin hazırlanması aşamasında izlenen yöntemin şematik gösterimi.

Farklı çaplardaki silindirik karotların tam ortadan kesilmesini sağlamak amacıyla bir tarafı sabit diğer tarafı karotların yerleştirilmesi için genişletilip daraltılabilen mengene koluyla hareketlendirilmiş, karot boyuna göre ayarlanabilen karot tutucu metal ve dört köşesi vidalarla karot kesme makinesinin tablasına sabitlenmiş bir düzenek tasarlanıp sanayide yaptırılarak karot kesme makinesine monte edilmiştir (Şekil 4.2). Ancak bu mengene düzeneği kullanılarak küçük çaplardaki NQ ve BX örneklerinin tam ortadan yarılanamaması nedeniyle bu düzenek yerine tüm çapların tam ortadan yarılanmasını sağlamak amacıyla; iç açısı 90° , paslanmaz çelikten imal edilmiş bir V-kanal karot kesme makinesinin tablasına monte edilmiştir (Şekil 4.3). Farklı çaplara sahip silindirik karot örnekleri V kanala yerleştirilerek ve tam ortadan kesilerek yarılanmış örnekler elde edilmiştir. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, yarılanmış örneklerin altta kalan kısmı 'yarılanmış alt örnekler', üstte kalan kısmı ise 'yarılanmış üst örnekler' olarak adlandırılmıştır.

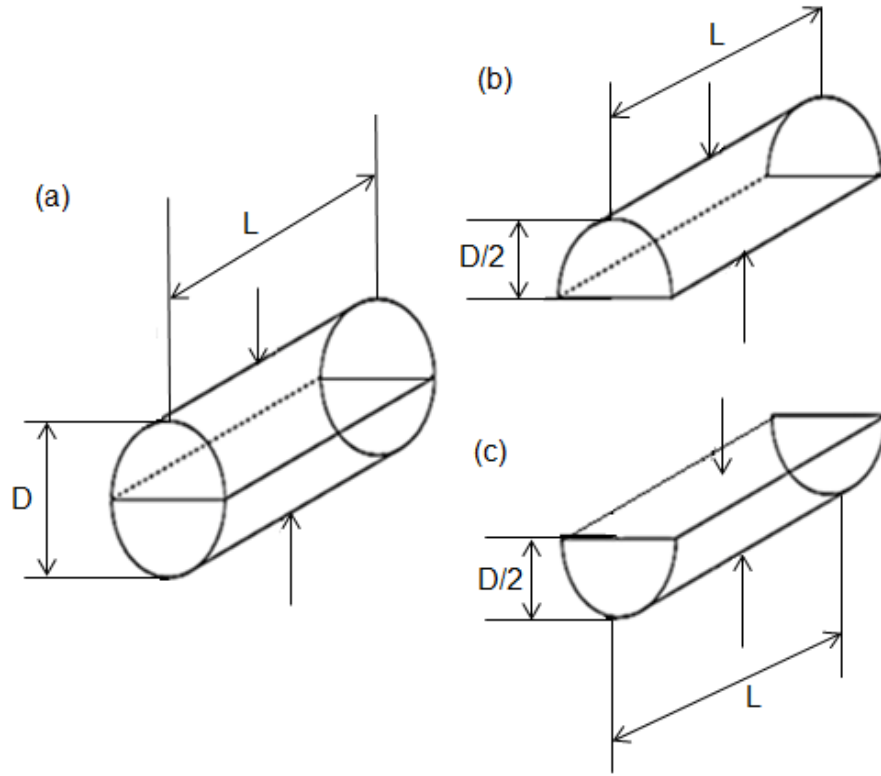


- (A) : Sabitlenmiş taraf
 (B) : Mengene koluyla hareketlendirilmiş taraf
 (C) : Karot tutkacı
 (D) : Kesme tablasına sabitlenmiş vidalar
 (E) : Kesme bıçağının geçtiği oluk

Şekil 4.2. Taş kesme makinesine monte edilmiş mengeneli düzenek.

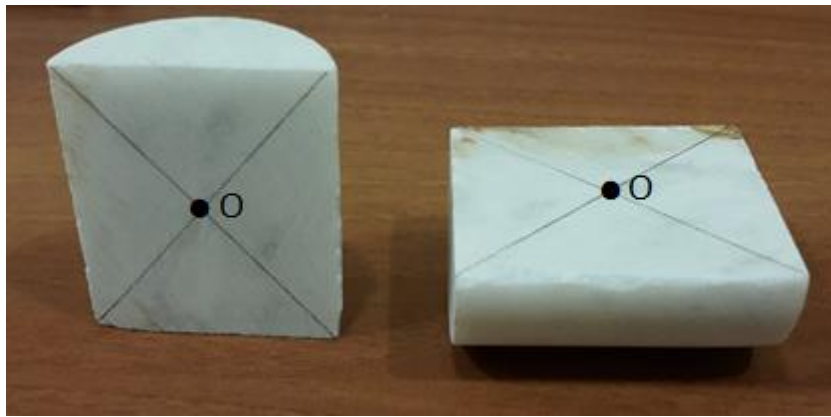


Şekil 4.3. Taş kesme makinesine monte edilmiş V-kanalın genel ve yakından görünümü.



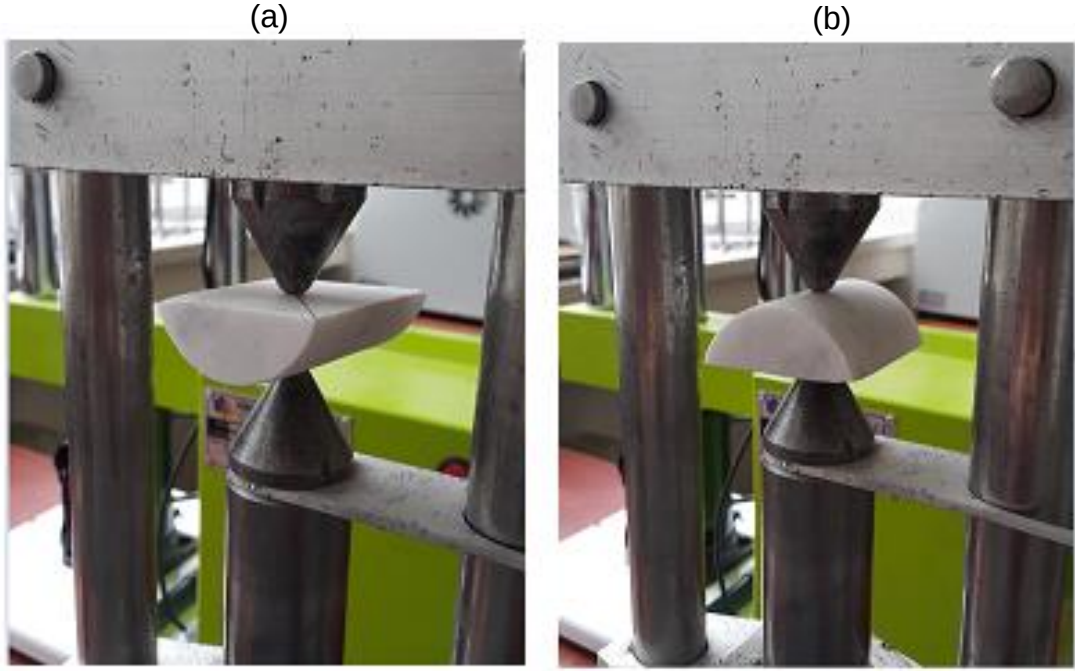
Şekil 4.4. Nokta yükleme deney aletinde kullanılacak olan (a) silindirik örnek, (b) yarılanmış üst örnek, (c) yarılanmış alt örnek.

Hazırlanmış olan yarılanmış örneklerin düz yüzeylerine köşegenler çizilmiştir (Şekil 4.5). Köşegen çizilmesindeki ilk amaç, nokta yükleme aletinin örneğin konik uçlarının tam ortasına konulmasını sağlamak, ikinci amaç ise köşegenlerin kesişme noktasının (Şekil 4.5, O noktası) dışından geçen yenilme yüzeylerinin belirlenmesini sağlamaktır. Eğer bu kesişme noktasının dışında bir yenilme yüzeyi geçmişse, bu deneyin yenilme yüzeyi her iki konik ucun arasından geçmediği gerekçesiyle deney sonucu geçersiz sayılacaktır.



Şekil 4.5. Yarılanmış örneklerin düz yüzeylerine çizilen köşegenler.

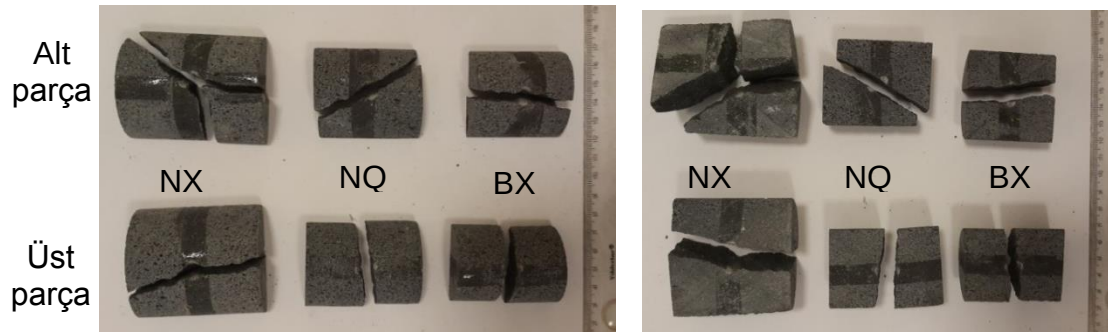
Bu deneyler, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarı'nda bulunan nokta yükü dayanım indeksi deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Silindirik örnekler çapsal deney, yarılanmış örnekler ise alt ve üst örnekler olarak, Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 2 farklı konumda yerleştirilerek deneyler yapılmıştır.



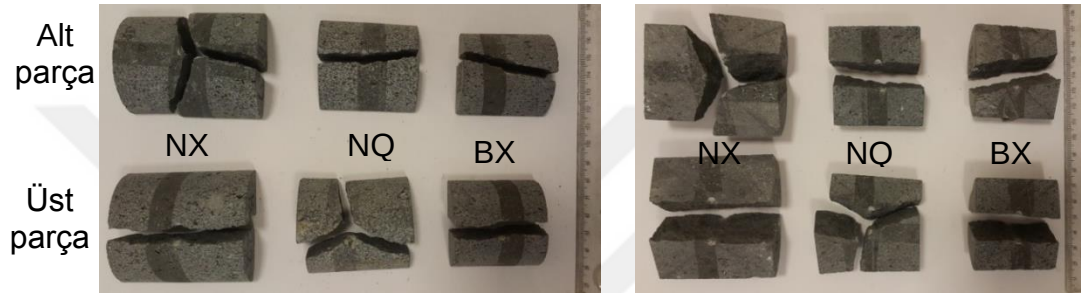
Şekil 4.6. Yarılanmış karotların (a) alt ve (b) üst örnekler olarak nokta yükleme aletine yerleştirilmesi.

Deneyde kullanılan tüm örnekler 10-60 saniye arasında yenilmiş olup, yenilme yüzeyleri nokta yükleme aletinin her iki konik ucu arasından geçmektedir. 12 kaya türüne ait yarılanmış örneklerin alt ve üst parçalarında gelişen yenilme yüzeylerinin üstten görünümü Şekil 4.7'de verilmiştir. Yenilme yüzeyleri incelendiğinde; örnekler 2 ya da 3 parçaya bölünmüşlerdir. Ancak deneyler sonucunda 2 parçaya bölünen örneklerden bazıları deneye bağlı olmayan nedenlerle (yenilme anında sağa sola hareket ederek duvara ya da zemine çarpma) 4 parçaya ayrılmışlardır.

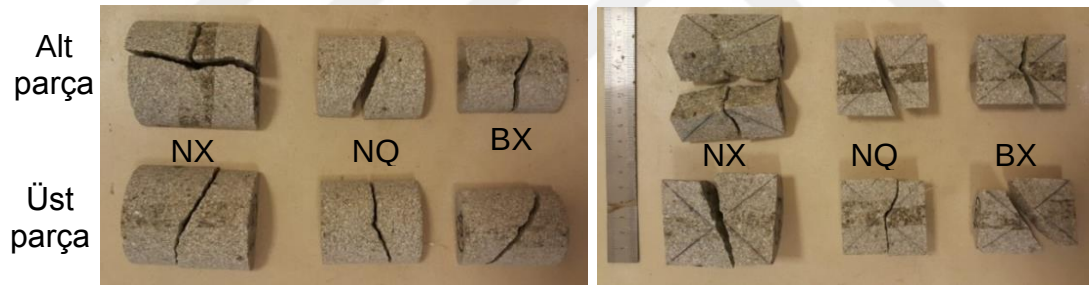
(a)



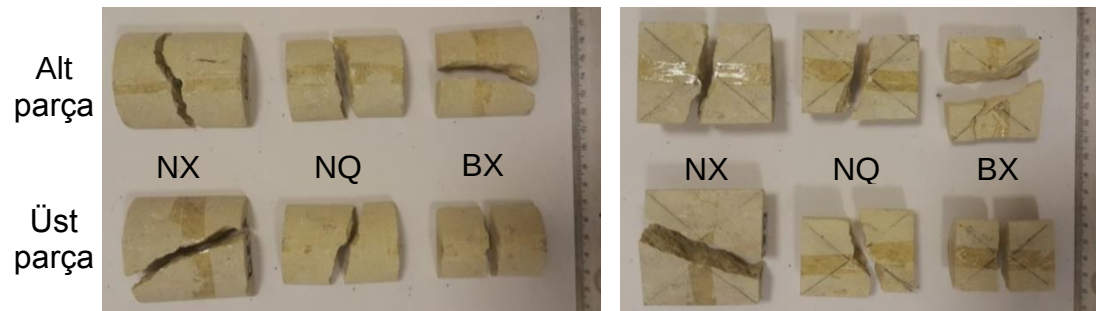
(b)



(c)

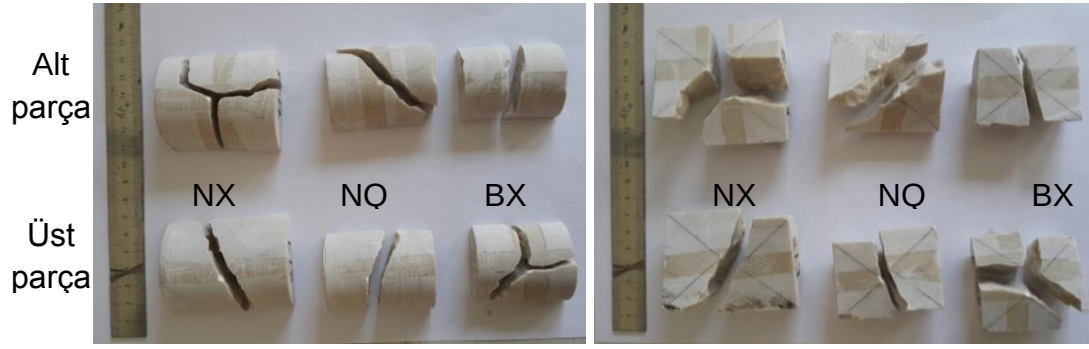


(d)

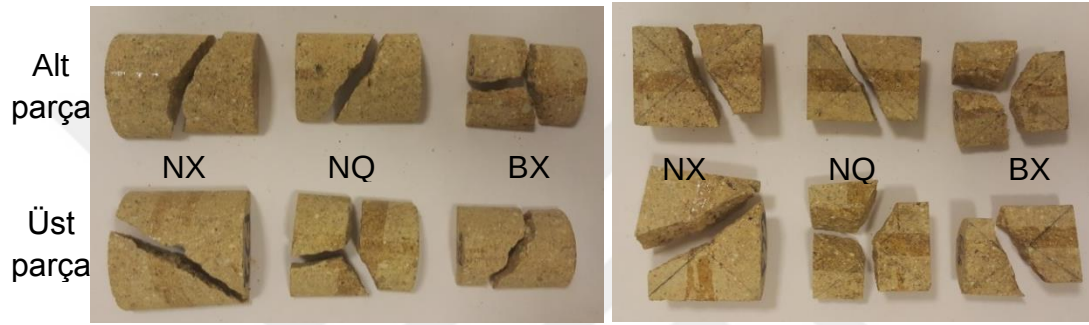


Şekil 4.7. Yarılanmış (a) bazalt, (b) traki bazalt andezit, (c) andezit, (d) kireçtaşı-1, (e) kireçtaşı-2, (g) kireçtaşı- 3, (h) mermer, (ı) granit, (j) alçıtaşı, (k) bazanit ve (l) andezitik tuf örneklerine ait yenilme yüzeylerinin üstten görünümü.

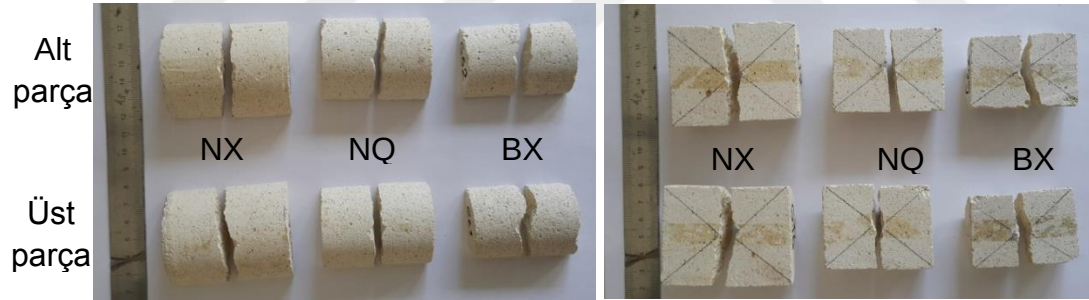
(e)



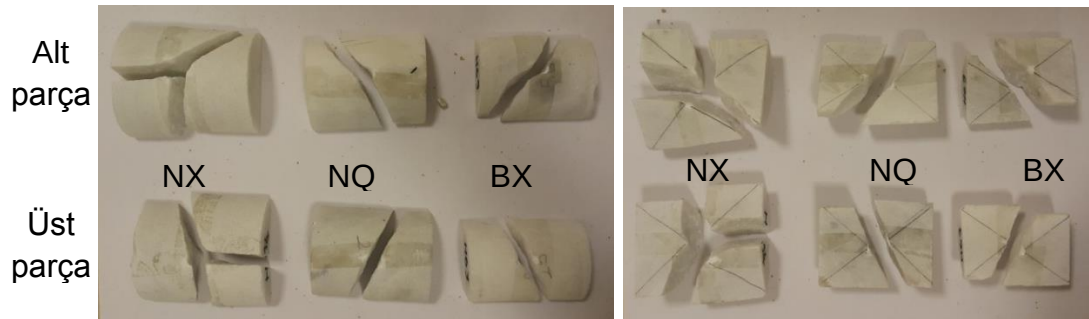
(f)



(g)

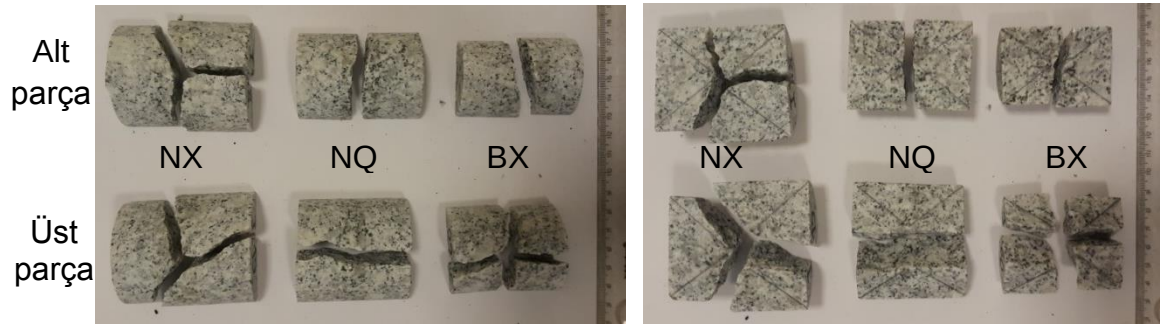


(h)

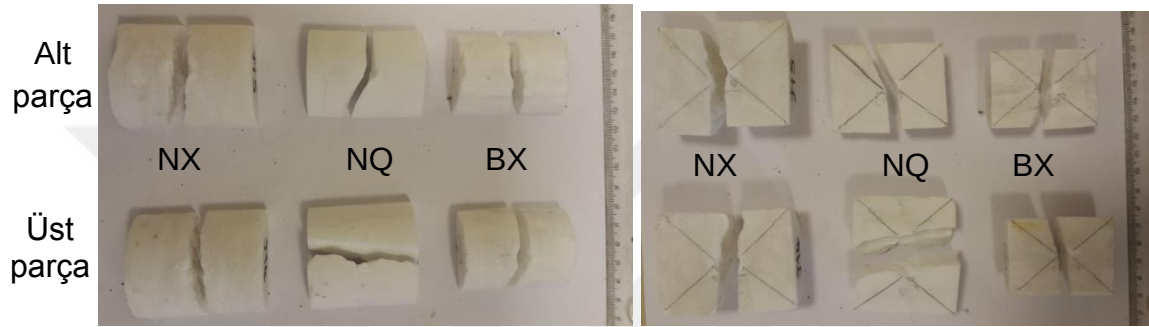


Şekil 4.7. (devam ediyor)

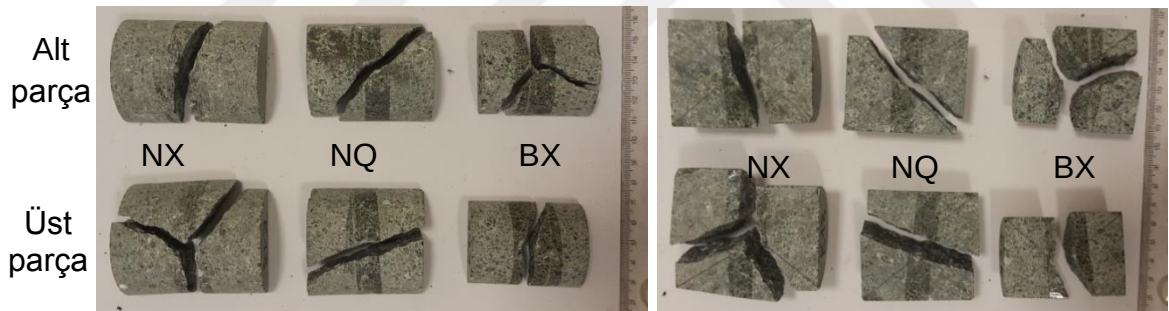
(i)



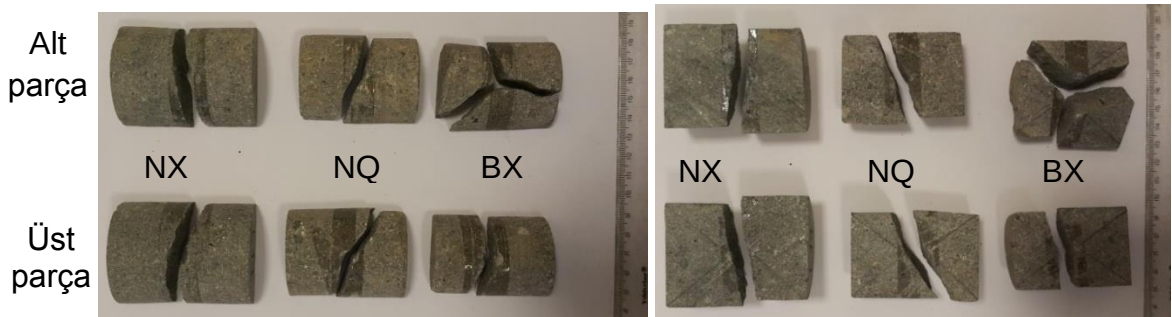
(i)



(k)



(l)



Şekil 4.7. (devam ediyor)

Toplam 376 adet (Çizelge 4.1) silindirik örnek üzerinde çapsal deney yapılmış olup, ISRM [3]'nin önerdiği yöntem izlenerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Yarılanmış örneklerin hesaplama yöntemi aşağıda aşamalar halinde verilmiştir.

