

**TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ FARKLI BOY/ÇAP
ORANLARINDAKİ ÖRNEKLERDEN BELİRLENMESİ
YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ASSESSMENT OF THE APPROACH PROPOSED FOR
DETERMINATION OF UNIAXIAL COMPRESSIVE
STRENGTH FROM SPECIMENS WITH DIFFERENT
LENGTH TO DIAMETER RATIOS**

AYLİN FİDAN ÜZGÜN

DOÇ. DR. ERGÜN TUNCAY

Tez Danışmanı

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

2017

AYLİN FİDAN ÜZGÜN' ün hazırladığı “Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Farklı Boy/Çap Oranındaki Karotlardan Elde Edilmesi Yaklaşımı Performansının Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Hüsnü AKSOY
Başkan


.....

Doç. Dr. Ergün TUNCAY
Danışman


.....

Prof. Dr. Reşat ULUSAY
Üye


.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN
Üye


.....

Yrd. 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

YAYINLAMA 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 kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

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, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

Tezimin/Raporumun 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 ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

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

Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

01/06/2017

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Aylin FIDAN ÜZGÜN

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.

01.06.2017



AYLİN FİDAN ÜZGÜN

ÖZET

TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ FARKLI BOY/ÇAP ORANLARINDAKİ ÖRNEKLERDEN BELİRLENMESİ YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Aylin FİDAN ÜZGÜN

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ergün TUNCAY

Mayıs 2017, 88 sayfa

Laboratuvarda yapılan deneylerde, tek eksenli sıkışma dayanımını (UCS) etkileyen parametrelerden biri de deneyde kullanılacak kaya örneklerinin boy/çap (L/D) oranıdır. Bu oran değiştiğinde UCS değerlerinde de değişme olduğu farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan bilinmektedir. Amerikan Malzeme ve Test Birliği (ASTM) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) tarafından UCS deneyinde kullanılacak kaya örneğinin L/D oranı, sırasıyla 2.0-2.5 ve 2.5-3.0 olarak önerilmektedir. Bunun yanı sıra, küçük L/D oranına sahip örneklerden belirlenen UCS'ler için önerilen bazı düzeltme eşitliklerinde L/D oranı 2.5 olan örnekten belirlenen UCS değeri standart kabul edilirken, bazı eşitliklerde bu oran 2.0 olarak seçilmiştir. Bu farklılıklar dikkate alınarak, bir araştırmacı grubu tarafından kaya türüne bağlı olarak farklı L/D oranlarının seçilebileceği ve daha düşük L/D oranlarına sahip örneklerdeki deneylerden elde edilen UCS'lerin düzeltilmesine olanak sağlayan bir yöntem önerilmiştir (tez çalışmasında L/D SINIF yöntemi olarak adlandırılmıştır). Uluslararası önerilerde ve standartlarda belirtilen L/D oranlarındaki farklılıklar göz önüne alındığında, L/D SINIF yönteminin kullanılabilirliği önem kazanmaktadır. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında değinilen yöntemin geçerliliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu amaçla, Türkiye'nin farklı yerlerindeki taş üreticilerinden sedimanter, magmatik ve metamorfik kökenli 10 farklı kayaya ait blok örnekler temin edilmiştir. Bu blok