1. İki konik uç arasındaki kesit alanı (yarım dairenin alanı) $A = \pi r^2 / 2$ 'dir.
2. Nokta yükleme deneyinde düzensiz şekilli örnekler için kullanılan hesaplama yönteminde eşdeğer karot çapı eşitliğinde ($D_e^2 = 4A/\pi$), alan yerine $\pi r^2 / 2$ yazıldığında $D_e^2 = 2r^2$ 'dir.
3. Yarılanmış örnekler için nokta yükü dayanım indeksi deneyinden elde edilen yükün (P) eşdeğer karot çapının karesine bölünmesiyle yarılanmış örneğin nokta yükü dayanım indeksi (I_{sHS}) hesaplanır.

$$I_{sHS} = \frac{P}{D_e^2} = \frac{P}{2r^2} \quad (4.1)$$

Deneye ait istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Ancak; kireçtaşı – 2 adlı E16 no.lu NX çaplı yarılanmış alt örnek, yenilme yüzeyinin her iki konik uç arasından geçmesine rağmen 0-1 MPa arasında çok düşük dayanım vermiştir. Deney sonucu diğer 4 örnekle (E14, E18, E20, E22) uyumsuz olması nedeniyle yalnızca bu örneğin deney sonucu geçersiz sayılmıştır. Bu belirlemeleri esas alan deneylere ait sonuçlar EK 1 ve Ek 2'de verilmiştir.

4.2. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi yapılmış olan silindirik ve yarılanmış karot örneklerin dolaylı yoldan tek eksenli sıkışma dayanımlarının tahmininde kullanılmak üzere tek eksenli sıkışma dayanım deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi için ISRM [2, 3]'ye göre boy/çap oranı (L/D) 2.5-3.0 arasında değişen NX (54.7 mm), NQ (47.6 mm) ve BX (42 mm) çaplarda karot örnekleri hazırlanmıştır. Örneklerin alt ve üst yüzey paralelliğinin ISRM [2, 3]'teki önerilere uygun olması amacıyla paralellik sağlama aletiyle gerekli işlemler yapılmıştır. Her farklı çap için 3 ile 6 adet arasında karot hazırlanmış olup, tüm kaya türlerinden toplamda 134 adet örnek elde edilmiştir (bkz. Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çalışmada incelenen kayaç türleri için farklı çapa sahip örneklerin sayıca deneylere göre dağılımı.

Kaya Türü	Tek eksenli sıkışma dayanımı				Tam karotlarda nokta yükü dayanım indeksi deneyi (Çapsal deney)				Yarılanmış karotlarda nokta yükü dayanım indeksi deneyi						
	Çap				Çap				Yarıçap						
	NX	NQ	BX	Toplam	NX	NQ	BX	Toplam	NX		NQ		BX		Toplam
									Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	
Bazalt	4	3	3	10	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Traki Bazalt Andezit	3	3	4	10	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Andezit	6	3	3	12	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Kireçtaşı-1	6	3	3	12	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Kireçtaşı-2	6	3	3	12	10	10	10	30	4	5	5	5	5	5	29
Kumtaşı	3	3	3	9	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Kireçtaşı-3	3	3	3	9	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Mermer	3	3	3	9	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
Granit	4	5	3	12	10	12	12	34	5	5	6	6	6	6	34
Alçıtaşı	5	4	3	12	12	14	10	36	6	6	7	7	5	5	36
Bazanit	4	6	4	14	12	12	12	36	6	6	6	6	6	6	36
Andezitik Tüf	5	4	4	13	10	10	10	30	5	5	5	5	5	5	30
				134					376						376

Çizelge 4.2. İncelenen kaya türlerinin birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirmeler.

Örnek No.	Birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)				Tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_c (MPa)				Nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ (MPa)				Yarılanmış karotlarda nokta yükü dayanım indeksi, I_{SHS} (MPa)							
													Yarılanmış Alt Örnekler				Yarılanmış Üst Örnekler			
	En Küçük	En Büyük	Ort.	St. Sapma	En Küçük	En Büyük	Ort.	St. Sapma	En Küçük	En Büyük	Ort.	St. Sapma	En Küçük	En Büyük	Ort.	St. Sapma	En Küçük	En Büyük	Ort.	St. Sapma
Bazalt	19.98	21.18	20.46	0.34	73.84	95.13	84.44	5.41	7.47	10.38	8.39	0.64	7.75	10.63	8.66	0.79	7.40	10.63	8.62	0.79
Traki bazalt andezit	20.87	22.55	21.72	0.52	83.34	99.16	93.15	4.52	7.39	9.26	8.20	0.48	7.06	9.02	8.19	0.54	7.34	9.02	8.28	0.54
Andezit	22.54	23.61	23.28	0.18	52.66	78.84	66.81	8.53	3.92	6.12	4.90	0.56	3.70	5.92	5.07	0.60	3.70	6.38	4.98	0.61
Kireçtaşı-1	18.46	23.37	20.80	1.51	14.76	26.87	19.26	3.22	1.13	3.16	1.99	0.44	1.55	3.02	2.08	0.37	1.48	2.84	2.11	0.38
Kireçtaşı-2	25.79	27.10	26.24	0.26	58.90	75.07	66.77	4.87	3.94	6.05	4.95	0.55	3.46	6.38	4.87	0.76	3.84	6.25	5.08	0.74
Kumtaşı	15.41	19.34	16.49	1.04	22.82	37.32	27.44	4.80	2.11	4.06	2.98	0.40	2.38	3.79	3.09	0.45	2.40	4.13	3.08	0.45
Kireçtaşı -3	20.97	21.75	21.34	0.24	23.80	36.69	32.27	4.09	1.59	3.07	2.33	0.34	2.58	3.81	3.07	0.38	2.49	3.57	3.00	0.32
Mermer	26.30	27.25	26.70	0.26	60.19	91.18	77.83	9.34	2.88	5.81	4.22	0.71	3.70	6.94	5.18	0.90	3.70	6.25	5.12	0.70
Granit	25.56	26.04	25.77	0.11	89.79	144.33	111.04	17.01	6.58	9.72	7.82	0.77	7.10	9.30	8.37	0.64	6.50	10.82	8.64	1.19
Alçıtaşı	21.12	22.53	22.03	0.29	14.33	20.79	16.98	1.90	1.04	2.10	1.54	0.37	1.07	2.39	1.63	0.38	1.13	2.25	1.64	0.30
Bazanit	24.83	26.17	25.40	0.28	80.64	121.44	99.33	14.21	4.26	9.18	7.17	0.93	6.79	10.00	8.01	1.11	6.41	9.57	7.99	0.93
Andezitik tüf	20.37	21.64	21.16	0.26	37.77	54.04	46.12	6.04	1.96	3.14	2.52	0.29	2.57	5.25	3.93	0.64	2.57	5.17	3.97	0.75

Bu örnekler üzerinde Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarı'nda bulunan 500 kN yükleme kapasiteli ve otomatik hız kontrollü hidrolik pres kullanılarak tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları EK 3'te, deney sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirmeler ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

4.3. Birim Hacim Ağırlık Tayinleri

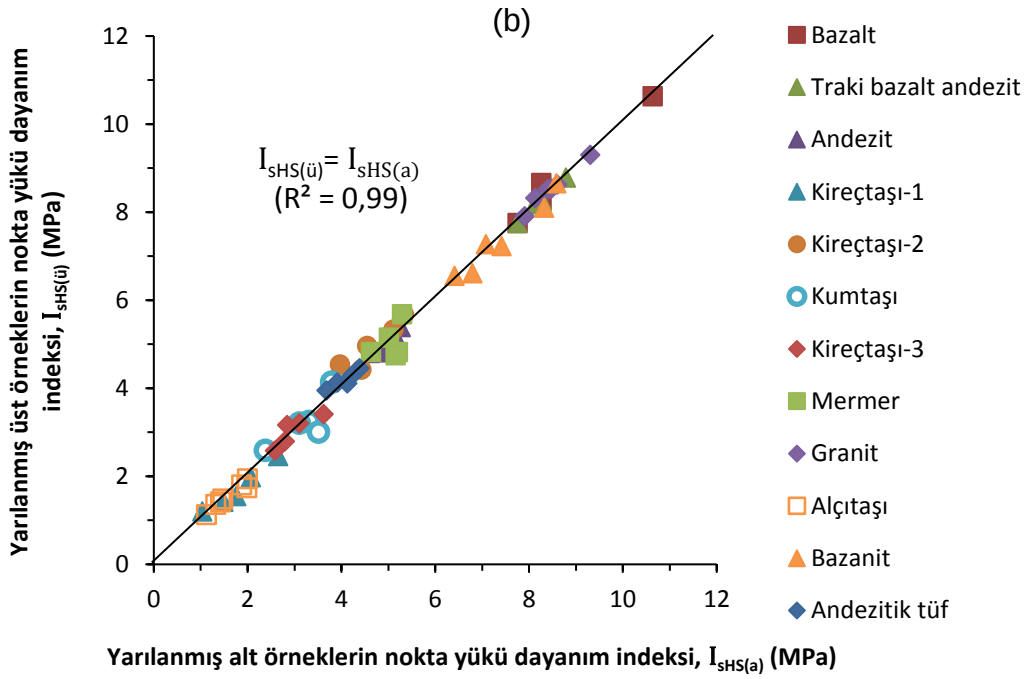
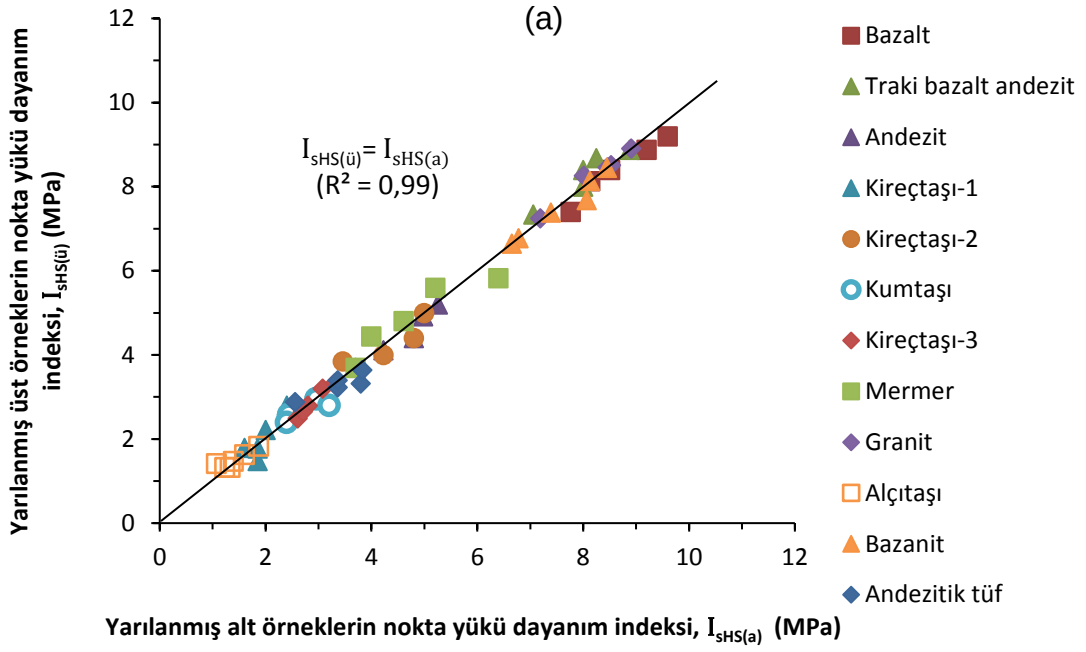
Tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükü dayanım indeksi deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmış olan tüm örnekler üzerinde ISRM [2, 3] tarafından önerilen kompas yöntemiyle çap boy ölçümlerinin ve tartılarak ağırlıklarının belirlenmesiyle birim hacim ağırlıkları tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ek 4'te, sonuçların istatistiksel değerlendirmeleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

5. YARILANMIŞ ÖRNEKLERDE NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİNİN TAYİNİ VE UCS'NİN TAHMİNİ

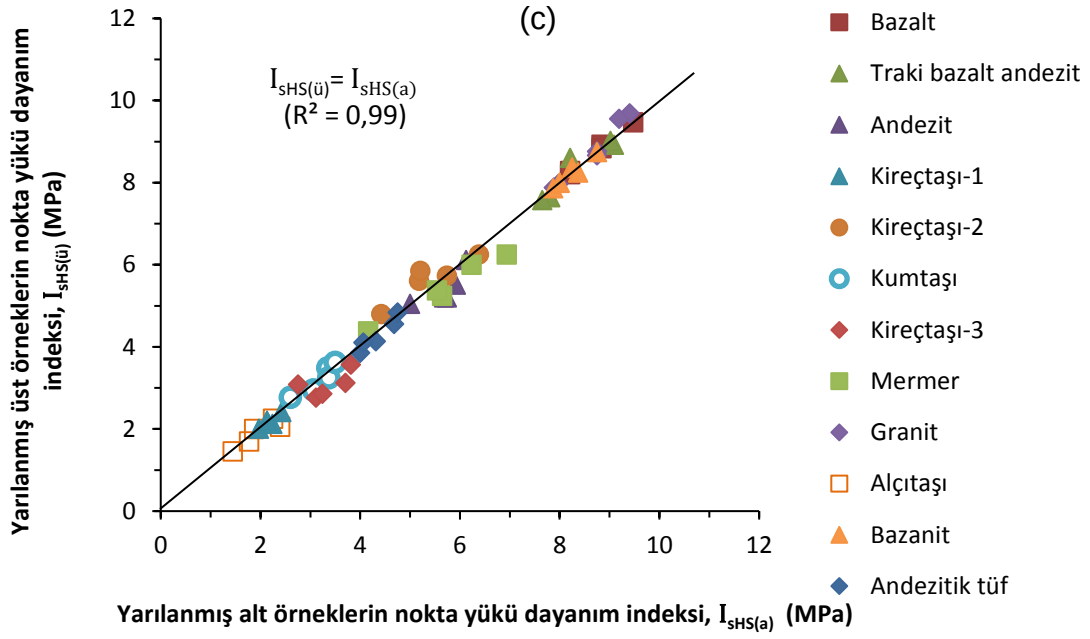
Bu bölümde; önceki bölümde değinilen deneylerden elde edilen sonuçlar esas alınarak ve istatistiksel yöntemlerden yararlanılarak, aşağıdaki alt bölümlerde belirtilen hususlar değerlendirilmiş ve bunlara yönelik eşitlikler önerilmiştir. Elde edilen eşitliklerin deneysel sonuçları tahmin etme kapasitesinin test edilmesi amacıyla çapraz korelasyonların yanı sıra, eşitlikler üzerinden yüzdece hata ve standart sapma değerleri belirlenmiş, F- ve t- testleri de yapılmıştır.

5.1. Yarılanmış Örneklerle Ait Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

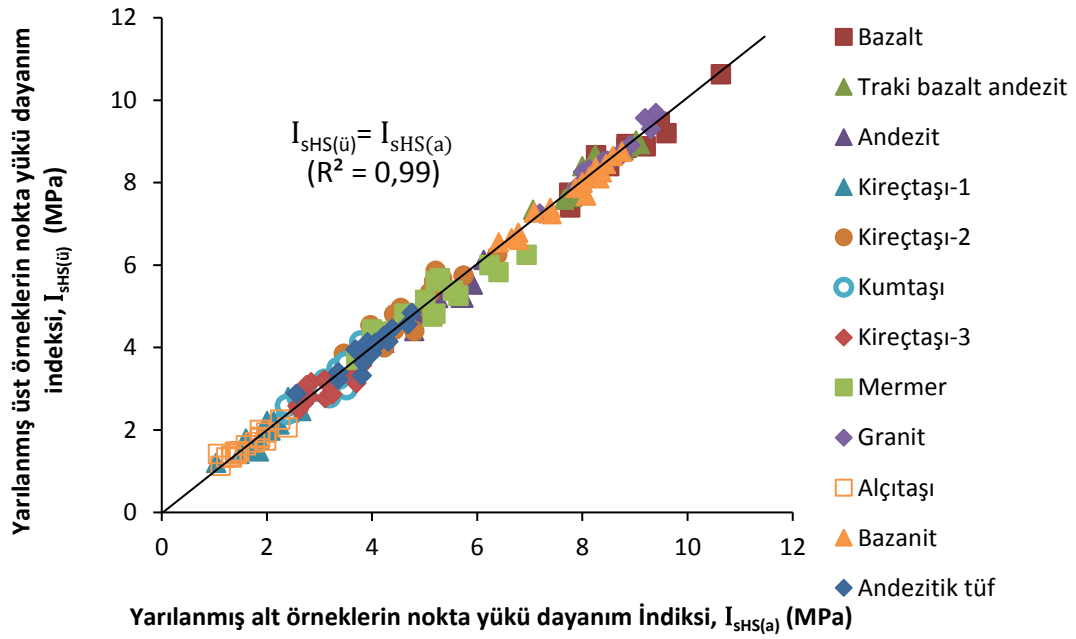
Tez kapsamında; çalışmanın amacına uygun olacak şekilde yarılanmış karot örnekleri üzerinde nokta yükü dayanım indeksi (I_{sHS}) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yarılanmış alt ve üst örneklerle ait nokta yükü dayanım indeksi değerlerinin ($I_{sHS(a)}$ ve $I_{sHS(ü)}$) birbirine çok yakın ve hatta bazılarının birbiriyle aynı oldukları anlaşılmaktadır (Ek-2). Bu nedenle yarılanmış alt ve üst örneklerde yapılan deneylerin sonuçları birbirleriyle ilişkilendirilmiş olup, başta her yarıçap için (NX, NQ ve BX' in yarılanmasıyla) ayrı ayrı (Şekil 5.1), daha sonra yarıçap farkı gözetilmeksizin tüm sonuçlar birlikte kullanılıp (Şekil 5.2) basit regresyon analizleri yapılarak ilgili karşılaştırmalar için grafikler çizilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafiklerden, yarılanmış alt ve üst örneklerle ait değerlerin birbirlerine eşit oldukları veya aralarında ihmal edilebilir düzeyde fark bulunduğu ve bunlar arasındaki ilişkinin kuvvetini ifade eden belirleme ve korelasyon katsayılarının son derece yüksek ($R^2= 0,99$; $r \approx 1$) olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, bundan sonraki istatistiksel değerlendirmelerde ve karşılaştırmalarda alt ve üst yarılanmış karot ayrımı yapılmadan, alt ve üst örneklerle ait I_{sHS} değerlerinin ortalamasının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu sonuca göre; yarılanmış karotlar üzerinde nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yapılmasında alt veya üst karotlardan herhangi birinin (her iki parçadan hangisi olduğuna bakılmaksızın) kullanılmasının sonucu etkilemeyeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.1. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplı örneklerin yarılanmasıyla elde edilen alt ve üst örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.1. (devam ediyor)



Şekil 5.2. Yarılanmış alt ve üst örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin örnek yarıçapına bakılmaksızın karşılaştırılması.

5.2. Silindirik ve Yarılanmış Örneklerden Elde Edilen Sonuçlar ($I_{s(50)} - I_{sHS}$) Arasındaki İlişkiler

Nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yapıldığı yarılanmış örneklerle, silindirik karot örneklerinde tayin edilen nokta yükü dayanım indeksi değerlerinin ilişkilendirilmesi amacıyla istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Başta her kaya türü her farklı çap ve yarıçap için ayrı ayrı, daha sonra kaya türü ayrılmaksızın tüm örnekler için her çap ve yarıçapa ait deney sonuçları basit regresyon analizlerine tabi tutularak bunlar arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Söz konusu ilişkilerin araştırılmasında farklı fonksiyonlar (doğrusal, geometrik, logaritmik, eksponansiyel) denenmiştir. Çizelge 5.1’de dört farklı istatistiksel fonksiyon için veriler hesaplanmış korelasyon katsayılarına (r) göre, veri dağılımının en iyi doğrusal ilişkiyle temsil edildiği ve bunu eksponansiyel ilişkinin izlediği anlaşılmaktadır. Bu belirleme dikkate alınarak sadece doğrusal regresyona uygun şekilde belirlenmiş $I_{s(50)}$ ile I_{sHS} grafikleri Şekil 5.3- 5.15’te NX, NQ ve BX çaplı tam ve yarılanmış örnekler için verilmiştir.

Çizelge 5.1. Farklı fonksiyonlar için NX, NQ ve BX çaplarına sahip silindirik karot örnekleri ile bu çaplardaki karotlardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin arasındaki ilişkiler.

Örnek	Çap	Doğrusal	Logaritmik	Geometrik	Eksponansiyel
Bazalt	NX	$I_{s(50)}=0,98I_{sHS}$ (r=0,97)	$I_{s(50)}=7,67\ln(I_{sHS})-8,04$ (r=0,96)	$I_{s(50)}=1,18I_{sHS}^{0,91}$ (r=0,97)	$I_{s(50)}=3,32e^{0,10I_{sHS}}$ (r=0,97)
	NQ	$I_{s(50)}=0,97I_{sHS}$ (r=0,91)	$I_{s(50)}=6,67\ln(I_{sHS})-5,93$ (r=0,90)	$I_{s(50)}=1,63I_{sHS}^{0,75}$ (r=0,91)	$I_{s(50)}=4,14e^{0,08I_{sHS}}$ (r=0,90)
	BX	$I_{s(50)}=0,95I_{sHS}$ (r=0,95)	$I_{s(50)}=7,08\ln(I_{sHS})-6,98$ (r=0,96)	$I_{s(50)}=1,32I_{sHS}^{0,84}$ (r=0,96)	$I_{s(50)}=3,59e^{0,09I_{sHS}}$ (r=0,96)
Traki bazalt andezit	NX	$I_{s(50)}=1,01I_{sHS}$ (r=0,91)	$I_{s(50)}=5,97\ln(I_{sHS})-4,26$ (r=0,90)	$I_{s(50)}=1,80I_{sHS}^{0,72}$ (r=0,91)	$I_{s(50)}=3,90e^{0,09I_{sHS}}$ (r=0,91)
	NQ	$I_{s(50)}=0,99I_{sHS}$ (r=0,97)	$I_{s(50)}=7,18\ln(x)-6,95$ (r=0,98)	$I_{s(50)}=1,27I_{sHS}^{0,88}$ (r=0,97)	$I_{s(50)}=3,40e^{0,10I_{sHS}}$ (r=0,97)
	BX	$I_{s(50)}=0,97I_{sHS}$ (r=0,97)	$I_{s(50)}=7,41\ln(I_{sHS})-7,57$ (r=0,96)	$I_{s(50)}=1,17I_{sHS}^{0,91}$ (r=0,96)	$I_{s(50)}=3,25e^{0,10I_{sHS}}$ (r=0,97)

Çizelge 5.1. (devam ediyor)

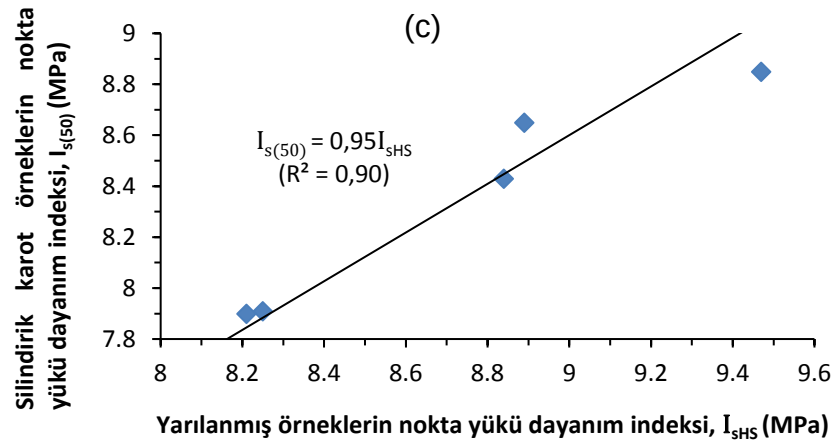
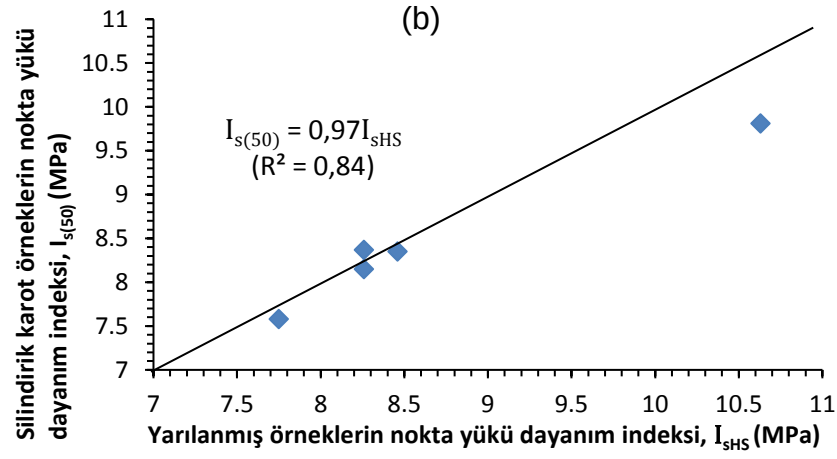
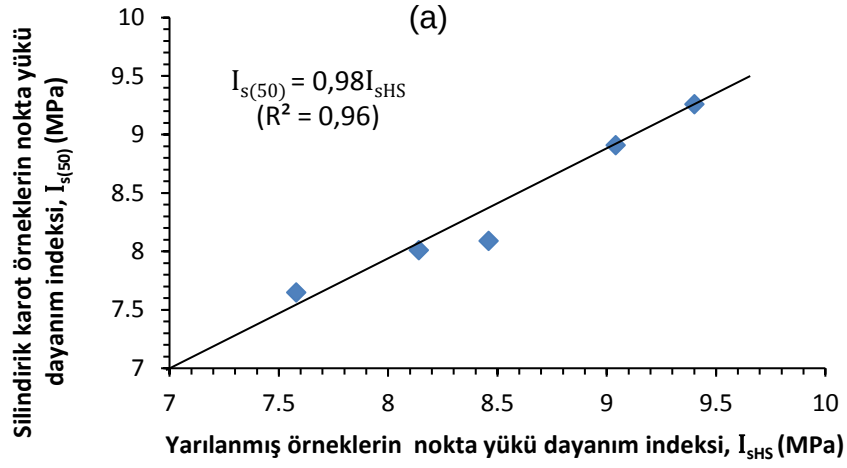
Örnek	Çap	Doğrusal	Logaritmik	Geometrik	Eksponansiyel
Andezit	NX	$I_{s(50)}=0,92I_{sHS}+0,45$ ($r=0,94$)	$I_{s(50)}=4,02\ln(I_{sHS})-1,39$ ($r=0,92$)	$I_{s(50)}=1,26I_{sHS}^{0,85}$ ($r=0,93$)	$I_{s(50)}=1,88e^{0,19I_{sHS}}$ ($r=0,94$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,78I_{sHS}+0,68$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=3,95\ln(I_{sHS})-1,73$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,17I_{sHS}^{0,85}$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,97e^{0,16I_{sHS}}$ ($r=0,96$)
	BX	$I_{s(50)}=0,97I_{sHS}$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=5,64\ln(I_{sHS})-4,25$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=0,90I_{sHS}^{1,04}$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=1,91e^{0,18I_{sHS}}$ ($r=0,99$)
Kireçtaşı-1	NX	$I_{s(50)}=0,42I_{sHS}+0,96$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=0,88\ln(I_{sHS})+1,2$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,29I_{sHS}^{0,48}$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,13e^{0,22I_{sHS}}$ ($r=0,96$)
	NQ	$I_{s(50)}=1,15I_{sHS}-0,03$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=2\ln(x)+0,93$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,11I_{sHS}^{1,01}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=0,69e^{0,57I_{sHS}}$ ($r=0,97$)
	BX	$I_{s(50)}=0,65I_{sHS}+0,75$ ($r=0,93$)	$I_{s(50)}=1,44\ln(I_{sHS})+1,06$ ($r=0,92$)	$I_{s(50)}=1,32I_{sHS}^{0,64}$ ($r=0,92$)	$I_{s(50)}=1,14e^{0,29I_{sHS}}$ ($r=0,92$)
Kireçtaşı-2	NX	$I_{s(50)}=1,01I_{sHS}$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=3,27\ln(I_{sHS})-0,37$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,48I_{sHS}^{0,74}$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=2,06e^{0,17I_{sHS}}$ ($r=0,98$)
	NQ	$I_{s(50)}=1,04I_{sHS}$ ($r=0,85$)	$I_{s(50)}=3,44\ln(I_{sHS})-0,32$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=1,74I_{sHS}^{0,68}$ ($r=0,89$)	$I_{s(50)}=2,57e^{0,13I_{sHS}}$ ($r=0,88$)
	BX	$I_{s(50)}=0,80I_{sHS}+0,84$ ($r=0,93$)	$I_{s(50)}=4,24\ln(I_{sHS})-1,95$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=1,34I_{sHS}^{0,79}$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=2,28e^{0,15I_{sHS}}$ ($r=0,93$)
Kumtaşı	NX	$I_{s(50)}=0,72I_{sHS}+0,80$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=1,95\ln(I_{sHS})+0,83$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=1,37I_{sHS}^{0,70}$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=1,35e^{0,26I_{sHS}}$ ($r=0,91$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,99I_{sHS}-0,15$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=3,16\ln(I_{sHS})-0,61$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=0,84I_{sHS}^{1,09}$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=0,99e^{0,34I_{sHS}}$ ($r=0,95$)
	BX	$I_{s(50)}=0,65I_{sHS}+0,98$ ($r=0,86$)	$I_{s(50)}=1,98\ln(I_{sHS})+0,77$ ($r=0,84$)	$I_{s(50)}=1,46I_{sHS}^{0,64}$ ($r=0,85$)	$I_{s(50)}=1,56e^{0,21I_{sHS}}$ ($r=0,87$)
Kireçtaşı-3	NX	$I_{s(50)}=0,59I_{sHS}+0,45$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=1,72\ln(I_{sHS})+0,33$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=0,93I_{sHS}^{0,79}$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=0,98e^{0,27I_{sHS}}$ ($r=0,99$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,55I_{sHS}+0,55$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,69\ln(I_{sHS})+0,37$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=0,96I_{sHS}^{0,76}$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,04e^{0,25I_{sHS}}$ ($r=0,96$)
	BX	$I_{s(50)}=0,70I_{sHS}+0,32$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=2,31\ln(I_{sHS})-0,09$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=0,93I_{sHS}^{0,87}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=1,09e^{0,26I_{sHS}}$ ($r=0,98$)
Mermer	NX	$I_{s(50)}=0,72I_{sHS}+0,15$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=3,48\ln(I_{sHS})-1,77$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=0,81I_{sHS}^{0,95}$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=1,39e^{0,19I_{sHS}}$ ($r=0,99$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,87I_{sHS}$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=5,76\ln(I_{sHS})-4,91$ ($r=0,93$)	$I_{s(50)}=0,53I_{sHS}^{1,30}$ ($r=0,93$)	$I_{s(50)}=1,22e^{0,25I_{sHS}}$ ($r=0,92$)
	BX	$I_{s(50)}=0,57I_{sHS}+1,37$ ($r=0,83$)	$I_{s(50)}=2,98\ln(I_{sHS})-0,51$ ($r=0,80$)	$I_{s(50)}=1,51I_{sHS}^{0,64}$ ($r=0,82$)	$I_{s(50)}=2,28e^{0,12I_{sHS}}$ ($r=0,84$)

Çizelge 5.1. (devam ediyor)

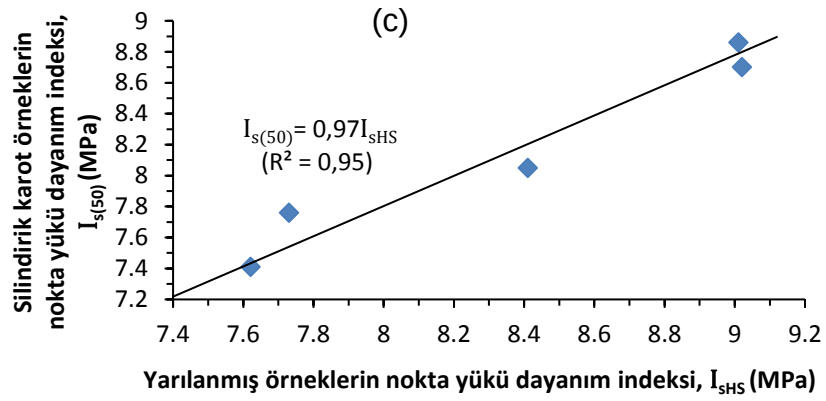
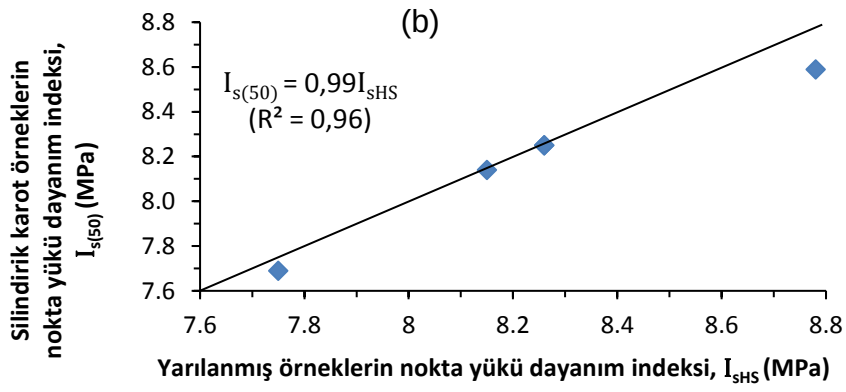
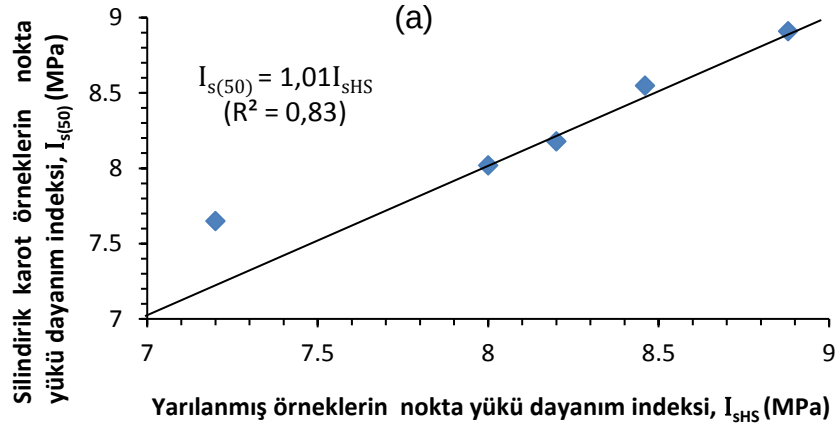
Örnek	Çap	Doğrusal	Logaritmik	Geometrik	Eksponansiyel
Granit	NX	$I_{s(50)}=0,77I_{sHS}+0,90$ ($r=0,95$)	$I_{s(50)}=6,15\ln(I_{sHS})-5,65$ ($r=0,94$)	$I_{s(50)}=1,20I_{sHS}^{0,85}$ ($r=0,95$)	$I_{s(50)}=2,99e^{0,10I_{sHS}}$ ($r=0,95$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,89I_{sHS}+0,44$ ($r=0,89$)	$I_{s(50)}=7,77\ln(I_{sHS})-8,57$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=1,00I_{sHS}^{0,97}$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=3,10e^{0,11I_{sHS}}$ ($r=0,89$)
	BX	$I_{s(50)}=0,82I_{sHS}+0,91$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=7,11\ln(I_{sHS})-7,31$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=1,18I_{sHS}^{0,88}$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=3,30e^{0,10I_{sHS}}$ ($r=0,90$)
Alçıtaşı	NX	$I_{s(50)}=0,46I_{sHS}+0,46$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=0,70\ln(I_{sHS})+0,88$ ($r=0,90$)	$I_{s(50)}=0,91I_{sHS}^{0,59}$ ($r=0,91$)	$I_{s(50)}=0,64e^{0,38I_{sHS}}$ ($r=0,92$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,76I_{sHS}+0,34$ ($r=0,85$)	$I_{s(50)}=1,14\ln(I_{sHS})+1,04$ ($r=0,83$)	$I_{s(50)}=1,09I_{sHS}^{0,74}$ ($r=0,81$)	$I_{s(50)}=0,69e^{0,49I_{sHS}}$ ($r=0,83$)
	BX	$I_{s(50)}=0,84I_{sHS}+0,08$ ($r=0,99$)	$I_{s(50)}=1,54\ln(I_{sHS})+0,71$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=0,92I_{sHS}^{0,94}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=0,63e^{0,51I_{sHS}}$ ($r=0,98$)
Bazanit	NX	$I_{s(50)}=0,89I_{sHS}+0,06$ ($r=0,86$)	$I_{s(50)}=6,79\ln(I_{sHS})-6,86$ ($r=0,86$)	$I_{s(50)}=0,82I_{sHS}^{1,04}$ ($r=0,84$)	$I_{s(50)}=2,39e^{0,13I_{sHS}}$ ($r=0,84$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,91I_{sHS}+0,21$ ($r=0,92$)	$I_{s(50)}=6,87\ln(I_{sHS})-6,71$ ($r=0,92$)	$I_{s(50)}=1,03I_{sHS}^{0,95}$ ($r=0,93$)	$I_{s(50)}=2,72e^{0,12I_{sHS}}$ ($r=0,93$)
	BX	$I_{s(50)}=0,91I_{sHS}+0,38$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=7,55\ln(I_{sHS})-8,02$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,07I_{sHS}^{0,94}$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=3,07e^{0,11I_{sHS}}$ ($r=0,97$)
Andezitik tüf	NX	$I_{s(50)}=0,35I_{sHS}+1,10$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,13\ln(I_{sHS})+0,92$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,23I_{sHS}^{0,51}$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,33e^{0,16I_{sHS}}$ ($r=0,96$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,47I_{sHS}+0,55$ ($r=0,88$)	$I_{s(50)}=1,93\ln(I_{sHS})-0,22$ ($r=0,86$)	$I_{s(50)}=0,86I_{sHS}^{0,75}$ ($r=0,87$)	$I_{s(50)}=1,16e^{0,18I_{sHS}}$ ($r=0,88$)
	BX	$I_{s(50)}=0,55I_{sHS}+0,34$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=2,42\ln(I_{sHS})-0,80$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=0,75I_{sHS}^{0,88}$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,14e^{0,20I_{sHS}}$ ($r=0,97$)
Tüm kaya türü	NX	$I_{s(50)}=0,93I_{sHS}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=4,08\ln(I_{sHS}) - 1,36$ ($r=0,94$)	$I_{s(50)}=0,79I_{sHS}^{1,07}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=1,12e^{0,24I_{sHS}}$ ($r=0,95$)
	NQ	$I_{s(50)}=0,95I_{sHS}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=3,92\ln(I_{sHS}) - 1,02$ ($r=0,92$)	$I_{s(50)}=0,93I_{sHS}^{0,983}$ ($r=0,96$)	$I_{s(50)}=1,22e^{0,23I_{sHS}}$ ($r=0,96$)
	BX	$I_{s(50)}=0,93I_{sHS}$ ($r=0,98$)	$I_{s(50)}=4,50\ln(I_{sHS}) - 2,07$ ($r=0,94$)	$I_{s(50)}=0,85I_{sHS}^{1,03}$ ($r=0,97$)	$I_{s(50)}=1,34e^{0,21I_{sHS}}$ ($r=0,96$)

Çizelge 5.1’de, tüm kaya türlerine ait her farklı çap ve yarıçap için elde edilen doğrusal eşitliklerin birbirine oldukça benzer oldukları görülmektedir. Bu nedenle, tüm kaya türleri için çap ve yarıçap farklılığı gözetilmeksizin, silindirik ve yarılanmış karot örneklerinin nokta yükü dayanım indeksleri arasında basit regresyon analizi yapılarak ilgili grafik çizilmiş (Şekil 5.16) ve $I_{s(50)}$ ile I_{sHS} arasında aşağıdaki ilişki elde edilmiştir.

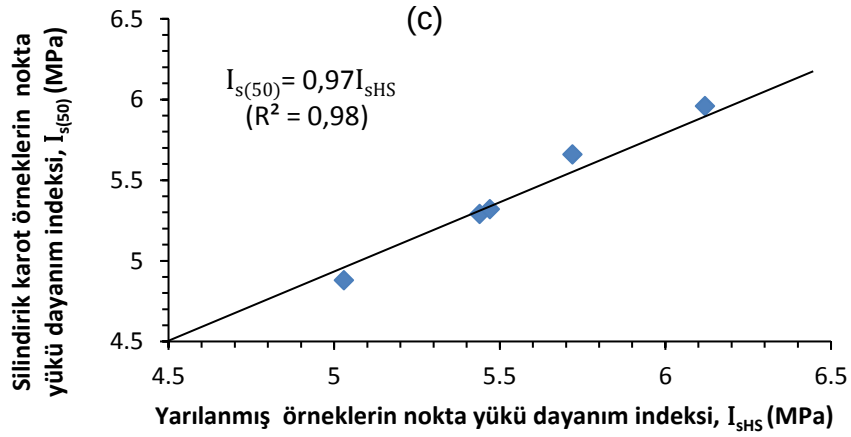
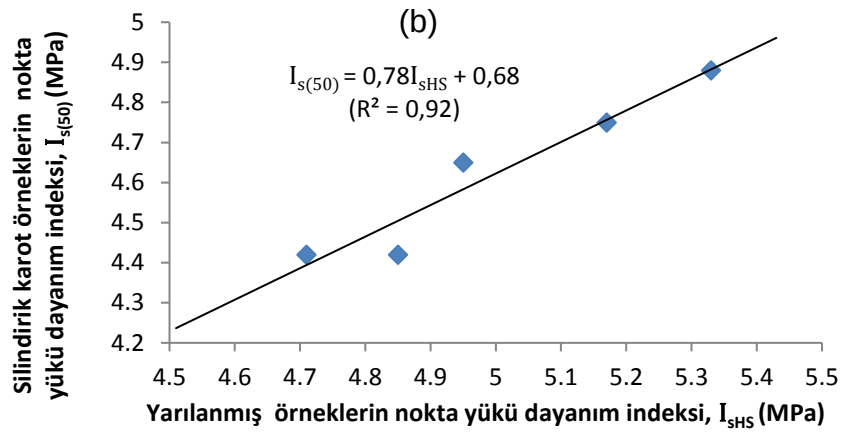
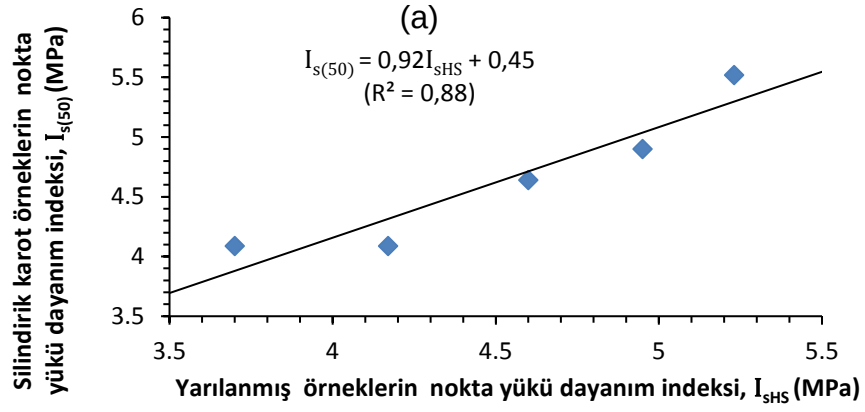
$$I_{s(50)}=0.94I_{sHS} \quad (r=0,98) \quad (5.1)$$



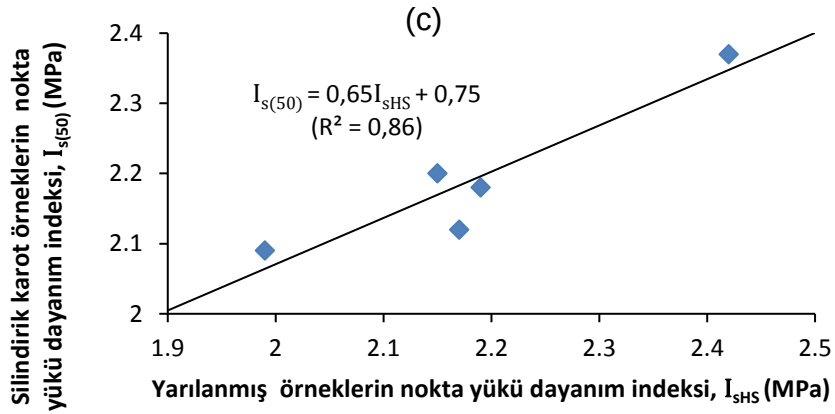
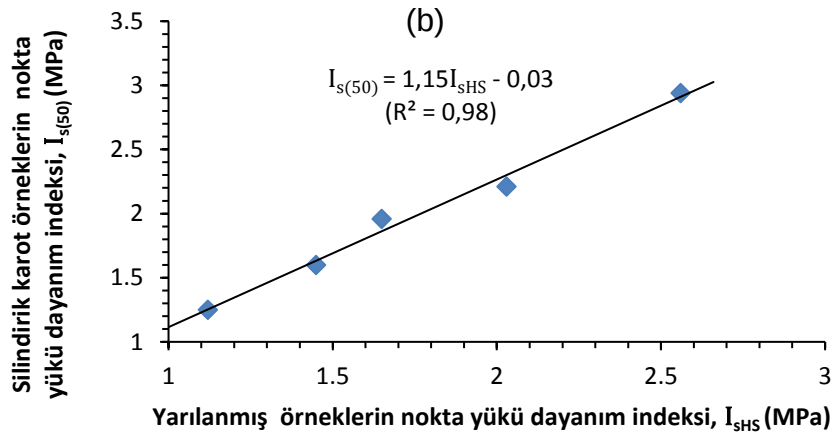
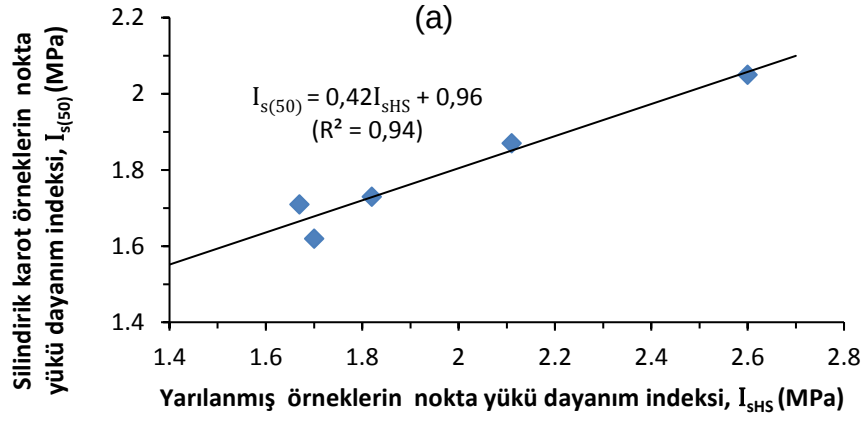
Şekil 5.3. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik bazalt karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