örneklerden NQ(47mm) çaplı, 1.0, 1.25, 1.50, 1.75, 2.0, 2.5 ve 3.0 L/D oranlarında örnekler hazırlanarak UCS deneyleri ile kaya örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla gereken deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar L/D SINIF yöntemindeki önerilere uygun olarak değerlendirilmiş ve bu yöntemden belirlenen UCS'ler ile ISRM'in önerisine uygun şekilde belirlenen UCS'ler (UCS_{ISRM}) istatistiksel analizler de yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her bir kaya türü için Schmidt çekici, nokta yükü dayanımı indeksi, disk makaslama dayanım indeksi ve iğne penetrometre dayanım indeksi deneyleri yapılarak dolaylı yoldan UCS değerleri de belirlenmiştir. Bu sonuçların UCS_{ISRM} 'dan olan değişimleri ile $L/D < 2$ oranındaki örneklerden L/D SINIF yöntemine uygun şekilde belirlenen UCS'lerin değişimleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, L/D SINIF yöntemi kullanılarak seçilen L/D oranlarına sahip örneklerden belirlenen UCS'lerin, UCS_{ISRM} 'lerle çok benzer olduğu ve derlenen kaya örnekleri için yöntemin kullanılabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, bu yöntemden elde edilen sonuçların indeks deneylerden elde edilenlere göre ISRM önerisinden belirlenen UCS'lerle çok daha uyumlu olduğu tespit edilmiş olup, $L/D = 1.0$ oranına kadar örnek alınabilen kayalarda bu yöntemin indeks deneylere tercih edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Boy/çap oranı, indeks deneyler, L/D SINIF yöntemi, tek eksenli sıkışma dayanımı

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE APPROACH PROPOSED FOR DETERMINATION OF UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH FROM SPECIMENS WITH DIFFERENT LENGTH TO DIAMETER RATIOS

Aylin FİDAN ÜZGÜN

Master of Science, Geological Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ergün TUNCAY

May 2017, 88 pages

One of the parameters affecting the uniaxial compressive strength (UCS) of rock in laboratory is the length to diameter ratio (L/D) of rock specimens. It is known from the studies conducted by different researchers that if the L/D ratio changes the UCS values also changes. L/D ratios of rock specimen used for the UCS test is suggested in the range of 2.0-2.5 and 2.5-3.0 by the American Society for Test Standards (ASTM) and International Society for Rock Mechanics (ISRM), respectively. Besides, while the UCS values also determined from the samples with 2.5 L/D ratio are accepted as standard in some correction equations proposed for UCSs, which are determined from cores with small L/D ratio, this ratio is selected as 2.0 in some equations. By considering these differences, a method which allows the selection of different L/D ratios depending on the rock type and the correction of UCSs obtained from experiments with specimens having lower L/D ratios (in the thesis study, it is called as L/D CLASS method) was proposed by a researcher group. Given the differences in the L/D ratios specified in international suggested methods and standards, the availability of the L/D CLASS method becomes important. For this reason, in this thesis study, it is aimed to investigate the validity of the mentioned method.

For this purpose, block samples belonging to 10 different rocks of sedimentary, magmatic and metamorphic origin were obtained from stone producers in different

parts of Turkey. Experiments in order to determine some physical and mechanical properties of these rock samples and UCS experiments were carried out on specimens with L/D ratios of 1.0, 1.25, 1.50, 1.75, 2.0, 2.5 and 3.0 in the laboratory. The results obtained were evaluated in accordance with the L/D CLASS method and the UCSs determined from this method were compared with the UCSs (UCS_{ISRM}) determined in accordance with the ISRM suggested methods with the aid of statistical analyses. In addition, UCS values for each rock type were also determined indirectly by performing Schmidt hammer, Point load strength index, Block punch strength index and Needle penetration strength index tests. The variation in the results from UCS_{ISRM} and these of the UCS determined according to the L/D CLASS method from cores with $L/D < 2$ were compared. As a result, it was seen that the UCSs determined from the cores with the selected L/D ratios using the L/D CLASS method were very similar to the UCS_{ISRM} values and the method could be used for the rock samples used in this. In addition, it was concluded that the results obtained from this method were much more similar to the UCS's determined by considering ISRM suggested method than those obtained from the index tests, and this method should be preferred instead of index tests for rocks from which specimens with up to the ratio of $L/D=1.0$ can be taken.