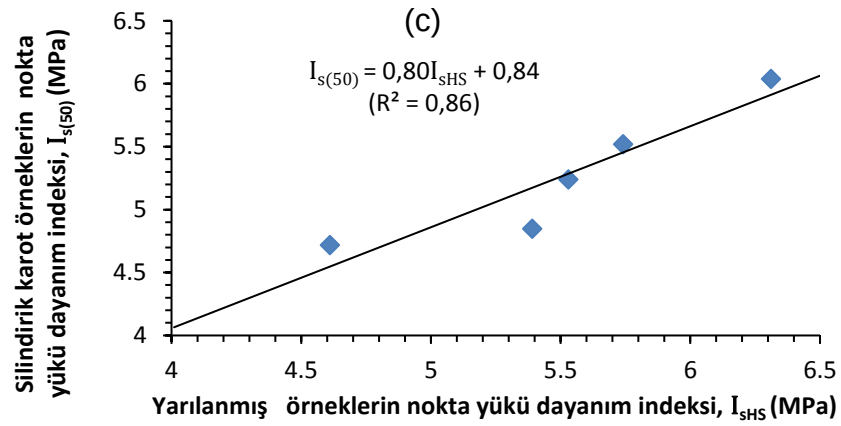
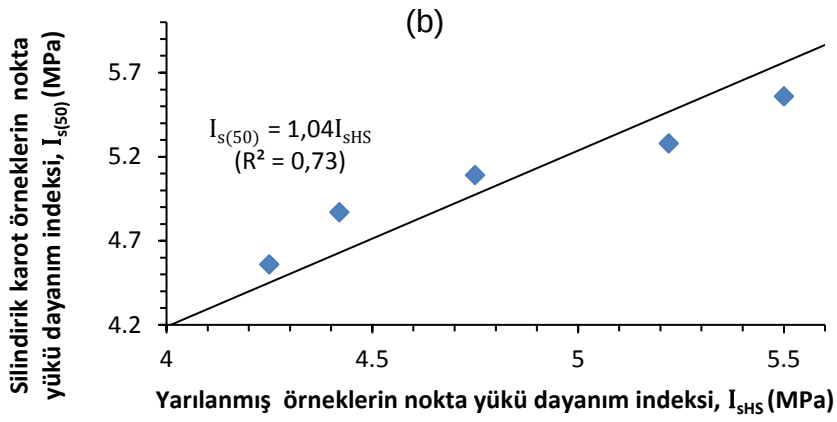
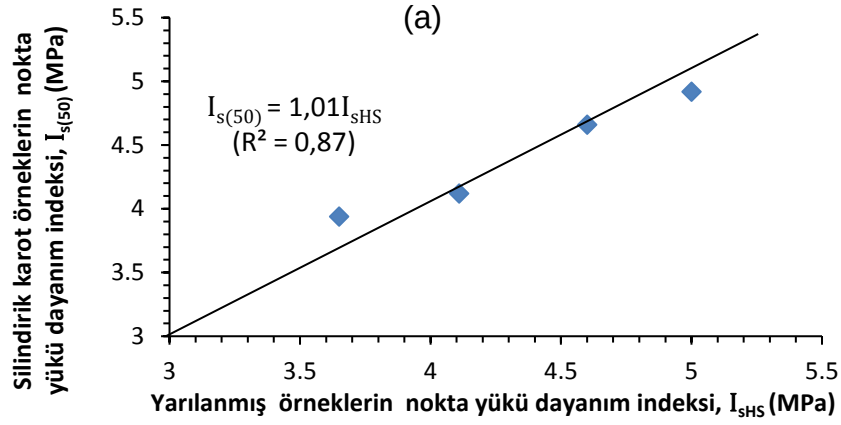
Şekil 5.4. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik traki bazalt andezit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



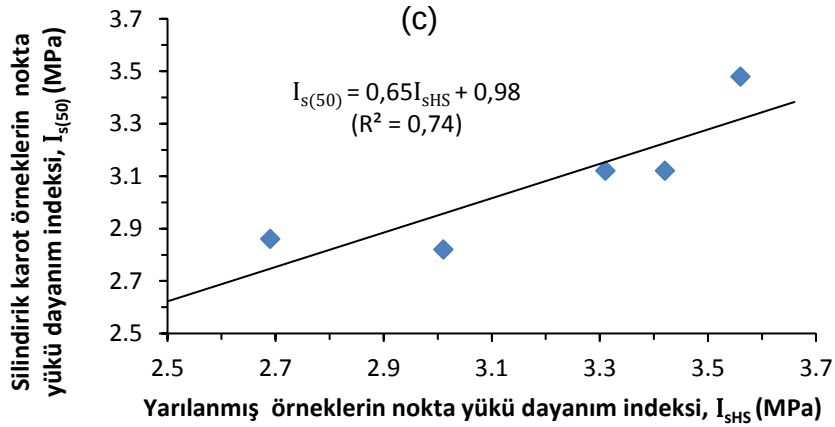
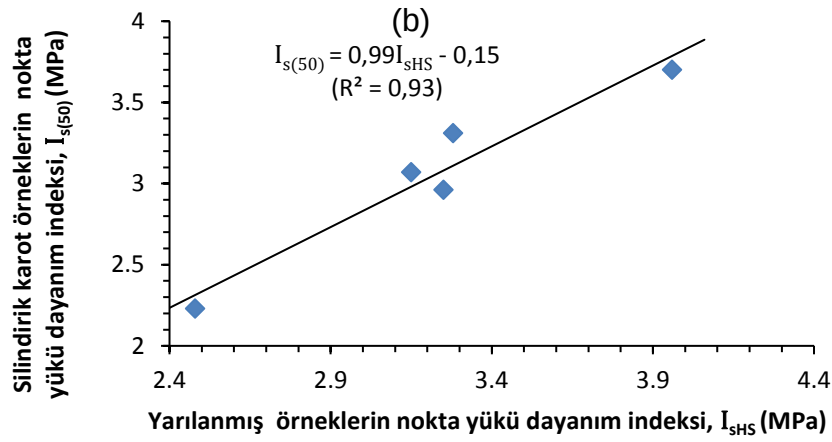
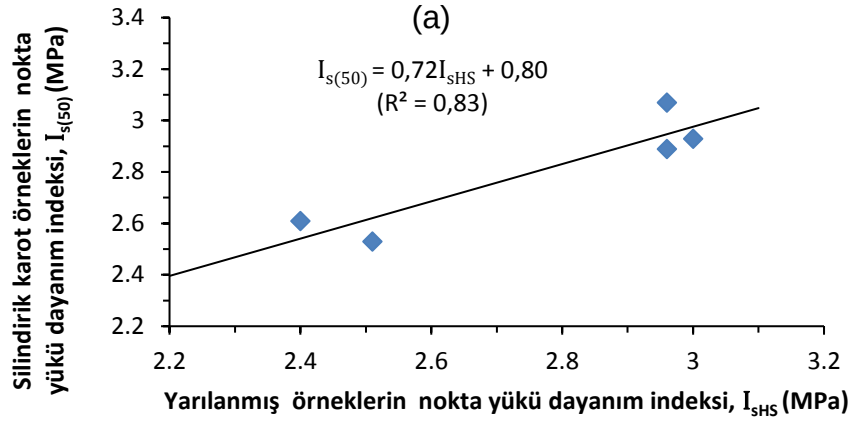
Şekil 5.5. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik andezit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



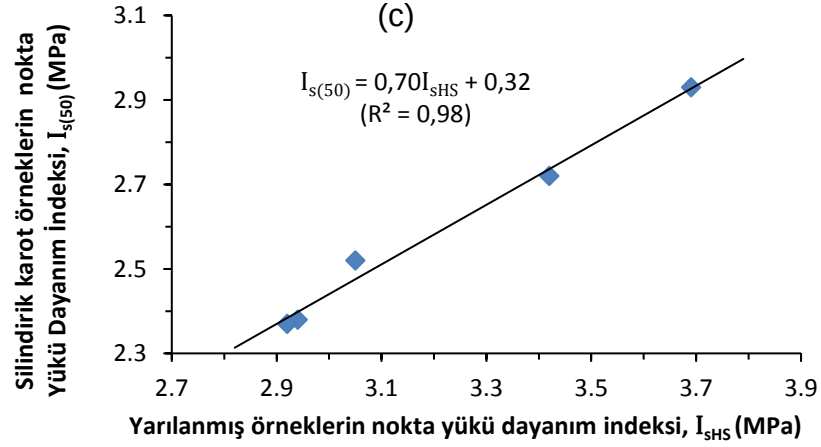
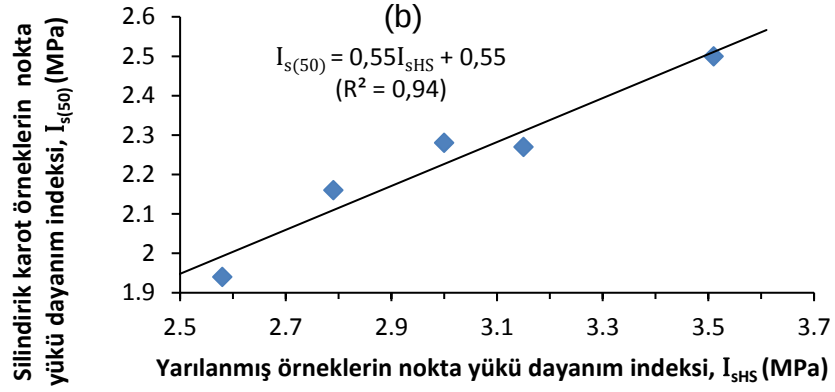
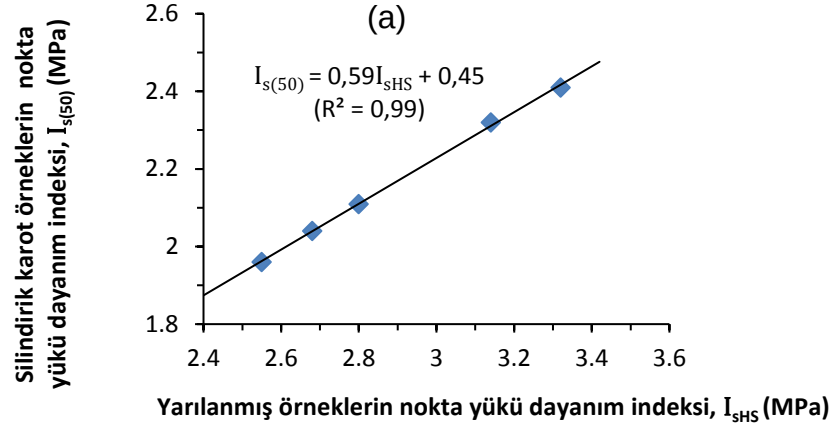
Şekil 5.6. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kireçtaşı-1 karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



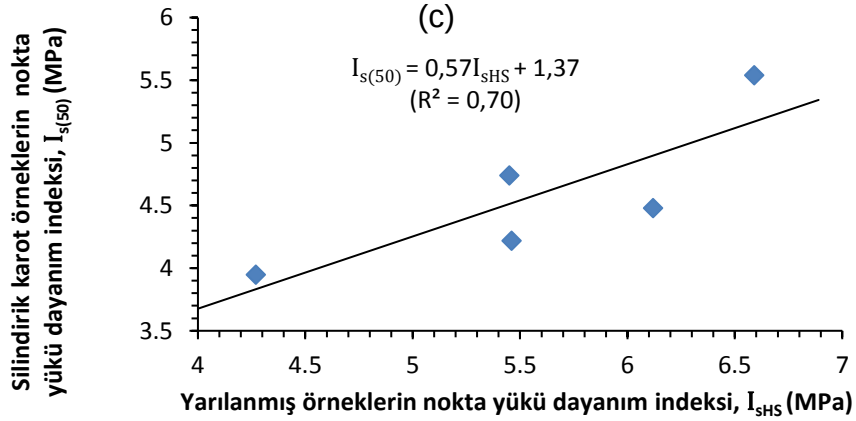
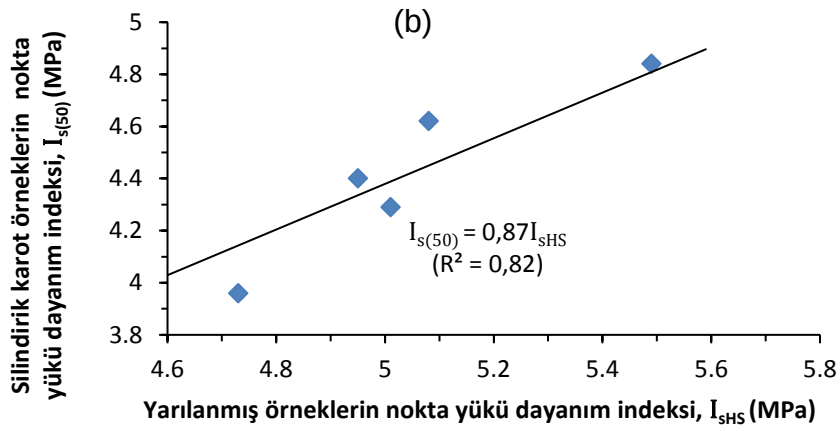
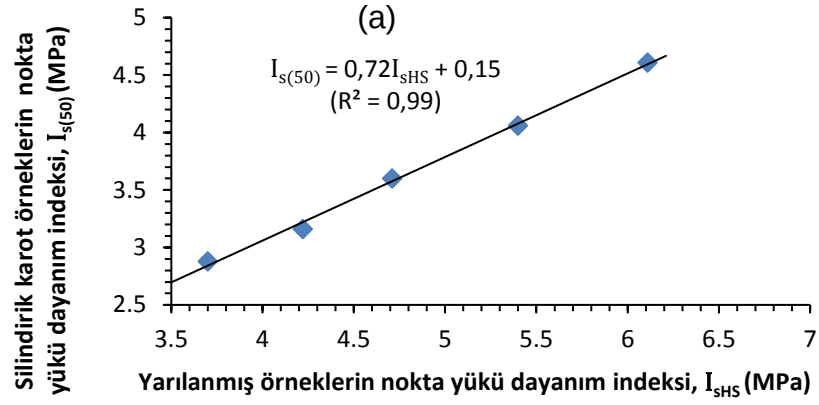
Şekil 5.7. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kireçtaşı-2 karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



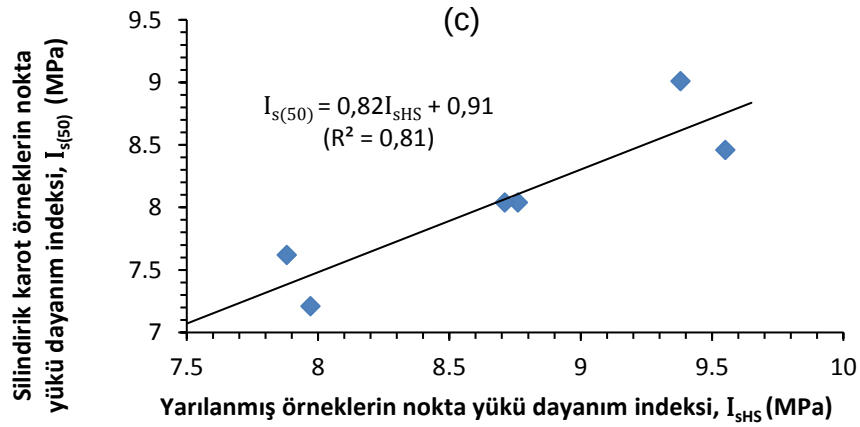
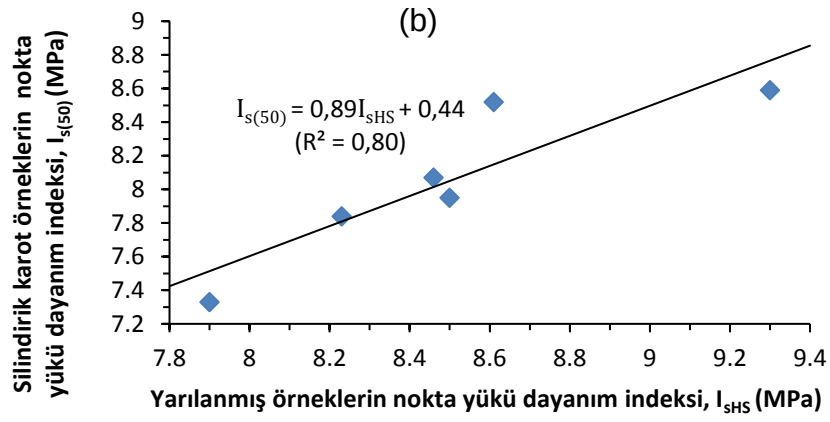
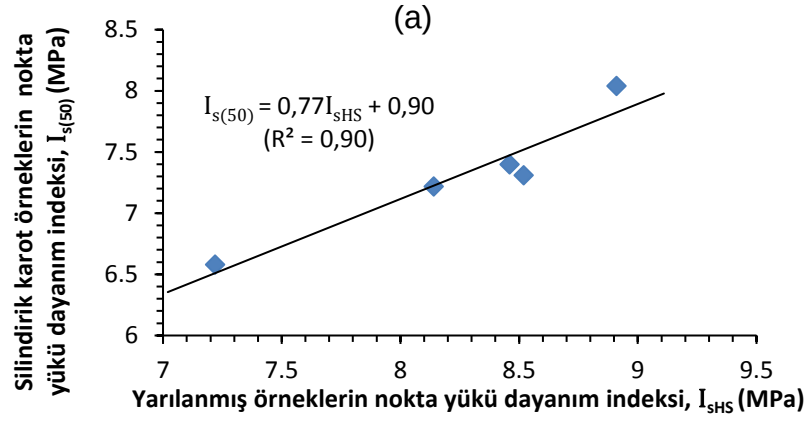
Şekil 5.8. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kumtaşı karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



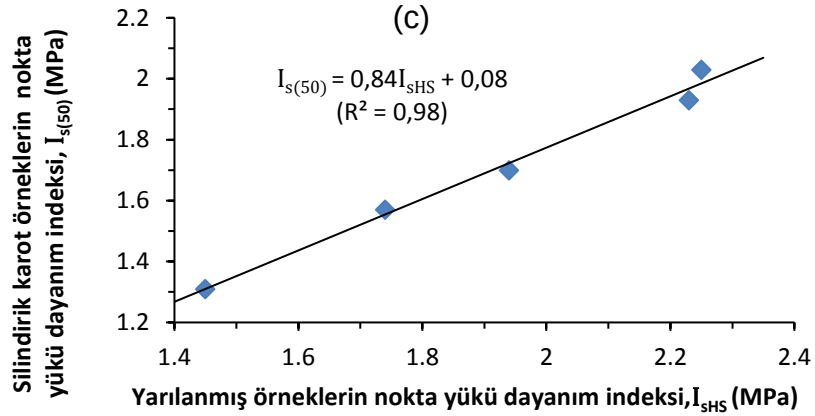
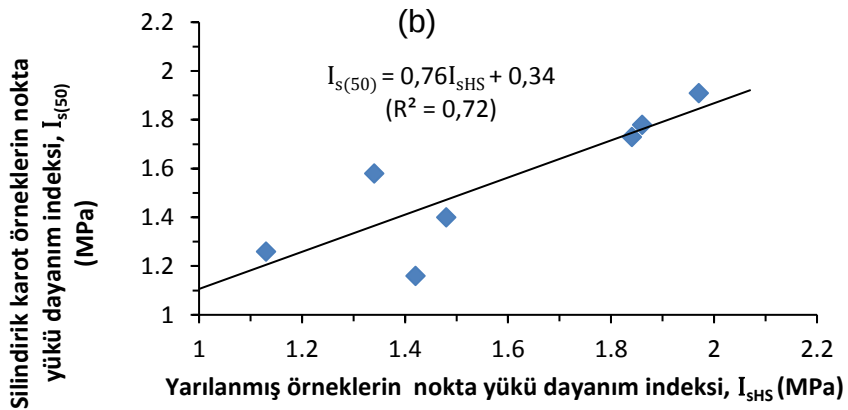
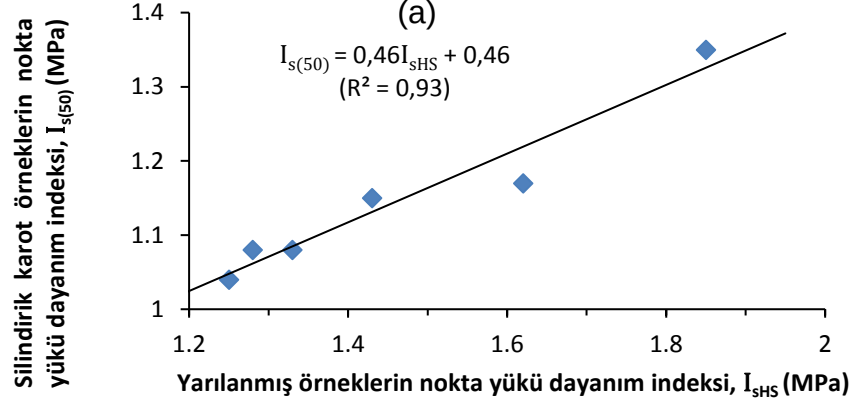
Şekil 5.9. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik kireçtaşı-3 karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



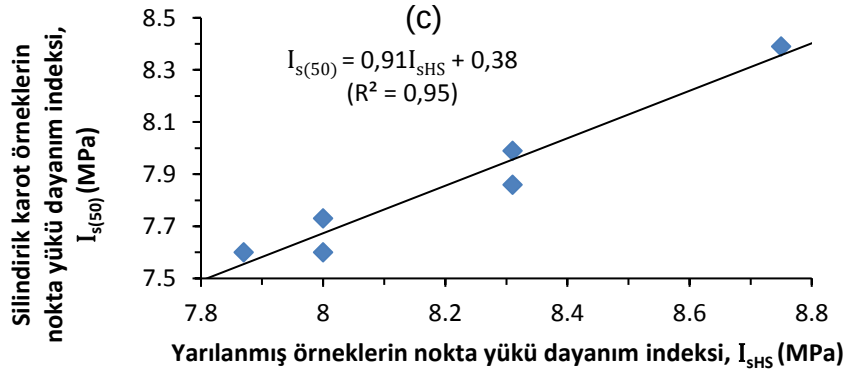
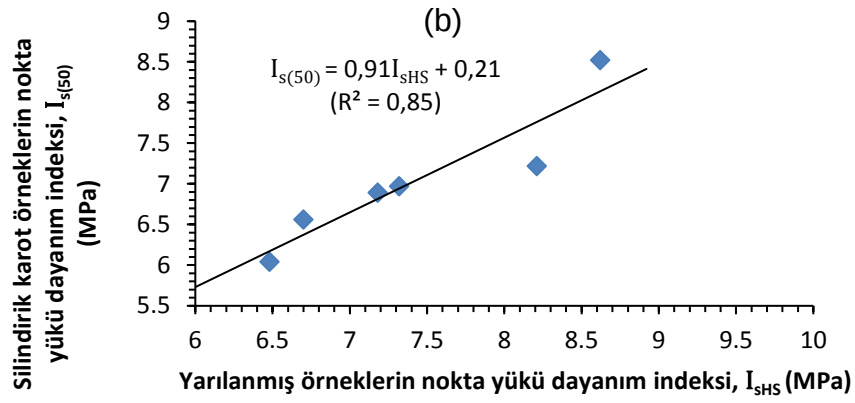
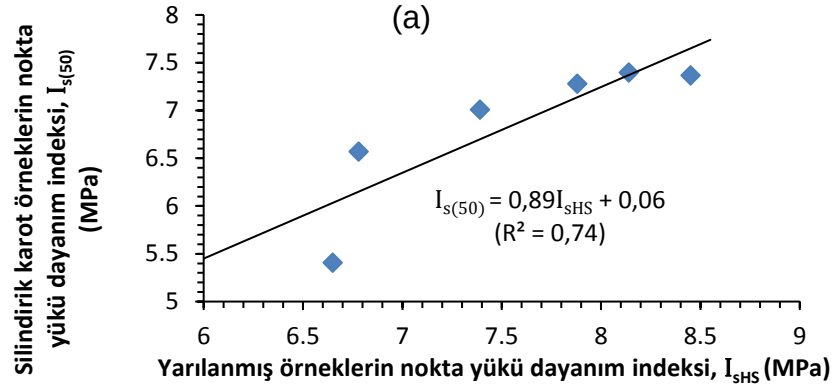
Şekil 5.10. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik mermer karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



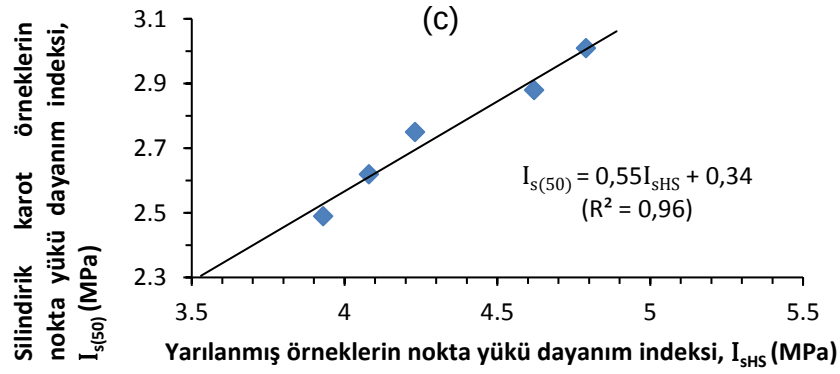
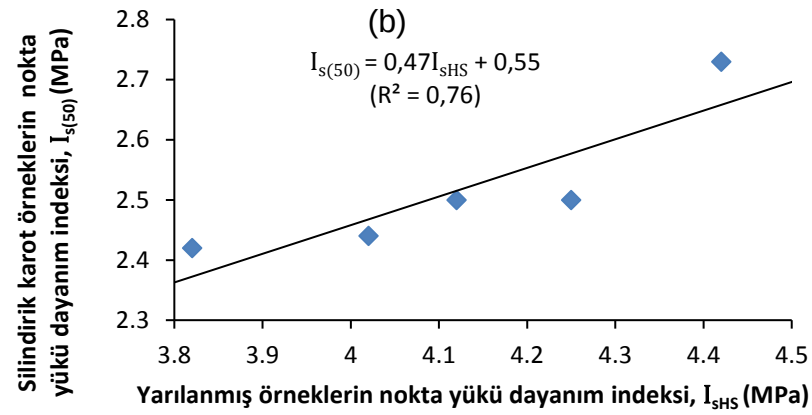
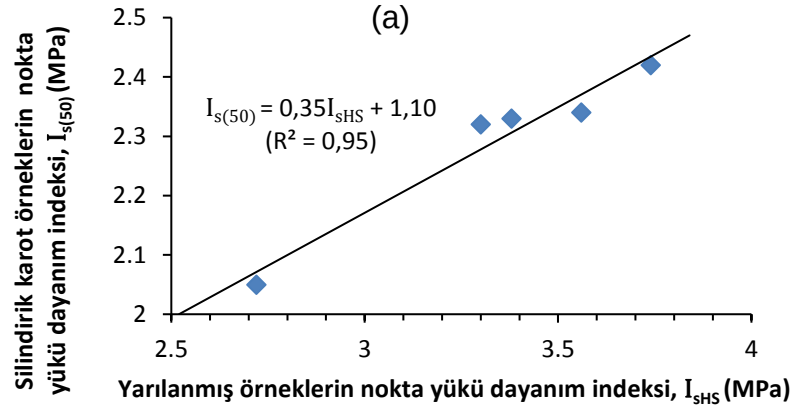
Şekil 5.11. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik granit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



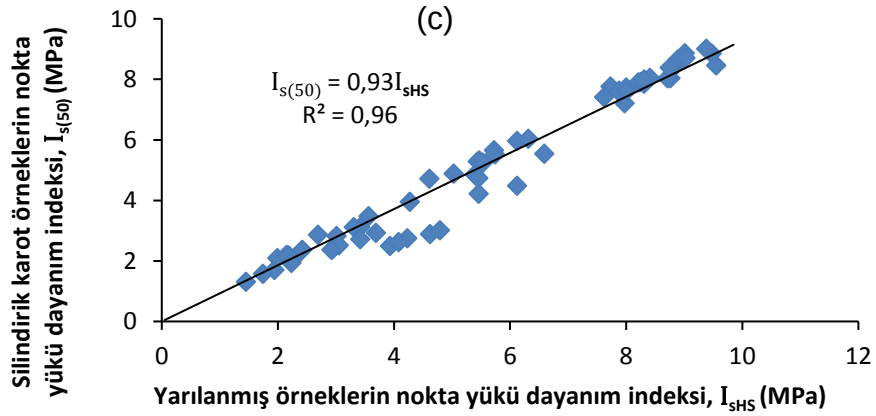
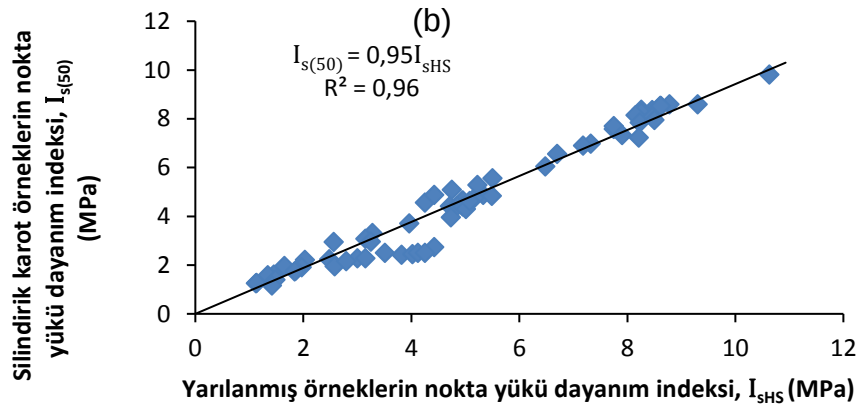
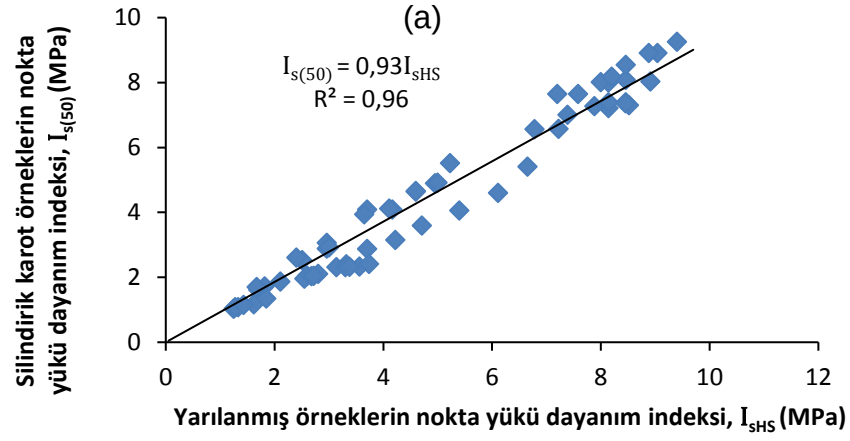
Şekil 5.12. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik alçıtaşı karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



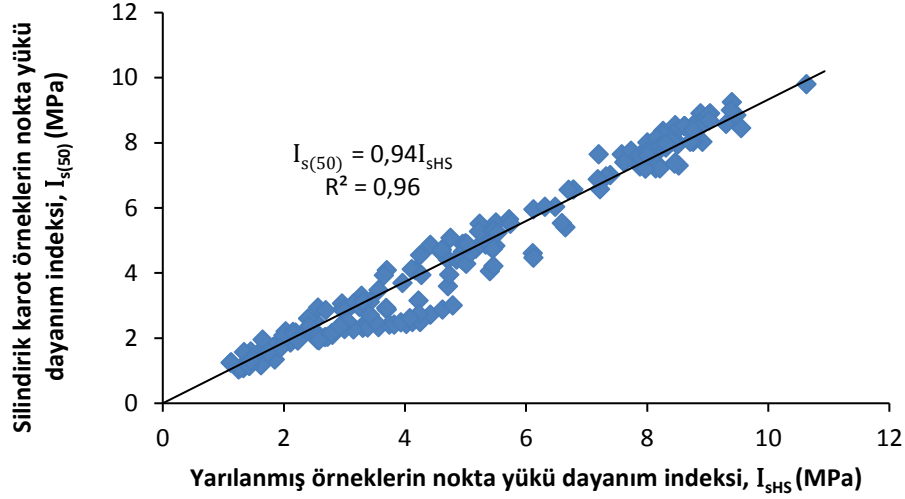
Şekil 5.13. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik bazanit karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklere ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



Şekil 5.14. (a) NX, (b) NQ ve (c) BX çaplarındaki silindirik andezitik tuf karot örnekleri ile bu çaplardan yarılanmış örneklerle ait nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



Şekil 5.15. Tüm kaya türlerine ait (a) NX, (b) NQ, (c) BX çaplı silindirik karot örnekler ile bu çaplardan yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.



Şekil 5.16. Tüm kaya türlerine ait NX, NQ ve BX çaplarındaki silindirik karot örnekleri ile bu çaplardaki karotlardan yarılanarak hazırlanmış örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin ($I_{s(50)}$ - I_{sHS}) karşılaştırılması.

I_{sHS} 'nin $I_{s(50)}$ 'deki dayanımının tahmin edilmesinde kullanılacak olan ortalama dayanım dönüştürme katsayısı (k_{HS}) Eşitlik 5.1'den 0,94 olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu eşitlikten $r=0,98$ gibi çok yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, incelenen 12 farklı kaya türü için dönüştürme katsayıları ayrı ayrı belirlenmiş olup, bu katsayılar ortalama dönüştürme katsayısı olan 0,94 ile birlikte Şekil 5.17'deki histogramda karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Buna göre; kireçtaşı-1 (4 no'lu kaya örneği) için $k_{HS}=1$ elde edilirken, andezitik tüf (12 no'lu kaya örneği) için $k_{HS}=0,67$ olarak belirlenmiştir. Diğer kaya türleri için k değerleri 0,84 ila 0,99 arasında değişirken, çoğu değer ortalama dayanım dönüştürme katsayısı olan 0,94 değerine çok yakın çıkmıştır.

Hem yarılanmış örneklerden Eşitlik 5.1 kullanılarak tahmin edilen, hem de silindirik karot örneklerinde laboratuvarında belirlenen $I_{s(50)}$ değerleri arasında çapraz korelasyon yapılmıştır (Şekil 5.18). Tahmin edilen ve deneyden belirlenen $I_{s(50)}$ değerleri genellikle 1:1 çizgisi etrafında yoğunlaşmış olup, bazı değerler ise 1:0,5 çizgisine yakın dağılım göstermektedir. Ayrıca Eşitlik 5.1'in tahmin performansının test edilmesi amacıyla aşağıdaki eşitlik yardımıyla 'yüzdece hata payı' da hesaplanmıştır.

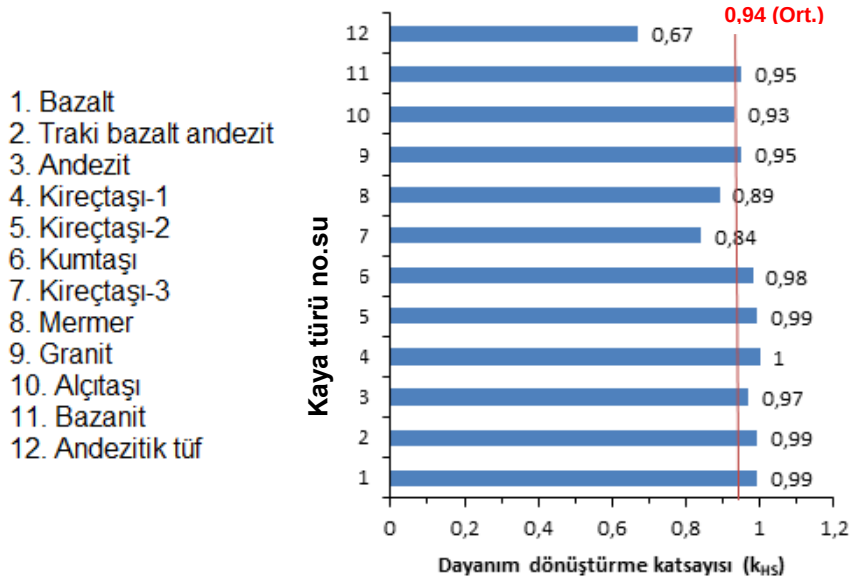
$$\% \text{ Hata Payı} = \left(\frac{x_t - x_0}{x_0} \right) \times 100 \quad (5.2)$$

Burada,

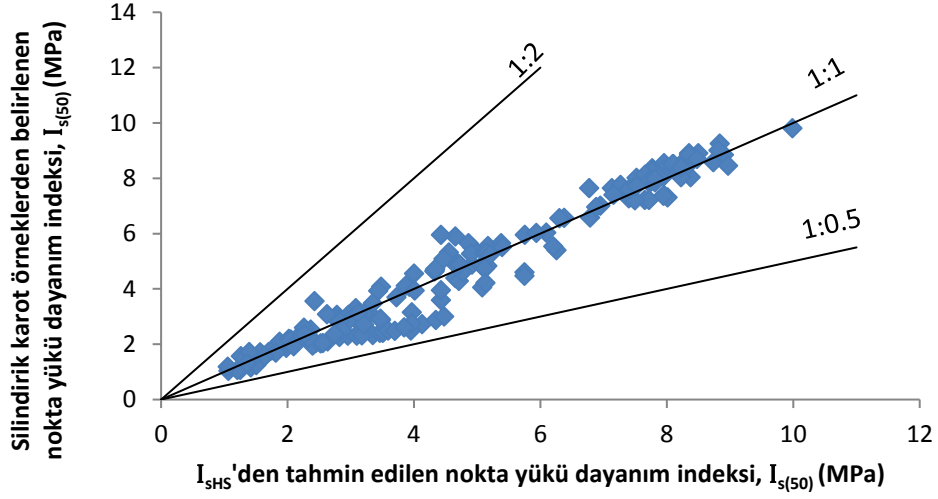
x_t : Eşitlik 5.1'den tahmin edilen $I_{s(50)}$ değerleri (MPa)

x_0 : Silindirik karot örneklerinden laboratuvar deneyiyle tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleri (MPa).

Yüzdece hata hesabına göre (Şekil 5.19); tahmin edilen ve tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleri arasında en fazla hata oranı % 12,8 ile andezitik tüf örneğine aittir. Andezitik tüf örneğinde I_{sHS} 'den tahmin edilen $I_{s(50)}$ için $k_{HS}=0,67$ iken, tüm kaya türleri için $k_{HS}=0,94$ 'tür. Yüzdece hata payı hesabında; I_{sHS} 'den tahmin edilen $I_{s(50)}$ değerleri, Eşitlik 5.1 kullanılarak, diğer bir ifadeyle I_{sHS} 'nin $k_{HS}=0,94$ ile çarpılarak tahmin edilmesi, andezitik tüf örneğinin diğer kaya türlerine oranla hata yüzdesinin daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Andezitik tüf örneğinin tahmin edilen ve ölçülen değerleri arasındaki hata payı hesabında k_{HS} için 0,94 yerine 0,67 kullanıldığında ise, hata payı için % 2.3 gibi oldukça düşük bir değer elde edilmektedir. Ayrıca örneklerin % 80'i için % ± 5 gibi çok düşük bir hata payı söz konusu iken, örneklerin % 33'ünde ise, $I_{s(50)}$ 'nin ihmal edilebilecek düzeyde bir hata payıyla tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Bu belirleme Eşitlik 5.1'in iyi bir tahmin performansı sergilediğini göstermektedir.

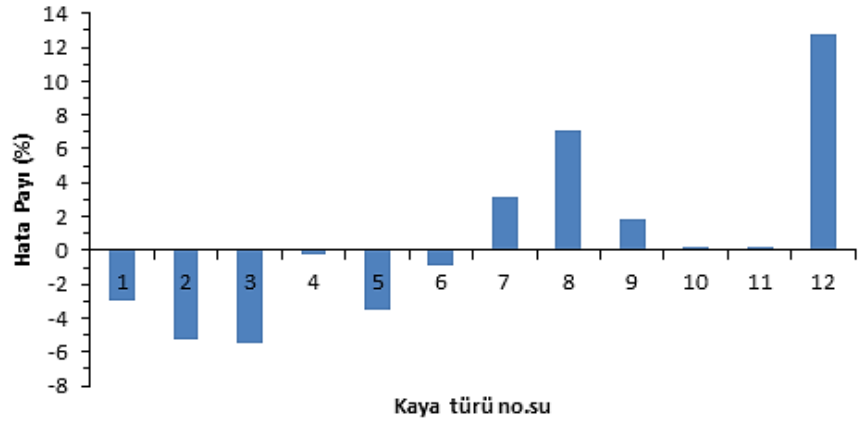


Şekil 5.17. Her kaya türü için yarılanmış karotlardan tayin edilen nokta yükü dayanım indeksi değerlerinden $I_{s(50)}$ 'nin tahmin edilmesi için belirlenmiş dayanım indeksi dönüştürme katsayılarının (k_{HS}) karşılaştırılması.



Şekil 5.18. Eşitlik 5.1 kullanılarak yarılanmış örneklerden tahmin edilen ve silindirik karot örneklerde tayin edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin karşılaştırılması.

1. Bazalt
2. Traki bazalt andezit
3. Andezit
4. Kireçtaşı-1
5. Kireçtaşı-2
6. Kumtaşı
7. Kireçtaşı-3
8. Mermer
9. Granit
10. Alçıtaşı
11. Bazanit
12. Andezitik tuf



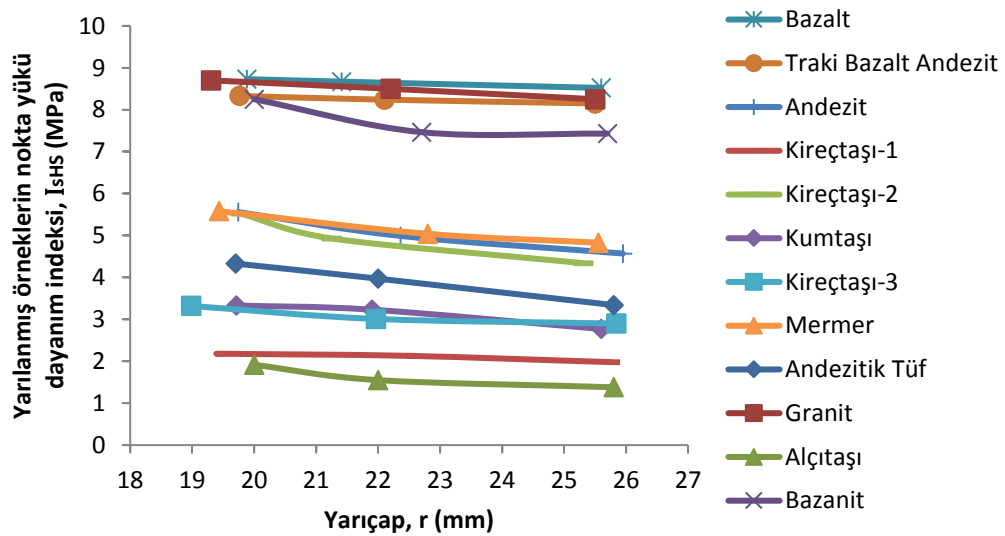
Şekil 5.19. Eşitlik 5.1 kullanılarak yarılanmış örneklerden tahmin edilen ve silindirik karot örneklerinden tayin edilen $I_{s(50)}$ 'nin yüzde hata payı değişimi grafiği.

5.3. Yarılanmış Örnekler İçin Yarıçap Düzeltmesi ve $I_{s(50)}$ 'nin Tahmini

Farklı çaplara sahip yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinin (I_{SHS}), farklı çaplara sahip, ancak 50 mm çap değerine göre düzeltilmiş silindirik karot örneklerinin nokta yükü dayanım indeksleriyle karşılaştırılması amacıyla, silindirik karot örneklere ait $I_{s(50)}$ 'de olduğu gibi, yarılanmış örnekler için de standart bir yarıçap düzeltmesinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla; Broch ve Franklin

[5]'in standart (50 mm) çapta olmayan örneklerin, 50 mm çaptaki örneğe ait dayanımının tahmin edilmesi amacıyla uyguladıkları yöntem izlenilerek yarılanmış örnekler üzerinde de yarıçap düzeltmesi yapılmış olup, bununla ilgili aşamalar aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

Silindirik karot örneklerin yarılama işlemi sırasında kullanılan kesme bıçağının kalınlığının 2 mm olması, yarılanan örneklerde 2 mm'lik bir kayba sebep olmuştur. Bu nedenle; NX çaplı örneklerin yarılanması sonucu 25-26 mm, NQ çaplı örneklerin yarılanması sonucu 22-23 mm, BX çaplı örneklerin yarılanması sonucu 19-20 mm yarıçaplı örnekler elde edilmiştir. Standart yarıçapın belirlenmesi amacıyla; nokta yükü dayanım indeksi deneyi yapılmış olan tüm kaya türleri için yarıçapa bağlı olarak ortalaması hesaplanmış I_{sHS} değerlerinin değişimini gösteren grafik çizilmiştir. Şekil 5.20'de verilen bu grafikten; tüm kaya türleri için 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 mm yarıçaptaki I_{sHS} değerleri tek tek belirlenmiştir. İlk olarak 20 mm çapındaki örneklerin I_{sHS} değerleri diğer yarıçaplardaki (21, 22, 23, 24 ve 25 mm) örneklerin I_{sHS} değerlerine bölünerek, 20 mm yarıçaplı örnekler için düzeltme katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 5.2). Daha sonra bu işlem diğer yarıçaplar (21, 22, 23, 24 ve 25 mm) için ayrı ayrı uygulanarak tüm yarıçaplar için düzeltme katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 5.2).



Şekil 5.20. Nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yapıldığı yarılanmış örneklerin yarıçapa göre nokta yükü dayanım değerlerinin değişimi.

Çizelge 5.2. 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 mm yarıçapa sahip örneklerin yarıçap düzeltme katsayıları.

Yarıçap (mm)	Yarıçap Düzeltme Katsayıları (F_{HS})					
	20 mm	21 mm	22 mm	23 mm	24 mm	25 mm
20	1	1,04	1,07	1,10	1,12	1,14
21	0,97	1	1,03	1,06	1,08	1,10
22	0,94	0,97	1	1,02	1,04	1,06
23	0,92	0,95	0,98	1	1,02	1,04
24	0,89	0,93	0,96	0,98	1	1,02
25	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	1

Daha sonra, 20 mm için belirlenen düzeltme katsayıları farklı yarıçaptaki I_{SHS} değerleriyle çarpılarak 20 mm'ye göre düzeltilmiş tahmini $I_{SHS(20)}$ değerleri belirlenmiştir. Bu işlem diğer yarıçaplar (21, 22, 23, 24 ve 25 mm) için de tek tek yapılmış olup, bu yarıçaplar için tahmini yarıçapa ait nokta yükü dayanım indeksleri ($I_{SHS(21)}$, $I_{SHS(22)}$, $I_{SHS(23)}$, $I_{SHS(24)}$ ve $I_{SHS(25)}$) belirlenmiştir. Bunlar; farklı yarıçaptaki I_{SHS} değerlerinin belirli bir yarıçapa göre düzeltilmiş tahmini nokta yükü dayanım indekslerini vermektedir. Elde edilen tahmini değerler ($I_{SHS(20)}$, $I_{SHS(21)}$, $I_{SHS(22)}$, $I_{SHS(23)}$, $I_{SHS(24)}$ ve $I_{SHS(25)}$) ile laboratuvarında farklı yarıçaplardaki örneklerden belirlenen I_{SHS} değerleri arasında F- testi yapılmış ve ilişkilerin arasında en iyi sonuç veren ilişkinin standart yarıçap olmasına karar verilmiştir. Yapılan F- testinin sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiş olup, en düşük standart hata (0,19), F değeri 437.914 olarak elde edilen ve tüm kaya türleri için 23 mm yarıçaplı örneklerde elde edilmiştir. F değerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi diğer modellerde de olduğu gibi 0.00 olarak belirlenmiş olup, bu değer $\alpha=0.05$ yanılma düzeyinden düşüktür. Dolayısıyla F- testi sonuçlarına göre yarılanmış örnekler için standart yarıçapın 23 mm olmasına karar verilmiştir.

Çizelge 5.3. Farklı yarıçaplardan elde edilen I_{SHS} değerleri ile laboratuvarında ölçülen I_{SHS} değerleri arasında yapılan F-testi sonuçları.

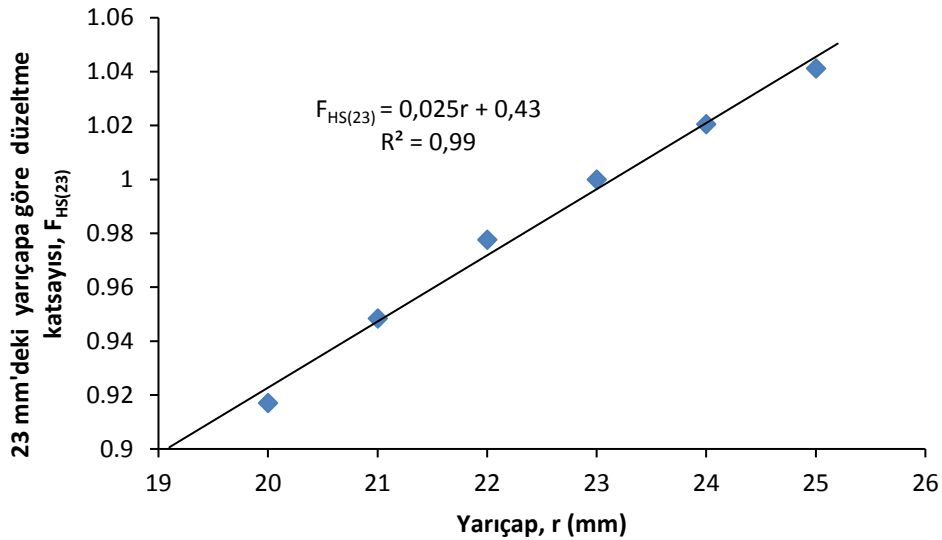
Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Standart Hata	ANOVA	
					F	p (Anlamlılık)
20 mm	0,995	0,989	0,986	0,22	361,935	0,000
21 mm	0,995	0,990	0,988	0,21	403,297	0,000
22 mm	0,995	0,991	0,988	0,20	425,704	0,000
23 mm	0,995	0,991	0,989	0,19	437,914	0,000
24 mm	0,995	0,990	0,988	0,20	409,917	0,000
25 mm	0,994	0,987	0,984	0,24	308,152	0,000

Standart olarak seçilen 23 mm yarıçapa bağlı düzeltme katsayılarının değişimi Şekil 5.21’de verilen grafikte görülmektedir. Bu grafikten elde edilen eşitlikle (Eşitlik 5.3) herhangi bir yarıçap değerinin 23 mm’deki dönüşüm için tahmin edilen katsayısı hesaplanmaktadır. Bu katsayı, 23 mm’den farklı yarıçaptaki yarılanmış örneklerin I_{sHS} değerleriyle çarpıldığında, 23 mm yarıçaplı örneğe ait nokta yükü dayanım indeksi ($I_{sHS(23)}$) tahmin edilmektedir. $I_{sHS(23)}$ ’ten $I_{s(50)}$ ’nin tahmin edilmesi amacıyla, eşitlik 5.3 kullanılarak farklı yarıçaplar için belirlenen $I_{sHS(23)}$ değerleri ile silindirik karot örneklerinden tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleri karşılaştırılarak basit regresyon analizleriyle grafik çizilmiş (Şekil 5.22) ve Eşitlik 5.4 elde edilmiştir.