Keywords: Length to diameter ratio, index tests, L/D CLASS method, uniaxial compressive strength

TEŞEKKÜR

Tez kapsamında y¼r¼t¼len alıŐmaların her aŐamasında yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecr¼besiyle yolumu aydınlatan, tezin geliŐiminde b¼y¼k emeği olan danışmanım Doç. Dr. Erg¼n TUNCAY'a,

Laboratuvar çalıŐmalarındaki yardımlarından dolayı Hacettepe Üniversitesi Jeoloji M¼hendislięi B¼l¼m¼ M¼hendislik Jeolojisi Laboratuvarı teknisyenleri Ahmet BAY ve zg¼r EROL'a

Savunma sınavı aŐamasındaki katkı ve değerlendirmeleri ile j¼ri yeleri; Prof. Dr. H¼sn¼ AKSOY, Prof. Dr. Reşat ULUSAY, Doç. Dr. Mehmet Ali H¼NDİSTAN ve Yrd. Doç. Dr. Hasan KARAKUL'a

ÇalıŐmalarım sırasında her daim yanımda olan sevgili aileme,

teŐekk¼r¼ bir borç bilir, çalışmamın m¼hendislik alanında ilgili konu üzerine ıŐık tutmasını dilerim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖRNEK BOYUTU VE ŞEKLİNİN TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMINA ETKİSİ.....	5
2.1. Boyut Etkisi	5
2.2. Şekil (Boy/Çap Oranı) Etkisi.....	7
3. İNDEKS DENEYLER İLE UCS TAYİNİ	15
3.1. Schmidt Çekici Deneyi	15
3.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi.....	17
3.3. Disk Makaslama Dayanım İndeksi Deneyi	19
3.4. İğne Penetrometre Deneyi	21
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN KAYA ÖRNEKLERİ.....	23
4.1. Örnekleme	23
4.2. Mineralojik-Petrografik İncelemeler	25
5. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	28
5.1. Örneklerin Deneylere Hazırlanması ve İzlenen Yöntemler	28
5.2. Birim Hacim Ağırlık ve Görünür Boşluk Oranı Tayinleri	30
5.3. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) Deneyleri.....	32
5.4. Brazilian Çekilme Dayanımı Deneyleri	37
5.5. Schmidt Çekici Deneyleri	38

5.6. Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi Deneyleri	39
5.7. Disk Makaslama Dayanım İndeksi Deneyleri	40
5.8. İğne Penetrometre Deneyleri	42
6. FARKLI L/D ORANINA SAHİP ÖRNEKLERDEN VE İNDEKS DENEYLERDEN UCS'NİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER.....	44
6.1. UCS'nin Farklı L/D Oranındaki Örneklerden Belirlenmesi	44
6.2. İstatistiksel Anlamlılık Testleri	55
6.3. UCS'nin İndeks Deneylerden Tahmin Edilmesi	58
6.3.1. Schmidt Çekici Geri Sıçrama Sayısından UCS Tahmini.....	58
6.3.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksinden UCS Tahmini	61
6.3.3. Disk Makaslama Dayanımı İndeksinden UCS Tahmini.....	63
6.3.4. İğne Penetrometre İndeksinden UCS Tahmini	65
7. GENEL DEĞERLENDİRME	68
7.1. L/D SINIF Yöntemine İlişkin Değerlendirmeler	68
7.2. İndeks Deneylerden ve L/D SINIF Yöntemindeki Düzeltme Eşitliğinden Belirlenen UCS'lerin Karşılaştırılması	70
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Örnek alt ve üst yüzeyleri ile yükleme başlıkları arasında (a) sürtünme etkisinin olmadığı ve (b) olduğu durumlarda yanal yer değiştirme [7].	2
Şekil 1.2.	Örnek alt ve üst yüzeyleri arasındaki sürtünme etkisini gidermeye yönelik öneriler: (a) örnek ile yükleme başlıkları arasının yağlanması (b) kemik şekilli örnek ve (c) epoksi kullanılarak hazırlanan örnek [6].	3
Şekil 2.1.	Boyut farklılığının kayanın dayanımı üzerindeki etkisi [15].	6
Şekil 2.2.	Mogi [2] tarafından üç kaya örneği için belirlenen L/D-UCS ilişkileri.	7
Şekil 2.3.	(a) John [9] ve (b) Thuro vd. [3] tarafından belirlenen L/D-UCS ilişkileri.	8
Şekil 2.4.	Yedi kaya örneği için L/D – UCS ilişkileri [4].	9
Şekil 2.5.	Farklı çapta ve farklı L/D oranlarındaki örneklerde yükleme başlığı (a) kullanılarak (sürtünme mevcut) ve (b) kullanılmadan (sürtünme yok) yapılan sayısal çözümlenmeler [27].	10
Şekil 2.6.	Yükleme başlığı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan sayısal çözümlenmeler sonucu elde edilen L/D-UCS değişimleir [27].	11
Şekil 3.1.	Granit örnekleri için L tipi Schmidt çekiciyle belirlenen geri sıçrama değerlerinden UCS tayini [43].	16
Şekil 3.2.	Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki [44].	16
Şekil 3.3.	NX (54mm) çaplı örnekler için I_s ile UCS arasındaki ilişki [1].	18
Şekil 3.4.	UCS ve diğer indeks deneyler arasındaki ilişkiler [58].	20
Şekil 4.1.	Çalışmada kullanılan kayaların örnekleme yerleri ve örnek numaraları	23