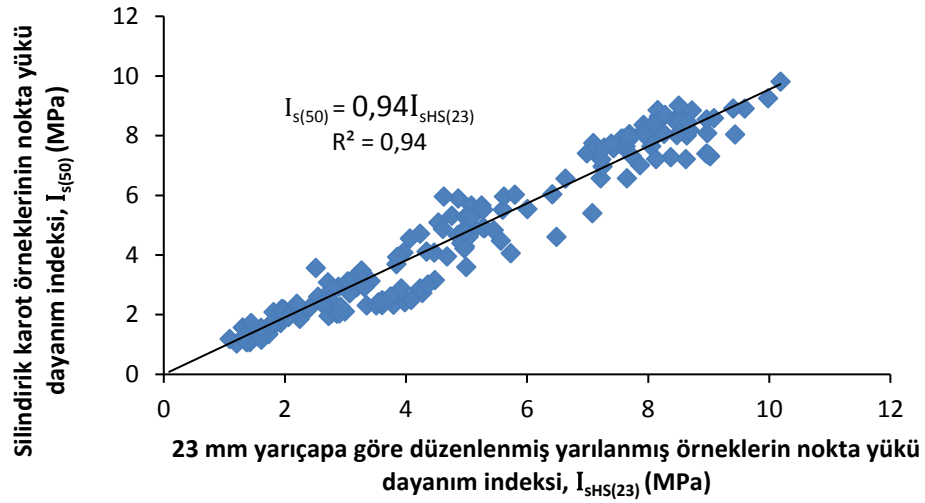
$$F_{HS(23)} = 0.025r + 0.43 \quad (r=0,99) \quad (5.3)$$

$$I_{s(50)} = 0.94I_{sHS(23)} \quad (r=0,97) \quad (5.4)$$

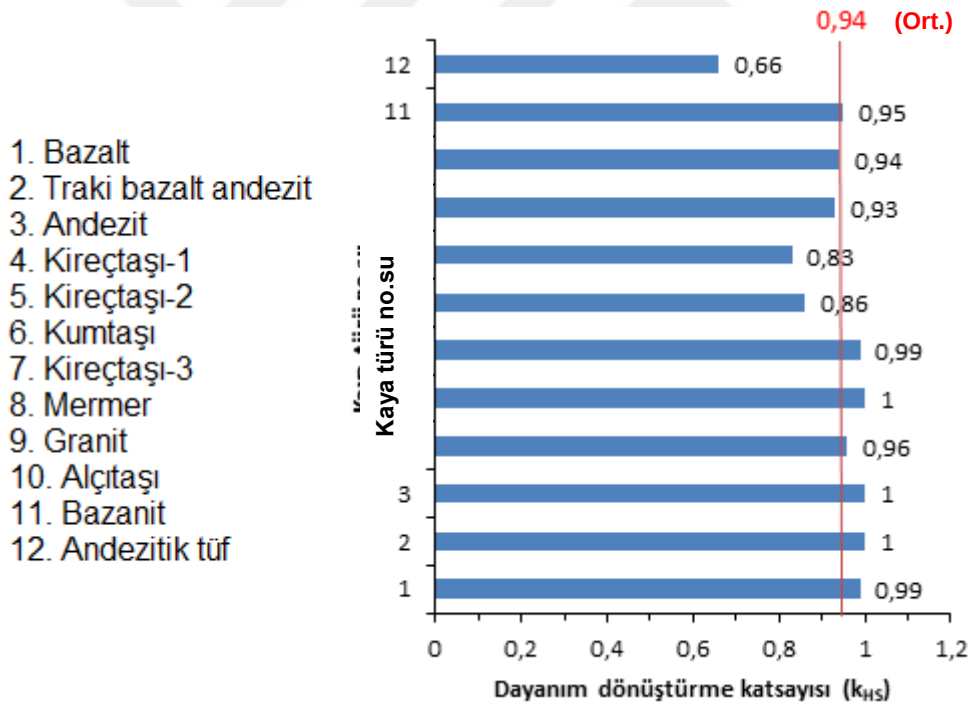
$I_{sHS(23)}$ ’ten $I_{s(50)}$ ’nin tahmin edilmesi için Eşitlik 5.4’te elde edilen dayanım dönüştürme katsayısı (k_{HS}) 0,94 ve korelasyon katsayısı $r=0,97$ ’dir. Bunun yanı sıra, incelenen 12 farklı kaya türü için dönüştürme katsayıları ayrı ayrı belirlenmiş olup, tüm katsayılar ortalama dönüştürme katsayısı olan 0,94 ile birlikte Şekil 5.23’te histogramda karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Standart 23 mm yarıçapa göre düzeltme katsayılarının yarıçapa bağlı değişimini gösteren grafik.



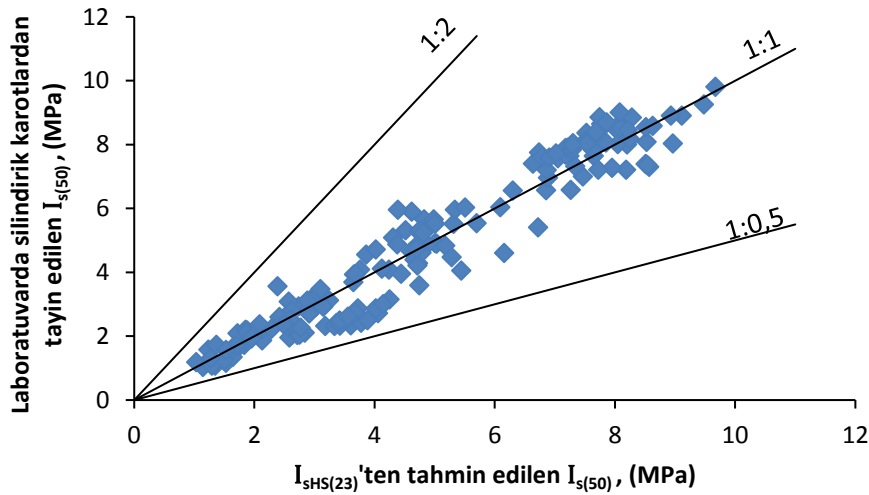
Şekil 5.22. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi uygulanan 23 mm'ye göre düzeltilmiş yarılanmış örneklerin silindirik karot örneklerle karşılaştırılması.



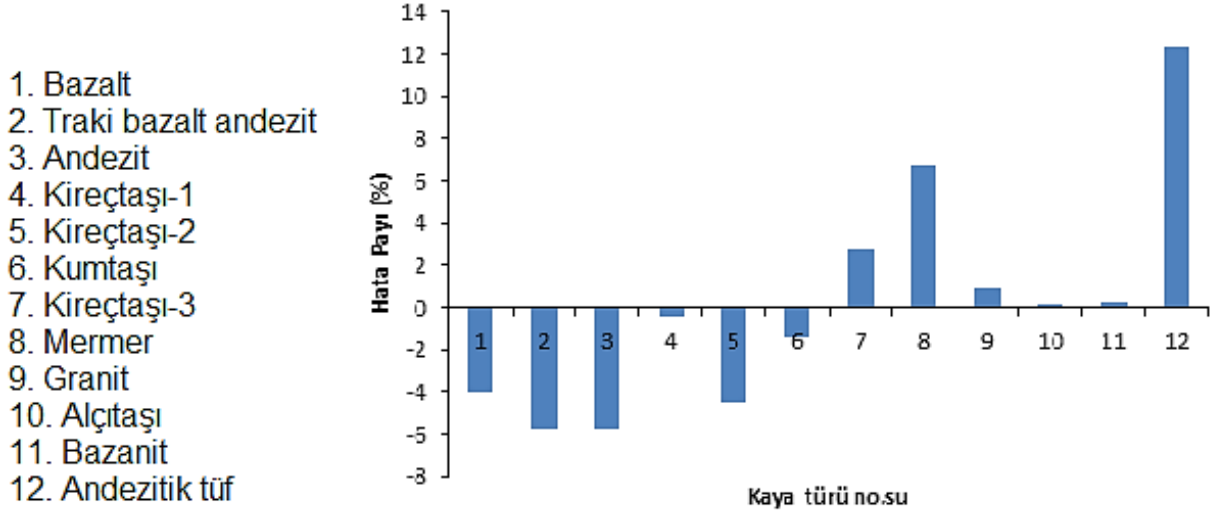
Şekil 5.23. Her kaya türü için $I_{sHS(23)}$ 'ten $I_{s(50)}$ 'nin tahmini için dayanım dönüştürme katsayıları.

Şekil 5.23'e göre; traki-bazalt andezit (2 no'lu kaya örneği), andezit (3 no'lu kaya örneği) ve kireçtaşı-2 (5 no'lu kaya örneği) için $k_{HS}=1$ elde edilirken, andezitik tuf (12 no'lu kaya örneği) için $k_{HS}=0,66$ olarak belirlenmiştir. Diğer kaya türlerine ait

k_{HS} değerleri 0,83 ile 0,99 arasında değişirken, bunların çoğu, $k_{HS}=0,94$ 'e yakın çıkmıştır. Ayrıca yarılanmış örneklerden tahmin edilen ve laboratuvar da silindirik karotlar üzerinde yapılan deneylerden belirlenen $I_{s(50)}$ değerleri arasında yapılan korelasyon analizleriyle elde edilen eşitliğin deneysel sonuçları tahmin performansı da test edilmiştir (Şekil 5.24). Şekil 5.24'ten, tahmin ve tayin edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin 1:1 çizgisi etrafında dağılım gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, 1:1 çizgisi etrafında Şekil 5.18'deki dağılıma benzese de, Şekil 5.24'te tüm verinin biraz daha geniş alanda dağıldığı görülmektedir. Sadece 1:1 çizgisine bakılarak I_{SHS} değerinin, $I_{s(50)}$ değerlerinin tahmininde $I_{SHS(23)}$ 'ten daha iyi performans sergilediği söylenebilir. Ayrıca Şekil 5.25'te verilen yüzdece hata histogramına göre, tayin edilen ve tahmin edilen $I_{s(50)}$ değerleri arasında en fazla hata oranı % 12,34 ile andezitik tüf örneğine aittir. Ayrıca örneklerin % 80'inin % ± 5 , % 33'ünün ise ihmal edilebilecek düzeyde bir hatayla tahmin edilebilmesi mümkün olmuştur. Yüzdece hata payı hesabı I_{SHS} değerleriyle benzer sonuç vermiştir. Elde edilen bu sonuçlar çerçevesinde; I_{SHS} ve $I_{SHS(23)}$ ile ilgili yapılan değerlendirmelerde $I_{s(50)}$ 'nin tahmininde, yüzdece hata payı hesaplamalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar arasında belirgin bir farklılığın görülmemesi nedeniyle, tez kapsamında değerlendirilen örnek çapları için yarılanmış örneklerden alınan sonuçların yarıçap düzeltmesi yapılmadan da değerlendirmelerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.24. Eşitlik 5.4'ten tahmin edilen ve laboratuvar da silindirik karotlarda tayin edilen nokta yükü dayanım indekslerinin karşılaştırılması.

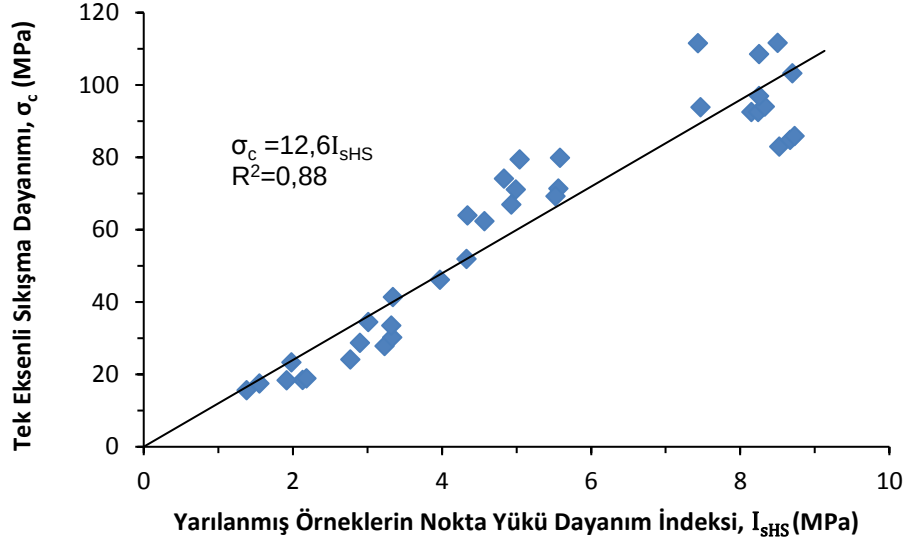


Şekil 5.25. Farklı kaya türleri için Eşitlik 5.4'ten tahmin edilen ve laboratuvarında tayin edilen nokta yükü dayanım indekslerinin yüzdece hata payları.

5.4. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ile I_{sHS} Arasındaki İlişki

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi, tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı olarak tahmininde kullanılan en eski ve en yaygın yöntemlerden biridir. Bölüm 2'de de değinildiği gibi, birçok araştırmacı (örneğin; Broch ve Franklin [5]; Pells [6]; Hassani vd. [7]; Read vd. [8]; ISRM [9], 2007; Bieniawski [10]; Kahraman vd. [11]) $I_{s(50)}$ 'den UCS'nin dolaylı yoldan tahmininde kullanılan 'k' katsayısının = 5 - 55 gibi geniş bir aralıkta değişmekte olduğunu belirtmektedir. Ancak bu tez çalışmasının amacı; silindirik karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerden tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleri kullanılarak UCS'nin dolaylı yoldan tahmin edilebildiği gibi, I_{sHS} 'den de UCS'nin dolaylı yoldan tahmin edilmesidir. I_{sHS} değerlerinden UCS'nin tahmini amacıyla basit regresyon yöntemiyle I_{sHS} - UCS grafiği (Şekil 5.26) çizilerek Eşitlik 5.5 elde edilmiştir.

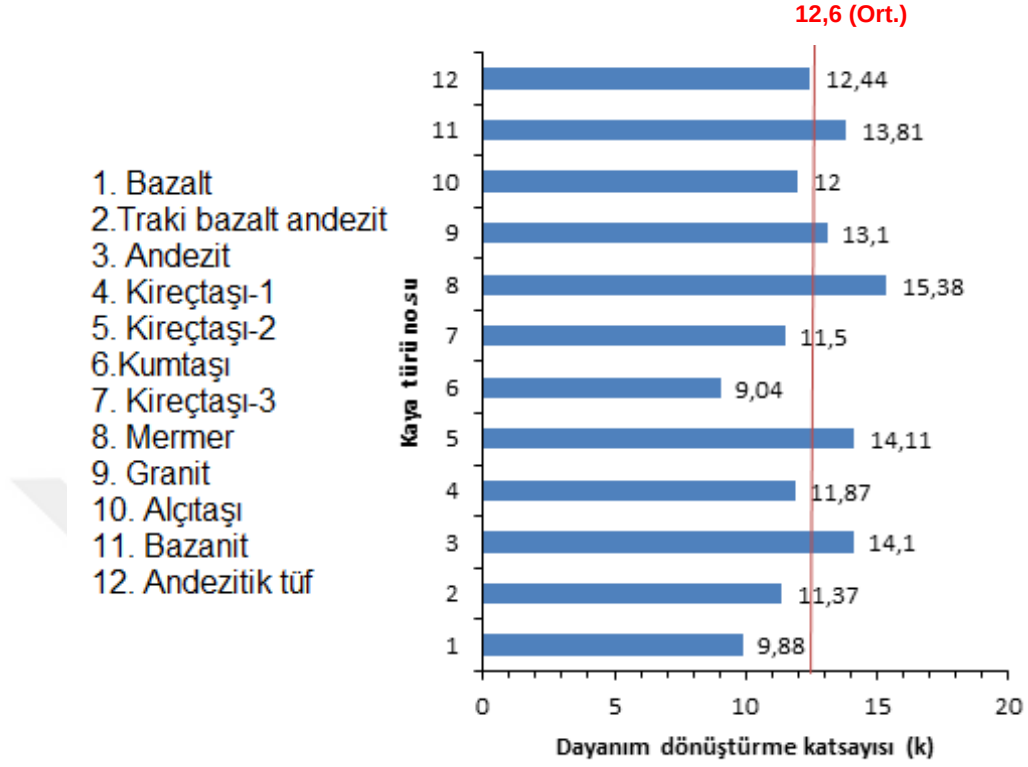
$$\sigma_c = 12.6 I_{sHS} \quad (r=0,94) \quad (5.5)$$



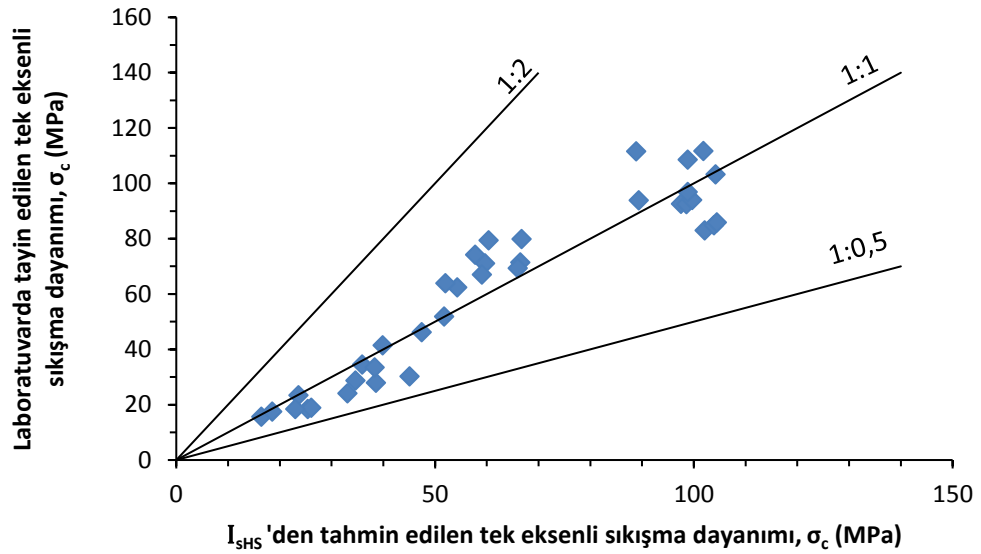
Şekil 5. 26. Yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indeksi deneyinin tek eksenli sıkışma dayanımı ile karşılaştırılması.

Eşitlik 5.5 için $k=12,6$ olup, 12 farklı kaya türü için k değerleri ayrı ayrı da belirlenmiştir. Tüm kaya türleri için belirlenen k değerleriyle tüm kayalar birlikte temsil eden k değeri (12,6) Şekil 5.27'deki histogramda karşılaştırmalı olarak gösterilmişlerdir. Şekil 5.27'ye göre, kumtaşı (6 no'lu kaya örneği) için $k=9,04$, bazalt (1 no'lu kaya örneği) için 9,88 elde edilirken, mermer (8 no'lu kaya örneği) için, 15,38 olarak belirlenmiştir. Diğer kaya türleri için ise, ortalama k değeri olan 12,6 ya yakın değerler belirlenmiştir. Ayrıca Eşitlik 5.5 kullanılarak yarılanmış örneklerden tahmin edilen UCS ile laboratuvar deneylerinden belirlenen UCS değerleri arasında çapraz korelasyon yapılarak, elde edilen eşitliğin deneysel sonuçları tahmin performansı da test edilmiştir. Şekil 5.28'deki tüm veriler 1:2 ile 1:0.5 doğruları arasında kalmakta ve bunların çoğunluğu 1:1 doğrusunun etrafında dağılım göstermektedir. Ayrıca yarılanmış örneklerden tahmin edilen UCS'lerin, laboratuvar da tayin edilen UCS'lere göre yüzdece hata payları hesaplanarak histogram şeklinde verilmiştir (Şekil 5.29). En fazla hata payı bazalt örneğine aittir. Bazalt örneği için $k=9,88$ iken hata payı hesabında tüm kaya türleri için ortalama $k(=12,6)$ 'nın kullanılması, bu örnekte yüksek bir hata payının elde edilmesine neden olmuştur. Hata payları tüm örneklerin % 80'inde % ± 10 'un, % 45'inde ise % ± 5 'in altında kaldığı görülmektedir. Bu belirlemelerin sonucunda Eşitlik 5.5'in iyi

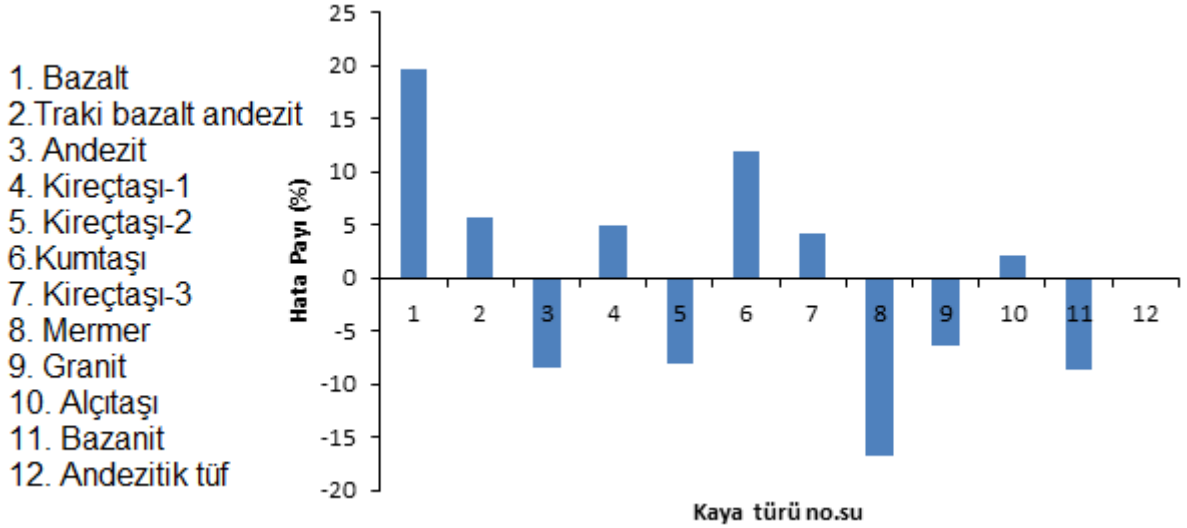
bir performans sergilediği ve yarılanmış örneklerden de UCS tahmininin yapılabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.27. Her kaya türü için I_{sHS} 'den UCS'nin tahminine yönelik dayanım dönüştürme katsayıları.



Şekil 5.28. Eşitlik 5.5 kullanılarak tahmin edilen ve laboratuvarla tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanımlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.29. Eşitlik 5.5'ten tahmin edilen ve tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanımlarının yüzde hata payı.

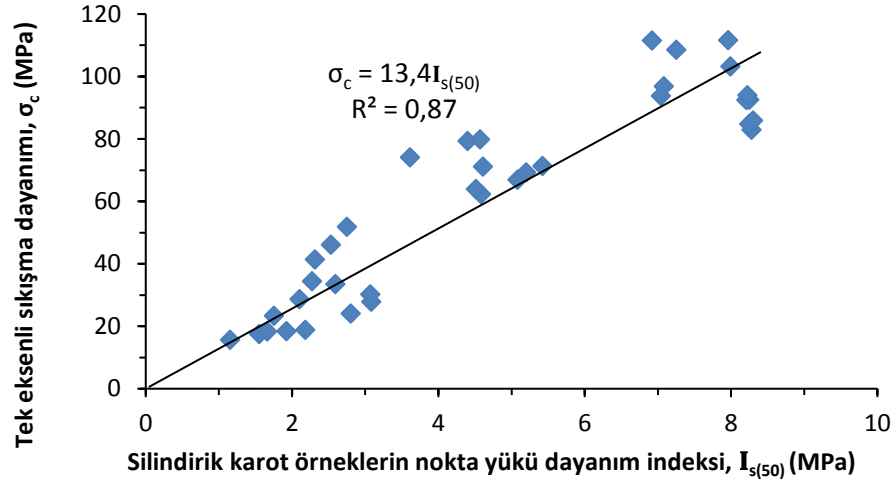
5.5. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ile $I_{s(50)}$ Arasındaki İlişki

Bu çalışma kapsamında deneysel olarak tayin edilen UCS ve silindirik karotlardan belirlenen $I_{s(50)}$ değerleri arasında yapılan basit regresyon analizi sonucunda (Şekil 5.30) her iki özellik arasında aşağıdaki ilişki elde edilmiştir (Eşitlik 5.6).

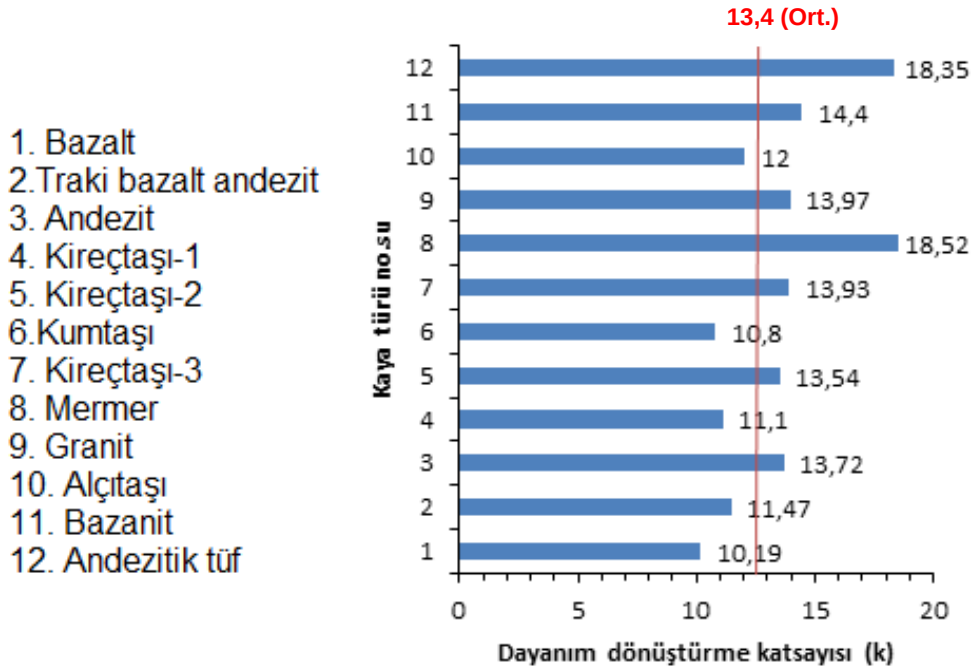
$$\sigma_c = 13.4 I_{s(50)} \quad (r=0,93) \quad (5.6)$$

Tüm kaya türleri değerlendirildiğinde, dönüşüm faktörü $k=13.4$ ve $r=0,93$ gibi yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu değer, literatürde nokta yükü dayanım indeksinden tek eksenli sıkışma dayanımının tahmininde kullanılmak üzere verilen k katsayısının 5 ile 55 arasında değişen değişim aralığının alt sınırına yakındır. Ayrıca bu çalışmada incelenen kaya türleri için dönüşüm katsayıları ayrı ayrı belirlenerek Şekil 5.31'deki histogramda ortalama k ($=13,4$) ile birlikte karşılaştırmalı olarak gösterilmiş olup, k değeri incelenen kaya türleri için 10.19 ile 18.52 arasında değişmektedir. Eşitlik 5.6 kullanılarak UCS değerleri tahmin edilmiş olup, deneysel olarak tayin edilen UCS değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.32). Tüm veriler 1:2 ile 1:0,5 doğruları arasında kalmakta ve 1:1 doğrusunun etrafında dağılım göstermektedir. Ayrıca tahmin edilen UCS

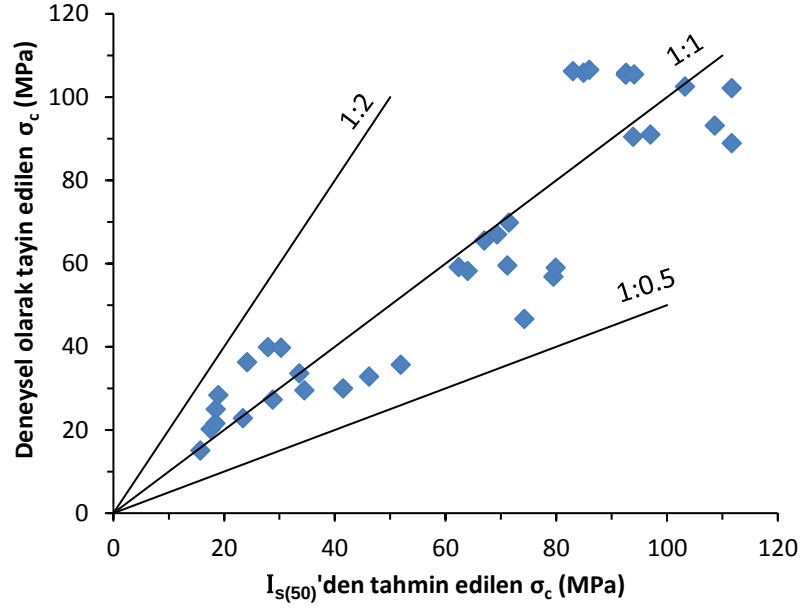
değerleri için hata yüzde değişimleri Şekil 5.33'te verilmiştir. Bu yüzde değişim grafiğine bakıldığında verilerin yaklaşık % 75'inin % ± 10 , %50'sinin % ± 5 , %33'ünün ise ihmal edilebilecek düzeyde hata payıyla tahmin edilebildiği anlaşılmaktadır. I_{sHS} 'den hesaplanan hata paylarında % ± 10 hata oranları %80'i bulurken, $I_{s(50)}$ 'den hesaplanan hata paylarında bu oran %75 civarındadır. Ayrıca Şekil 5.34'te I_{sHS} 'den tahmin edilen UCS ve $I_{s(50)}$ 'den tahmin edilen UCS'lerin laboratuvarda tayin edilen UCS'lere göre hata payları karşılaştırılmıştır. Her kaya türünde hata payı oranları arasında farklılıklar görülmekle birlikte, bazı kaya türlerinde (kireçtaşı-1, granit, alçıtaşı ve bazanit) ise hata payı oranları birbirine benzer sonuçlar vermiştir. 5 kaya türünde (bazalt, traki bazalt andezit, mermer, alçıtaşı ve andezitik tüf), I_{sHS} 'den hesaplanan hata payı oranı $I_{s(50)}$ 'den hesaplanan hata payı oranından daha düşüktür. Diğer 7 kaya türünde (andezit, kireçtaşı-1, kireçtaşı-2, kumtaşı, kireçtaşı-3, granit ve bazanit) ise $I_{s(50)}$ 'den hesaplanan hata payları oranı I_{sHS} 'den hesaplanan hata payı oranlarından daha düşüktür. Örneğin; bazalt örneği I_{sHS} için $k=9,88$ iken hata payı hesabında $k=12,6$, $I_{s(50)}$ için $k=10,19$ iken hata payı hesabında $k=13,4$ değerlerinin kullanılması, UCS değerlerinin olduğundan yüksek tahmin edilmesine neden olmuştur. Aynı şekilde; mermer örneğinin I_{sHS} değeri için $k=15,38$ 'e göre hata payı hesabında $k=12,6$, $I_{s(50)}$ için $k=18,52$ iken hata payı hesabında $k=13,4$ kullanılması, UCS değerlerinin olduğundan düşük tahmin edilmesine neden olmuştur. Grafiğin geneline bakıldığında; yarılanmış örneklerin, silindirik karot örneklerle göre UCS'yi tahmin etmede daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, UCS'nin tahmininde I_{sHS} kullanılmasının uygun olacağı anlaşılmaktadır.



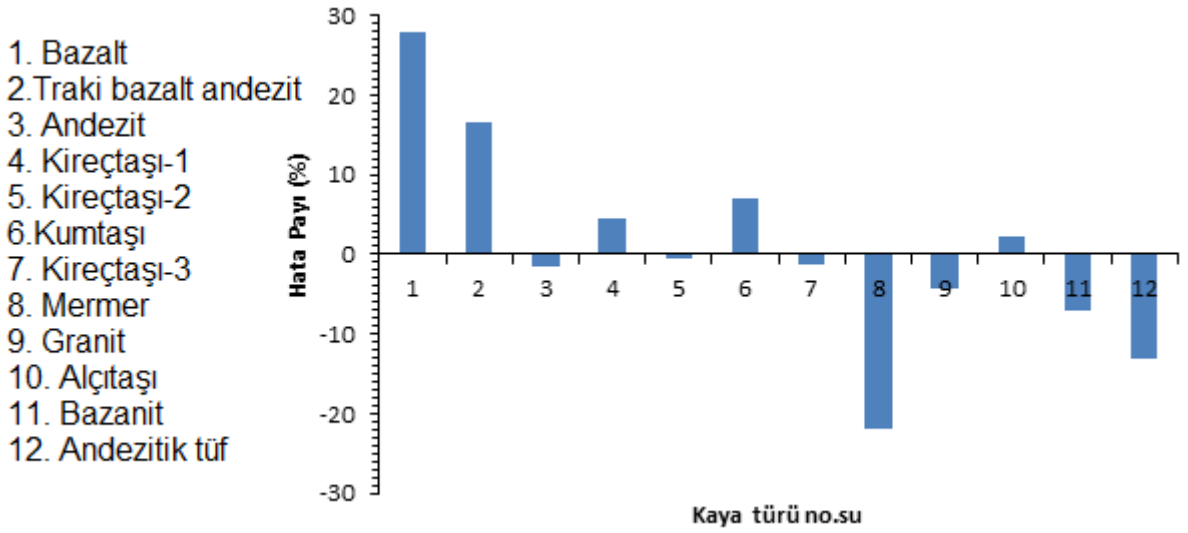
Şekil 5.30. Bu çalışmaya ait deneysel veriye göre $\sigma_c - I_{s(50)}$ arasındaki ilişki.



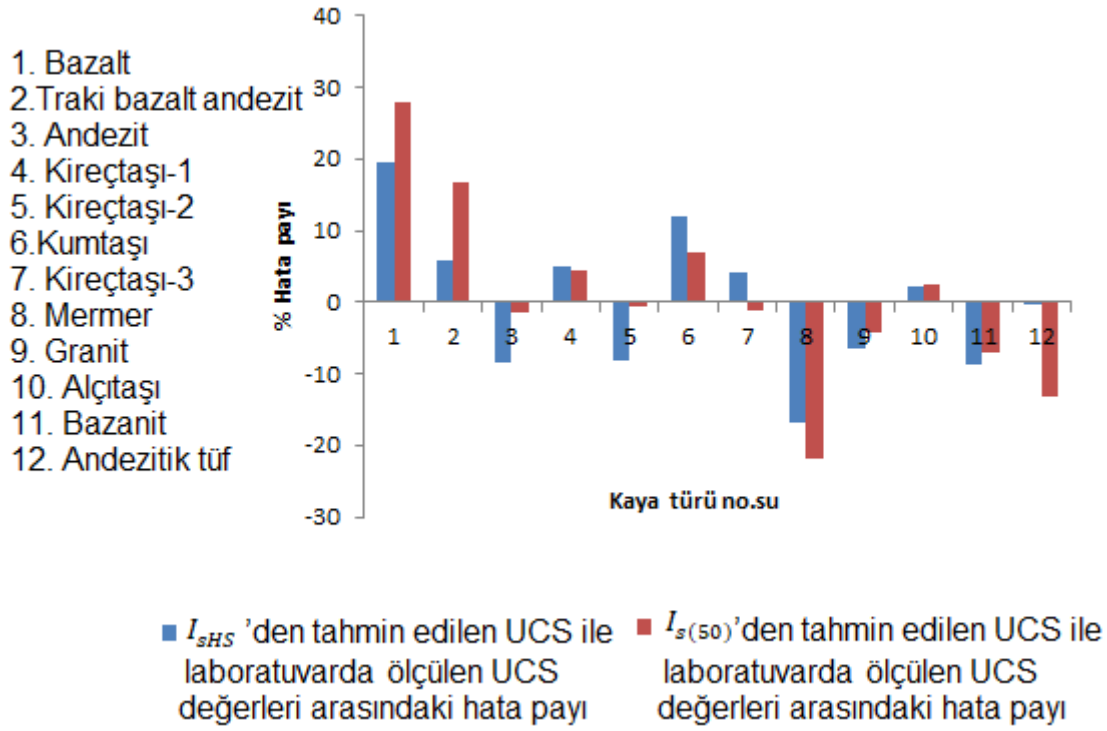
Şekil 5.31. Her kaya türü için silindirik karotlardan tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleriyle UCS'nin dolaylı yoldan tahmin edilmesi için gereken dayanım dönüştürme katsayıları ile tüm kaya türleri için ortalama dayanım dönüştürme katsayısının karşılaştırılması.



Şekil 5.32. Eşitlik 5.6'dan tahmin edilen ve deneyden belirlenen UCS değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.33. Silindirik karot örneklerden ($I_{s(50)}$) tahmin edilen UCS'lerin, ölçülen UCS'lere göre hata yüzde değişimleri.

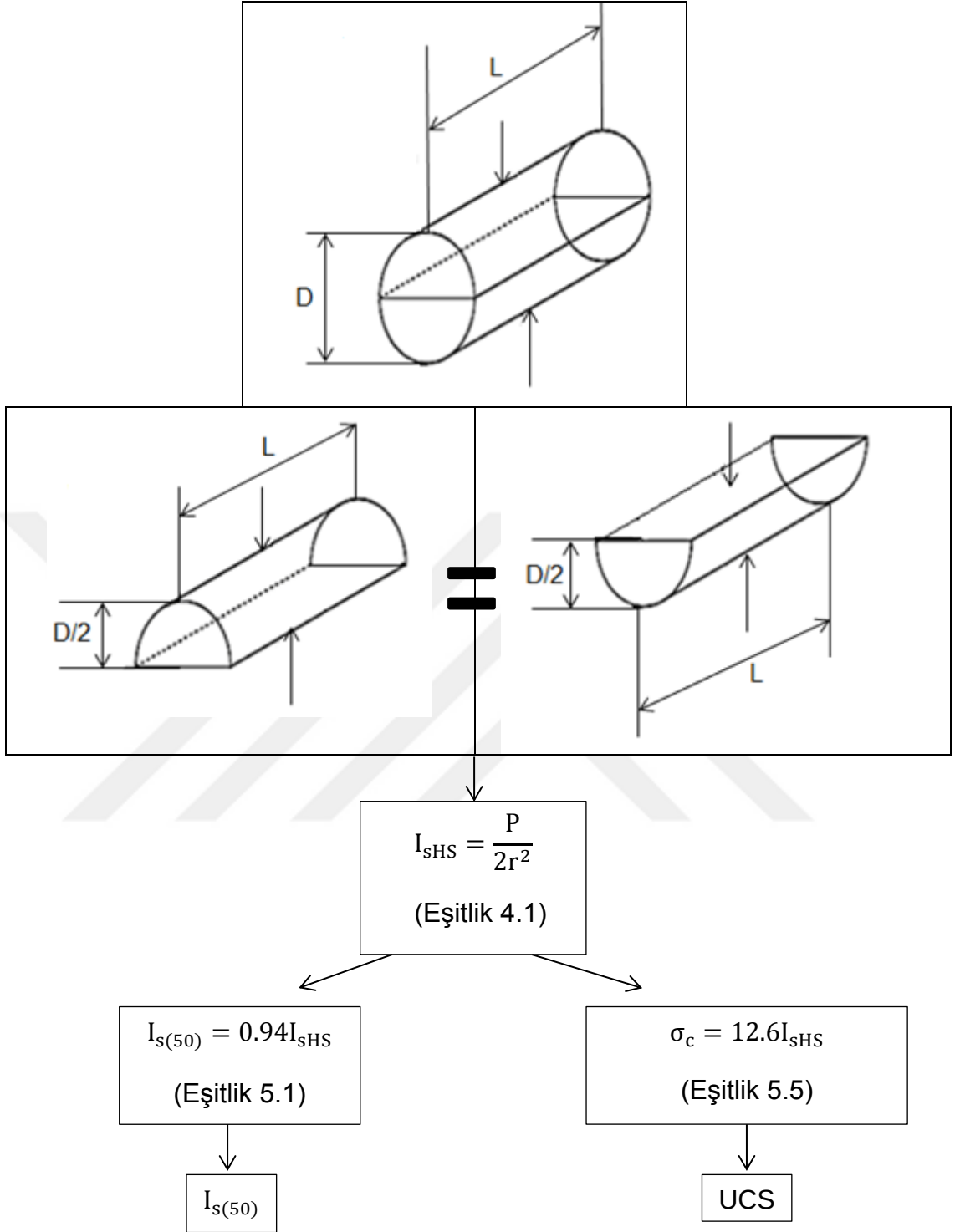


Şekil 5.34. I_{sHS} 'den ve $I_{s(50)}$ 'den tahmin edilen UCS değerlerinin laboratuvarıda tayin edilen UCS'lere göre hata paylarının karşılaştırılması.

Tüm bu çalışmalar özetlenecek olursa, nokta yükü dayanım indeksi deneyinde yarılanmış örneğin iki paçasından birinin (alt veya üst parça) kullanılması ve deney aletine iki farklı konumda yerleştirilmesi deneyin sonucunu değiştirmemektedir. Yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indeksleriyle;

- Eşitlik 5.1 kullanılarak $I_{s(50)}$
- Eşitlik 5.5 kullanılarak UCS tahmin edilmektedir.

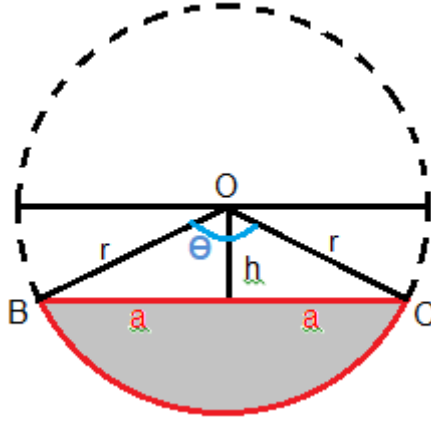
Tüm bu yöntemler Şekil 5.35'deki akış şemasında verilmiştir.



Şekil 5.35. I_{sHS} 'den $I_{s(50)}$ ve UCS'nin tahmin edilmesinde izlenecek yolu gösteren akış şeması.

Bu çalışmada karotların yarılanması işleminde ince (2 mm) bir kesme bıçağı kullanılmış, dolayısıyla karot çapı açısından orijinal silindirik karot örneklerinin çapına göre önemli bir farklılığı olmayan yarılanmış karotlar elde edilmiştir. Dolayısıyla yarılanmış karotlarda yapılan nokta yükleme deneylerinden I_{sHS} 'nin

hesaplanmasında, ortadan kesilen silindirik orijinal karota ait yarıçap değerleri esas alınmıştır. Bununla birlikte, jeokimyasal analizlerde kullanılmak üzere karotların arazide yarılanması için her kurum ve kuruluşun aynı incelikte kesme bıçağı kullanması söz konusu olmayabilir. Ayrıca kesme işlemleri sırasında kullanıcının dikkatsizliği (silindirik karotun yarılama makinesine doğru yerleştirilememesi gibi) durumlarda yarılanmış örneklerin eşit olarak ikiye bölünememesi, dolayısıyla yarılanmış örneklerin yarıçaplarının orijinal karotun yarıçapına (r) eşit veya çok yakın olmaması durumu ortaya çıkabilir. Bu durum, Şekil 5.36'daki çizimde içi gri tonla gösterilmiş yarılanmış karotun elde edilmesine neden olup, bu durumda I_{sHS} 'in Eşitlik 4.1'den değil, aşağıda verilen Eşitlik 5.7'den hesaplanması gerekmektedir.



Şekil 5.36. Silindirik karotların ortadan eşit şekilde ikiye yarılanmış karot elde edilecek şekilde kesilememesi durumunda yarılanmış karotların görünümü (r: Silindirik karot örneğinin yarıçapı, O: Silindirik karot örneğinin kesitinin merkezi, h: OBC üçgeninin yüksekliği, a: OBC ikizkenar üçgeninin taban kenarının uzunluğunun yarısı)

Bu durumda Eşitlik 2.1 veya Eşitlik 4.1'de I_{sHS} 'nin hesaplanmasında yarılanmış örneklerin düzensiz örnekler olması nedeniyle D_e , için $D_e^2 = 4A/\pi$ eşitliğinden ve dolayısıyla bu eşitlikte yer alan ve Şekil 5.36'da içi gri tonla gösterilen alanın (A) da aşağıdaki eşitlikten hesaplanması önerilir.

$$A = \frac{\pi r^2}{360} \times \theta - ah \quad (5.7)$$

Ancak örnek kalınlığının çok azalması durumunda yarılanmış karotlarda yapılacak nokta yükleme deneyinde deneyde kullanılacak yarılanmış örneğin kalınlığının en alt sınırının ne olacağı bu tez kapsamı dışında kalmakta olup, bu tür örneklerle yapılacak deneylerin geçerliliği üzerinde ayrı bir çalışmanın yapılması gerekmektedir.

5.6. İstatistiksel Anlamlılık Testleri

Bu bölümde, önceki alt bölümlerde değinilen görgül ilişkilerin regresyon katsayılarının önemlilik dereceleri SPSS [69] programı kullanılarak t- ve F- testleriyle (Davis [70]) araştırılmıştır. Bu testler, bağımsız bir parametreden bağımlı bir parametrenin belirlenmesi için oluşturulan regresyon modellerinin anlamlılığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu nedenle değerlendirmelerde, deneysel olarak tayin edilen ve görgül ilişkilerden tahmin edilen özelliklerin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımlarına ilişkin anlamlılığın belirlenmesi araştırılmıştır. Ancak Şekil 5.1 ve 5.2'deki grafiklerde eğimlerin 1($y=x$) olmasından dolayı bu grafikler için ayrıca 1:1($y=x$) grafiği çizilmemiş, basit regresyon analizi için kullanılan veriler t- ve F- testleri için de kullanılmıştır. Modellere ait tanımlar Çizelge 5.4'te verilmiştir. Tüm modeller için yapılan F- testlerinin sonuçları Çizelge 5.5'de, t- testi sonuçları ise Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Model 1, 2, 3 ve 4'e ait F-testi sonuçları incelendiğinde, ilişkilerin tahmin gücünü ifade eden regresyon katsayıları (R^2) 0,99 gibi oldukça yüksek değerlerdir (Çizelge 5.5). R^2 'nin bu denli yüksek olması uygulamalarda elde edilen eşitliklerin tahmin performansının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. F değerlerine karşılık gelen anlamlılık düzeyleri (p değerleri) 0.00 olarak belirlenmiş olup, $\alpha=0.05$ yanılma düzeyinden küçüktür ve standart hata 0,19 ile 0,24 arasında değişmektedir. Bu dört modele ait t-testi sonuçları sırasıyla 83.54, 102.25, 80.08 ve 152.35 olarak hesaplanmış olup, bu değerlere karşılık gelen anlamlılık düzeyi (p) 0.00 olarak belirlenmiştir. Bu değerler $\alpha=0.05$ hata düzeyinden küçük olup, standart hata 0,006 ile 0,012 arasında değişmektedir. Bu modellerdeki verilerin arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.4. F- ve t-testi yapılan modellerin tanımlanması.