Şekil 4.2.	Çalışma kapsamında incelenen kaya örneklerine ait bloklardan görünüm.....	24
Şekil 4.3.	İncelenen kaya örneklerine ait mikroskop görüntüleri ve yapılan tanımlamalar.	26
Şekil 4.3.	(Devam ediyor)	27
Şekil 5.1.	UCS deneyi için hazırlanan farklı L/D oranlarındaki örnekler.....	29
Şekil 5.2.	Örneklerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin dağılımı ve istatistiksel değerlendirme sonuçları.....	31
Şekil 5.3.	L/D=1.0-3.0 arasında değişen örnekler üzerinde yapılmış UCS deneylerine ait seçilmiş görüntümler.	33
Şekil 5.4.	İncelenen örnekler için UCS'nin L/D'ye bağlı değişimleri.....	36
Şekil 5.5.	Brazilian deneyi sonrasında yenilmiş örnekler.....	37
Şekil 5.6.	(a) Nokta yükü dayanımı deneyinin çapsal olarak andezit numunesi üzerinde uygulanması ile (b) nokta yükleme dayanımı deneyi uygulanmış kaya örneklerinden görüntümler.....	39
Şekil 5.7.	BPI deneyi için hazırlanmış ve deney yapılmış örneklerden görüntümler.....	41
Şekil 5.8.	Blok örneklerden birinde yapılan iğne penetrometre deneyinden (NPT) bir görünüm.....	43
Şekil 6.1.	L/D SINIF yöntemindeki (a) Öneri 1, (b) Öneri 2 ve (c) Öneri 3'e göre tespit edilmiş L/D oranlarındaki örneklerden belirlenen UCS'ler ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$) ile ISRM [12] önerisindeki L/D aralığındaki örneklerden belirlenenlerin (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.	46
Şekil 6.2.	L/D SINIF yöntemindeki (a) Öneri 2 ve (b) Öneri 3'ten tespit edilmiş L/D aralıklarındaki örneklerden belirlenen UCS'ler ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$) ile L/D=3 oranındaki örneklerden belirlenenlerin ($UCS_{L/D=3}$) karşılaştırılması.	47

Şekil 6.3.	L/D SINIF yönteminden belirlenen UCS'lerin ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$) (a) ISRM [12] önerisine uygun belirlenmiş UCS'ler (UCS_{ISRM}) ile (b) L/D=3.0 olan örneklerdeki UCS'lere göre yüzde sapmaları.	49
Şekil 6.4.	Düzeltilmiş UCS'ler (UCS_c) ile (a) ISRM [12] önerisine, (b) L/D SINIF yöntemi – Öneri 1 (c) Öneri 2'ye göre belirlenmiş UCS'lerin karşılaştırılması.	52
Şekil 6.5.	Düzeltilmiş UCS'lerin (UCS_c) (a) ISRM [12] ve (b) L/D SINIF yöntemi - Öneri 1, (c) Öneri 2 (d) Öneri 3 dikkate alınarak belirlenen UCS'lerden yüzde değişimleri.	53
Şekil 6.5.	(Devam ediyor).....	54
Şekil 6.6.	Schmidt çekici geri sıçrama sayısında farklı araştırmacıların ilişkileriyle hesaplanan UCS'lerin (UCS_{SH}), ISRM [12]'ye uygun belirlenmiş UCS'lerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.	60
Şekil 6.7.	En küçük sapmaların gözlemlendiği ilişkilerle belirlenmiş UCS_{SH} 'lerin UCS_{ISRM} 'den yüzde değişimleri.	61
Şekil 6.8.	Nokta yükü dayanımı indeksinden dolayı olarak belirlenen UCS'lerin (UCS_{PLI}), ISRM [12] önerisine uygun belirlenmiş UCS'lerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.	62
Şekil 6.9.	UCS_{PLI} 'lerin UCS_{ISRM} 'den yüzde değişimleri.....	63
Şekil 6.10.	Disk makaslama dayanımı indeksinden ISRM [12] (UCS_{ISRM}) ve Sönmez ve Tunusluoğlu [65] önerilerine uygun olarak belirlenmiş UCS'ler (UCS_{BPI}) ile UCS_{ISRM} 'lerin karşılaştırılması.....	64
Şekil 6.11.	UCS_{BPI} 'lerin, UCS_{ISRM} 'lerden olan yüzde değişimleri.	65
Şekil 6.12.	İğne penetrometre deneyi ve farklı araştırmacıların ilişkileri ile belirlenen UCS'lerin (UCS_{NPI}) ISRM [12] önerisine uygun belirlenenlerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.	66
Şekil 6.13.	UCS_{NPI} 'lerin, UCS_{ISRM} 'lerden yüzde değişimleri.....	67

Şekil 7.1. UCS_{ISRM} ile (a) indeks deney sonuçlarının ($UCS_{İNDEKS}$) ve (b) L/D SINIF yönteminde $L/D < 2$ olan örneklerden belirlenmiş sonuçların ($UCS_{ÖNERİ}$) karşılaştırılması72

Şekil. 7.2. İndeks deneylerden ve L/D SINIF yönteminden ($L/D < 2$ olan örneklerdeki deneylerden) elde edilmiş sonuçların, UCS_{ISRM} 'dan olan yüzde farkları.....73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. UCS deneylerinde kullanılacak örnekler için Tuncay vd. [8] tarafından önerilen L/D oranı sınıfları ve daha düşük L/D oranlarındaki örneklerden belirlenen UCS'ler için düzeltme eşitliği. .13	
Çizelge 2.2. Kaya malzemeleri için önerilen m_i değerleri [13].....14	
Çizelge 3.1. L tipi Schmidt çekici geri sıçrama sayısı (R_L) ve UCS arasındaki korelasyonlar.....17	
Çizelge 3.2. UCS- İğne penetrasyon indeksi (NPI) ilişkisi için önerilen eşitlikler. .22	
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan örneklere ilişkin genel bilgiler.....25	
Çizelge 5.1. Derlenen kaya türlerine ait ortalama kuru birim hacim ağırlık ve görünür boşluk oranı değerleri.32	
Çizelge 5.2. Farklı L/D oranlarına sahip örneklerde belirlenen UCS değerleri. ...34	
Çizelge 5.3. Kaya örneklerine ait Brazilian çekilme dayanımı (σ_{TB}) değerleri.....38	
Çizelge 5.4. Kaya örneklerine ait Schmidt çekici deney sonuçları.....39	
Çizelge 5.5. Kaya örneklerine ait nokta yükü dayanımı ($Is_{(50)}$) değerleri.....40	
Çizelge 5.6. Kaya örneklerine ait Disk makaslama dayanımı indeksi (BPI) deney sonuçları.....42	
Çizelge 5.7. İğne penetrometre deney sonuçları.....43	
Çizelge 6.1. L/D SINIF yönteminin önerilerine göre belirlenmiş L/D aralıkları.45	
Çizelge 6.2. L/D SINIF yöntemi ile ISRM [12] önerisi dikkate alınarak belirlenmiş UCS'ler.....45	
Çizelge 6.3. Düşük L/D oranına sahip örneklerden elde edilen UCS'ler ile düzeltilmiş değerleri (UCS_c).51	