Model No.	Tanımı
1	NX çaptaki örneklerin yarılanmasıyla elde edilen örnekler için, $I_{sHS(a)}$ ve $I_{sHS(ü)}$ 'nün karşılaştırılması (Şekil 5.1a).
2	NQ çaptaki örneklerin yarılanmasıyla elde edilen örnekler için, $I_{sHS(a)}$ ve $I_{sHS(ü)}$ 'nün karşılaştırılması (Şekil 5.1b).
3	BX çaptaki örneklerin yarılanmasıyla elde edilen örnekler için, $I_{sHS(a)}$ ve $I_{sHS(ü)}$ 'nün karşılaştırılması (Şekil 5.1c).
4	Bütün yarılanmış örneklerin, $I_{sHS(a)}$ ve $I_{sHS(ü)}$ 'nün karşılaştırılması (Şekil 5.2).
5	I_{sHS} 'den tahmin edilen $I_{s(50)}$ ile deneysel olarak tayin edilen $I_{s(50)}$ 'nin karşılaştırılması (Şekil 5.18).
6	$I_{sHS(23)}$ 'den tahmin edilen $I_{s(50)}$ ile deneysel olarak tayin edilen $I_{s(50)}$ 'nin karşılaştırılması (Şekil 5.25).
7	I_{sHS} 'den tahmin edilen σ_c ile deneysel olarak tayin edilen σ_c 'nin karşılaştırılması (Şekil 5.31).
8	$I_{s(50)}$ 'den tahmin edilen σ_c ile deneysel olarak tayin edilen σ_c 'nin karşılaştırılması (Şekil 5.37).

Çizelge 5.5. Tüm modeller için F- testi analiz sonuçları.

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Standart Hata	ANOVA	
					F	$p(\text{Anlamlılık})$
1	0,995	0,992	0,991	0,23	6980,511	0,000
2	0,997	0,994	0,994	0,19	10642,941	0,000
3	0,995	0,991	0,991	0,24	6414,058	0,000
4	0,996	0,992	0,992	0,22	23211,097	0,000
5	0,979	0,958	0,958	0,49	3968,849	0,000
6	0,970	0,940	0,940	0,58	2739,628	0,000
7	0,948	0,899	0,896	9,46	303,088	0,000
8	0,918	0,843	0,838	13,42	182,102	0,000

Model 5 incelendiğinde, F- ve t- değerlerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi yanılma düzeyinden küçüktür. F- testinde standart hata 0,49 iken, t- testinde 0.015'dir. F- ve t- testlerinin sonuçlarına göre, ortadan yarılanmış örneklerden tahmin edilen $I_{s(50)}$ ile deneysel olarak tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleri arasında anlamlı

bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, Model 6'da da F- ve t- değerlerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi yanılma düzeyinden küçük olup, standart hatalar F- testinde 0,58, t- testinde 0,017'dir. Yapılan tüm F- ve t-testlerinin sonuçlarından da görüldüğü gibi, $I_{SHS(23)}$ 'ten elde edilen eşitliğin I_{SHS} 'e göre daha yüksek hata değerleri vermiştir. Bu da Eşitlik 5.1'in Eşitlik 5.4'e göre daha iyi performans sergilediğinin bir göstergesidir.

Model 7'ye bakıldığında, F- testi sonucunun 303.088 olup, bu değere karşılık gelen anlamlılık düzeyinin $\alpha=0.05$ yanılma düzeyinden küçük olduğu görülmektedir. Standart hata 9.46 olarak belirlenmiştir. F- testi sonucu incelendiğinde, yarılanmış örnekler üzerinde gerçekleştirilen nokta yükü dayanım indeksinden dolayı şekilde tahmin edilen UCS ile deneysel olarak tayin edilen UCS değerleri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır. t-testi sonucu ise, t değerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi yanılma düzeyinden düşük olup, standart hata ise 0,051 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Tüm modeller için t-testi analiz sonuçları.

Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış katsayılar	t	p(Anlamlılık)
	B	Standart Hata	Beta		
1	1,005	0,012	0,996	83,54	0,000
2	0,991	0,010	0,997	102,25	0,000
3	0,983	0,012	0,995	80,08	0,000
4	0,994	0,006	0,996	152,35	0,000
5	0,919	0,015	0,979	62,999	0,000
6	0,904	0,017	0,970	52,341	0,000
7	0,889	0,051	0,948	17,409	0,000
8	0,971	0,072	0,918	13,495	0,000

Model 8 ise, silindirik karot örnekleri üzerinde tayin edilen nokta yükü dayanım indeksi değerlerinden dolayı yoldan tayin edilen UCS ile deneysel olarak tayin edilen UCS değerleri arasındaki ilişki esas alınmaktadır. Model 8'e ait F- testi sonucu 182.102 ve bu değere karşılık gelen anlamlılık düzeyi $\alpha=0.05$ yanılma düzeyinden küçüktür. Standart hata 13,42 olarak belirlenmiştir. t-testi sonucunda; t değerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi yanılma düzeyinden düşük olup, standart

hata 0,072 olarak belirlenmiştir. F- ve t-testlerinin sonuçlarından da görüldüğü gibi, yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indekslerinden tahmin edilen UCS değerlerinin hata payları, silindirik karot örneklerden tahmin edilen UCS'lerin hata paylarından daha düşüktür. Bu da; silindirik karot örneklerinden tahmin edilen UCS'lere göre (Eşitlik 5.6) yarılanmış örneklerin UCS tahmininde (Eşitlik 5.5), daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Bütün bu modellerdeki verilerin arasında istatistiksel açıdan anlamlı ve pozitif doğrusal ilişkilerin olduğu söylenebilir.



6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında, yarılanmış örnekler üzerinde nokta yükü dayanım indeksi deneyinin yapılabilirliği ve deney verisinin istatistiksel anlamda analiz sonuçları esas alınarak $I_{s(50)}$ 'nin ve UCS'nin yarılanmış karotlardan dolaylı yoldan tahmin edilmesi araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

(1) Yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indeksi deney aletine iki farklı konumda (alt ve üst) yerleştirilmesi sonucunda, alt ve üst örneklere ait deney sonuçlarının birbirlerine eşit oldukları veya aralarında ihmal edilebilir düzeyde fark bulunduğu, dolayısıyla alt veya üst yarılanmış örneklerden hangisi kullanılırsa kullanılsın deney sonucunu etkilemediği anlaşılmıştır.

(2) Nokta yükü dayanım indeksi deneyi yapılmış olan yarılanmış örneklerden, $I_{s(50)}$ 'nin tahmin edilmesi amacıyla; silindirik örnekler ile yarılanmış örneklerin nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçları arasındaki ilişkiler farklı fonksiyonlarla (doğrusal, geometrik, logaritmik, eksponansiyel) denenmiş olup, veri dağılımının en iyi doğrusal ilişkiyle temsil edildiği, bu ilişkinin oldukça yüksek bir korelasyon katsayısı verdiği ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu F- ve t-testleriyle belirlenmiştir. Buna göre; $I_{s(50)}$ 'nin tahmini için I_{sHS} değerlerine 0,94 katsayısının uygulanması gerekmektedir. Bu dayanım dönüştürme katsayısı, incelenen her kaya türü için ayrı ayrı ele alındığında, genel olarak 0,89 ile 0,99 arasında değişmektedir. Ayrıca yarılanmış örneklerden tahmin edilen $I_{s(50)}$ ile silindirik örneklerden tayin edilen $I_{s(50)}$ değerleri arasında hesaplanan hata paylarının tüm örneklerin %80'ininde %5'in altında olduğu belirlenmiştir.

(3) Yarılanmış örneklerde standart bir yarıçap düzeltmesinin uygulanabilirliği araştırılmış ve standart yarıçapın 23 mm olmasına karar verilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler ve değerlendirmeler, I_{sHS} ile $I_{sHS(23)}$ arasında belirgin bir farklılığın görülmemesi nedeniyle yarılanmış örneklerin yarıçap düzeltmesi yapılmadan da değerlendirmelerde kullanılabileceğini göstermiştir.

(4) Silindirik karot örneklerle yapılan UCS ile nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçları arasında oldukça yüksek bir korelasyon katsayısı veren ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Buna göre; UCS'nin dolaylı yoldan tahmini için nokta yükü dayanım indeksi değerlerinin 13.4 gibi bir dönüştürme katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. İncelenen her kaya türü için ayrı ayrı ele alındığında, bu katsayı 10.19 ile 18.52 ve genel olarak ise (en yüksek ve en düşük ikişer değer hariç) 11.1 ile 14.4 arasında değişmektedir. Dolaylı yoldan tahmin edilen UCS ile laboratuvar da doğrudan tayin edilen UCS arasındaki hata payının tüm örneklerin %75'inde %10'un altında kaldığı belirlenmiştir.

(5) Silindirik örneklerde tayin edilen UCS değerleri ile yarılanmış örnekler yapılan nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçları arasında yapılan regresyon analizleriyle belirlenen ilişki için oldukça yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiş ve bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu F- ve t-testleriyle belirlenmiştir. Buna göre; UCS'nin dolaylı yoldan tahmini için nokta yükü dayanım indeksi değerlerinin 12.6 gibi bir dönüştürme katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. Bu katsayı incelenen her kaya türü için ayrı ayrı ele alındığında, 9.04 ile 15.38 ve genel olarak ise (en yüksek ve en düşük ikişer değer hariç) 11.37 ile 14.1 arasında değişmektedir. Ayrıca I_{sHS} 'den ve $I_{s(50)}$ 'den tahmin edilen UCS'lerin laboratuvar da tayin edilen UCS'lere göre hata payları karşılaştırılmış olup, I_{sHS} 'den tahmin edilen UCS'lerin doğrudan laboratuvar da tayin edilen UCS değerlerine çok daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda; nokta yükü dayanım indeksinin yarılanmış karotlardan da belirlenebileceği ve bu değerlerin belirli bir katsayıyla çarpılmasıyla UCS'nin de düşük bir hata payıyla dolaylı olarak tahmin edilebileceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma yarılanmış karotlarda nokta yükü dayanım indeksinin tayin edilmesi konusunda bir ilk olmaktadır. Bu çalışmada yarılanmış karotların hazırlanmasında kalınlığı ince (2 mm) olan kesme bıçağı kullanılmış olup, ikiye ayrılan karot parçalarının yarıçapları yarılanan silindirik karot örneğinkine çok yakındır. Ancak daha kalın (>2 mm) kesme bıçaklarının kullanılması durumunda veya hatalı karot yarılama işlemlerinde yarılanmış karot parçalarının yarıçapları silindirik örneğinkine göre daha küçük olacak ve I_{sHS} 'nin hesaplanmasında bu

yarıçap değerinin kullanılması yerine, yarılanmış örneğin kesit alanı hesaplanıp burada eşdeğer yarıçapın (D_e) belirlenmesi ve bu değer kullanılarak I_{sHS} 'nin bulunması önerilir. Çok kalın bir kesme bıçağı kullanılarak yapılacak bir karot yarılama işlemi sonrasında elde edilecek yarılanmış örneklerin kalınlıklarının çok azalması durumunda ise, bu çalışmada önerilen I_{sHS} hesaplama yönteminin hangi ölçüde geçerli olabileceği konusunun ayrıca araştırılması gerekmektedir.

Bu deneyin silindirik ve düzensiz şekilli karotlarda yapılmasının yanı sıra, diğer bir alternatif olarak yarılanmış karotların da kullanılmasının mevcut nokta yükü dayanım indeksi deneyinin kapsamına dahil edilebilmesi için, benzer çalışmaların farklı laboratuvarlarda, farklı kaya türleri üzerinde ve farklı araştırmacılar tarafından yapılarak sonuçların birlikte değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Annual Book of ASTM Standards, ASTM. *Soil and Rock (I), Section 4, Construction. ASTM Publications*, Conshohockem, USA, **2000**.
- [2] Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods. *E.T. Brown (ed), Pergamon Pres*, Oxford, UK, 211p. **1981**.
- [3] ISRM, *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*, eds: Ulusay R. and Hudson J.A., Kozan Ofset, Ankara, **2007**.
- [4] Ulusay R., Erguler Z. A., Needle penetration test: evaluation of its performance and possible uses in predicting strength of weak and soft rocks. *Eng Geol* 149–150:47–56, **2012**.
- [5] Broch, E., Franklin, J. A., The point load strength test, *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.*, 9, 669-697, **1972**.
- [6] Pells, P.J. N., The use of the point load test in predicting the compressive strength of rock materials. *Australian Geomechanics Journal*, G5 (N1), 54-56, **1975**.
- [7] Hassani F. P., Scoble, M. J., Whittaker, B. N., Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for a new size correction chart. *The State of the Art in Rock Mechanics, Proceedings 21th. US. Symposium on Rock Mechanics*, 543-553, **1980**.
- [8] Read, J. R. L., Thornton, P. N., Regan, W. M., A relation approach to the point load test. *Proceedings 3 rd., Australian and New Zealand Conference on Geomechanics, Wellington*, 2, 35-39, **1980**.
- [9] ISRM (International Society for Rock Mechanics), Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech Abst.*, 22 (2), 51-60, **1985**.
- [10] Bieniawski, Z. T., Engineering rock mass classifications. *John Wiley and Sons*, 237 p., **1989**.

- [11] Kahraman, S., Günaydin, O., Fener, M., The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 42, 584-589, **2005**.
- [12] Sülükçü, S., *Disk makaslama indeks deneyinde boyut etkisinin ve yenilme mekanizmasının araştırılması ve deneyin diğer indeks deneyleriyle karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 108 s (yayımlanmamış), **2001**.
- [13] Sülükçü, S., Ulusay, R., Evaluation of the block punc index test with particular reference to the size effect, failure mechanism and its effectiveness in predicting rock strength. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 38, 1091-1111, **2001**.
- [14] Ma, G. W., Wu, W., Water saturation effects on sedimentary rocks. Civil Engineering Research, No. 23/2010, School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore, pp., 129–131, **2010**.
- [15] Guidicini, G., Nieble, C.M., Cornides, A.T., Analysis of point load test as a method for preliminary geotechnical classification of rocks. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 7, 37–52, **1973**.
- [16] Bieniawski, Z. T., The point load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9 (1), 1-11, **1975**.
- [17] Greminger, M., Experimental studies on the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point load testing. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 19: 241–246, **1982**.
- [18] Broch, E., Estimation of strength anisotropy using the point-load test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol:20, issue: 4, 181-187 pp., **1983**.
- [19] Fookes, P. G., Ohikere, C., Gourley, C. S., Rock weathering in engineering time. *Eng. Geo.*, 21, 33-57, **1988**.
- [20] Rodrigues, D. J., and Jeremias, F. T., Assessment of rock durability through index properties. Proc. 6th int. Cong. Of the IAEG, Amsterdam, pp., 3055-3060, **1990**.

- [21] Robins, P. J. Point-load strength test for concrete cores. Magazine of Concrete Research, Vol. 32, No. 111, pp. 101-111, **1980**.
- [22] Demir, M., *Nokta Yüklü Dayanımı Deneyine Etki Eden Faktörlerin Yapay Örnekler Kullanılarak Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, 116 s., **2011**.
- [23] Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınlar, 3.Baskı, 47-55, Ankara, **2011**.
- [24] Reichmuth, D. R., Correlation of force – displacement data with physical properties of rock for percussive drilling systems, in rock mechanics, *Proceedings of the 5th symposium on Rock mechanics* (C. Fairhurst, Editor) Pergamon Press, New York, pp. 33-61, **1963**.
- [25] Türk, N., Nokta yükleme deneyinin sonuçlarını değerlendirmek için önerilen yeni bir yöntem. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, No.8, 16 -22 s., İstanbul, **1986**.
- [26] Brook, M. L., Size correction for point load testing (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 17, 231- 235 pp., **1980**.
- [27] Brook, N., International Journal of Rock Mechanic and Mining Science & Geomechanic, 22: 61-70, **1985**.
- [28] Türk, N. and Dearmen, W. R., Improvements in the determination of point load strength. *Bultenin of The International Association of Engineering Geology*, 31, Paris, **1985**.
- [29] Türk, N., and Dearman,, W.R., A new procedure for determination of point load strength in site investigation. *Site Investigation Practice-Assessing BS 5930, Special. Publication No.2*, 406-41 pp., **1986**.
- [30] Türk, N., Kayaçların nokta yükleme dayanımını bulmak için yeni bir yöntem. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 10, 25-31 s., **1988**.
- [31] Forster, I.R., , The influence of core sample geometry on the .axial point-load test (Technical Note)., *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 20, 291-295pp., **1983**.

- [32] Norbury, D.R., The point Load test. Site Investigation Practice Assessing BS 5930, Special Publication No.2, 325-329 pp., **1986**.
- [33] Topal, T., Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler, *Jeoloji Mühendisliği* 24 (1), **2000**.
- [34] D'Andrea, D.V., Fisher, R.L., Fogelson, D.E., Prediction of compression strength from other rock properties. *Colorado Schools of Mines* 59 (4B), 623-640, **1964**.
- [35] Deere, D.U., Miller, R.P., *Engineering classification and index properties of intact rock*, Tech. Report No. AFWL-TR 65-116, Universty of Illinois, **1966**.
- [36] Al Jassar, S.H., Hawkins, A.B., Geotecfanieal properties of the Carboniferous- limestone of the Bristol area-the influence of petrography and chemistry. *4th. Conference on International Society .for Rock Mechanics, Montreoux*, 1, 3 -14 pp., **1979**.
- [37] Gunsallus, K. L., Kulhawy, F. H. A comparative evaluation of rock strength measures, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 21, 233-248, **1984**.
- [38] Das B. M., Evaluation of the Point Load Strength for Soft Rock Classification. Proceeding of the 4th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WV, pp. 220-226, **1985**.
- [39] Hawkins, A.B., and Olver, J.A.G., Point load tests: Correlation factors and contractual use an example from the Corallian at Weymouth. *Site Investigation Practice: Assessiog BS 5930., Special Publication No.2*, 269-27 pp., **1986**.
- [40] O'Rourke JE. Rock Index Properties for Geoengineering Design in Underground Development. SME preprint 88-48, 5 pp.,**1988**.
- [41] Vallejo LE, Walsh RA, Robinson MK. Correlation Between Unconfined Compressive and Point Load Strength for Appalachian Rocks. In the Proceeding of the 30th U.S. *Symposium on Rock Mechanics*, pp.461-468, **1989**.
- [42] Ghosh, D. K., Srivastava, M., Point-load strength: an index for classification of rock material, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 44, 27-33., **1991**.

- [43] Singh VK, Singh DP. Correlation Between Point Load Index and Compressive Strength for Quartzite Rocks. *Geotechnical and Geological Engineering*, 11, pp. 269-272, **1993**.
- [44] Ulusay, R., Türel, K., and Ider, M. H., Prediction of Engineering Properties of a selected Litharenite Sandstone from its Petrographic Characteristics using Correlation and Multivariate Statistical Techniques, *Engineering Geology*, 38(2), 135-157, **1994**.
- [45] Chau KT, Wong RHC. Uniaxial Compressive Strength and Point Load Strength of Rocks. *Int. Journal of Rock Mech. Min. Sci and Geomech.*, Vol, 33, No. 2, pp., 183-188, **1996**.
- [46] Smith, H. J., The point load test for weak rock in dredging applications, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34, 295, 3-4, **1997**.
- [47] Rusnak, J. A., Mark, C., Using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock, *Proceedings of 19th international conference on ground control in mining*, 362-371, **1999**.
- [48] Kahraman, S., Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 981-994, **2001**.
- [49] Lashkaripour, G. R., Predicting mechanical properties of mudrock from index parameters. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 61, 73-77 pp., **2002**.
- [50] Quane, S. L., Russel, J. K. Rock strength as a metric of welding intensity in pyroclastic deposits, *European Journal of Mineralogy*, 15, 855-864, **2003**.
- [51] Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., Considerations on strength of intact sedimentary rocks, *Engineering Geology*, 72:261-273, **2004**.
- [52] Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., Gunaydin, O. A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(4), 329-343, **2005**.
- [53] Akram, M., Bakar, M. Z. A., Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks, *Pak. J. Engg. And Appl. Sci.* Vol.1, **2007**.

- [54] Heidari, M., Khanlari, G. R., Kaveh, M. T., Kargarian, S., Predicting the uniaxial compressive and tensile strengths of gypsum rock by point load testing, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 265-273, **2012**.
- [55] Singh, T.N., Kainthola, A., Venkatesh, A., Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types. *Rock Mech Rock Eng.* 45, 259-264 pp., **2012**.
- [56] Salah, H., Omar, M., Shanebleh A., Estimating unconfined compressive strength of rock in United Arab Emirates from point load strength index. *Journal of Applied Mathematics and Physisc* 2: 296-303, **2014**.
- [57] Kaya, A., Karaman, K., Utilizing the strength conversion factor in the estimation of uniaxial compressive strength from the point load index. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 75: 341-357, **2015**.
- [58] Binal, A., Prediction of mechanical properties of non-welded and moderately welded ignimbrite using physical properties, ultrasonic pulse velocity, and point load index tests. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42, 107-122, **2009**.
- [59] Tsidzi, K. E. N., Point load-uniaxial compressive strength correlation, *Proceeding of 7th ISRM Congress, Aachen, Germany*, 1, 637-639, **1991**.
- [60] Diamantis, K., Gartzos, E., Migiros, G, Study on uniaxial compressive strength, point load strength index, dynamic and physical properties of serpentinites from Central Greece: test result and empirical relations. *Engineering Geology* 108 (3-4): 199-207, **2009**.
- [61] Kahraman, S., Gunaydin, O., Fener, M., The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42, 584-589, **2005**.
- [62] Suarez-Burgoa, L. O., On the reliability of the uniaxial compressive strength obtained from the point load index. In Qihu Qian and Yingxin Zhou, editors, *Proceedings of the 12th International Congress on Rock Mechanics: Harmonizing Rock Engineering and the Environment*, 1, 837-839, **2012**.
- [63] Suárez-Burgoa, L.O., Descripción del Macizo Rocosó, First Edition. Brasília DF: Editorial El Autor, **2010**.

- [64] MTA, 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (Eylül, **2017.**)
- [65] Çakır, Ü., Yılmaz, A., Yuvaköy Civarındaki Ankara Karmaşığının Petrolojik Özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 50, Sayı 2, **2007.**
- [66] Dora, Ö., Karakoca Granit Masifinde Petrolojik ve Metalojenik Etütleri, *Ege Üniversitesi, Jeoloji Kürsüsü*, İzmir.**1967.**
- [67] Korkmaz, S., Sadıklar, M. B., Van, A., Tüysüz, N., Ercan, T., Üst Kretase yaşlı Şaraf Tepe (Trabzon) Bazanitinin Jeokimyasal Özellikleri ve Jeoteknik Anlamı. Türkiye Jeoloji Bülteni, C.36, 37- 43 s., **1993.**
- [68] Abidinoğlu, E., Arslan, M., Hydrothermally Altered Rocks of the Kutular (Sürmene) Massive Sulfide Deposit, NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences. Vol. 18, 139-162pp., **2009.**
- [69] SPSS, Statistical Package for the Social Sciences, SPSS v.15.0 for Windows. SPSS Inc., Chicago, **2006.**
- [70] Davis, C.J., Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley Sons. Inc New York, 550 p., **1973.**

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Merve ŞAHİN

Doğum yeri: Altındağ/ ANKARA

Medeni hali: Bekar

E-posta: mrvesahn_@hotmail.com

Adres: Atatürk Mah. Adnan Menderes Bulv. No:55/3 Çubuk/ANKARA

Eğitim

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2009 - 2014)

Yüksek lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2014-2018)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce (İyi)

İş Deneyimi

Deneyim Alanları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 07.05.2018

Tez Başlığı / Konusu: NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİNİN YARILANMIŞ KAROT

ÖRNEKLERİNDEN BELİRLİ NEBİLİRLİĞİNİN ARASTIRILMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 87 sayfalık kısmına ilişkin, 03.05.2018 tarihinde şahsen/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

07.05.2018
M.Şahin
Tarih Ve İmza

Adı Soyadı: Merve ŞAHİN

Öğrenci No: 1414222740

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Jeoloji Mühendisliği - Yüksek Lisans

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Resat ULUSAY

(Unvan, Ad Soyad, İmza)