Çizelge 6.4. Model 1, 2 ve 3 için F - testi sonuçları.	56
Çizelge 6.5. Model-1, Model-2 ve Model-3 için t - testi sonuçları.	56
Çizelge 6.6. Model 4 ve 5 için F - testi sonuçları.	56
Çizelge 6.7. Model-4 ve Model-5 için t - testi sonuçları.	57
Çizelge 6.8. Model 6, 7 ve 8 için F - testi sonuçları.	57
Çizelge 6.9. Model-5, Model-6 ve Model-7 için t - testi sonuçları.	57
Çizelge 6.10. Schmidt çekici geri sıçrama değerleri ve farklı araştırmacıların önerdikleri görgül ilişkiler kullanılarak belirlenen UCS'ler (UCS_{SH})...59	59
Çizelge 6.11. Nokta yük dayanımı indeksi deneyi ve ISRM [12] önerisine göre belirlenmiş UCS'ler.....	62
Çizelge 6.12. Disk makaslama dayanımı indeksi farklı önerilere göre tahmin edilmiş UCS'ler (UCS_{BPI}).....	64
Çizelge 6.13. İğne penetrometre ve farklı araştırmacıların eşitlikleri kullanılarak belirlenen UCS'ler.	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

D	Örnek çapı
e	Boşluk oranı
F	BPI deneyinde boyut düzeltme faktörü
F	F testi değeri
$F_{t,d}$	Yenilme anında t kalınlığında ve D çapındaki örneğe uygulanan yük
I_s	Nokta yükü dayanım indeksi
$I_{s(50)}$	50 mm'lik çapa karşılık gelen I_s değeri
K	UCS'nin I_{s50} 'den tahmininde kullanılan katsayı
L	Örnek boyu
m_i	Kaya malzemesi için önerilen Hoek-Brown sabiti
NQ	47.6 mm çaplı silindirik örnek
NX	54 mm çaplı silindirik örnek
ρ	Anlamlılık düzeyi
R	Schmidt çekici geri sıçrama değeri
R_L	L tipi Schmidt çekici geri sıçrama değeri
t	Örnek kalınlığı
t	t testi değeri
σ_{tB}	Brazilian çekilme dayanımı
γ	Birim hacim ağırlık

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Birliği
BPI	Disk makaslama dayanım indeksi
BPI_c	Çap ve kalınlık düzeltmesi uygulanarak hesaplanmış BPI

ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
L/D	Silindirik örneğin boy/çap oranı
$(L/D)_{lim}$	Limit L/D değeri
L/D SINIF	Tuncay vd. [8] tarafından önerilmiş L/D belirleme yöntemi
NP	İğne penetrometre deneyi
NPR	İğne penetrometre direnci
NPI	İğne penetrometre indeksi
NPT	İğne penetrometre deneyi
PLI	Nokta yükü dayanımı indeksi
SH	Schmidt çekici deneyi
UCS	Tek eksenli sıkışma dayanımı
UCS_{BPI}	Disk makaslama indeksinden dolayı olarak hesaplanmış UCS
UCS_{ISRM}	ISRM [12]'ye göre uygulanmış UCS
UCS_{NPI}	İğne penetrometre deneyinden dolayı olarak hesaplanmış UCS
UCS_{PLI}	Nokta yükü dayanım indeksinden dolayı yoldan hesaplanmış UCS
UCS_{SH}	Schmidt çekici geri sıçrama sayısından dolayı olarak hesaplanmış UCS
UCS_2	L/D oranı 2 olan örneklerden belirlenen UCS
$UCS_{2.5}$	L/D oranı 2.5 olan örneklerden belirlenen UCS
UCS_{50}	50mm'lik çapa karşılık gelen UCS
$UCS_{L/D:3.0}$	L/D oranı 3.0 olan örneklerden belirlenen UCS
$UCS_{ÖNERİ1-4}$	L/D SINIF Yöntemine göre belirlenmiş UCS

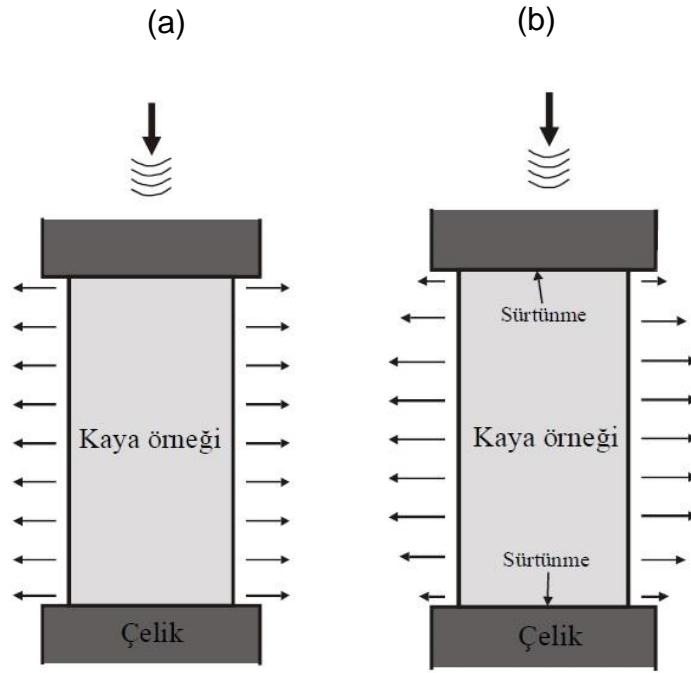
1. GİRİŞ

Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), yeraltı ve yerüstü kaya mühendisliği yapılarının tasarımında kullanılan temel mekanik özelliklerden biridir. Tünel ve baraj gibi mühendislik projelerinde, şev duraylılığı uygulamalarında, madencilik projelerinde, kaya ortamının taşıma gücünün tayininde, doğal yapı taşlarının ekonomik olarak değerlendirilmesi için yapılan araştırmalar vb. çalışmalarda kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi önem arz etmektedir [1].

Laboratuvar koşullarındaki deneylerde, tek eksenli sıkışma dayanımını etkileyen parametrelerden biri de deneyde kullanılan örneğin boy/çap (L/D) oranı olup, bu oran değiştiğinde UCS değerinde de değişme olduğu bilinmektedir [2-4]. Bunun en önemli nedeni, kaya malzemesi ile çelik yükleme başlığının elastik parametreleri arasında büyük farklılığın olmasıdır [5]. Bu farklılık sebebiyle, yükleme sırasında deney örneğinin alt ve üst yüzeylerinde mengene/kıskaç (clamp) etkisi oluşmaktadır [6]. Örnek uçlarında gelişen bu kenetlenmenin etkisi nedeniyle, yenilme yüzeyinin serbestçe ilerlemesi engellenmekte ve örnek uçlarındaki etkiye bağlı olarak olması gerekenden farklı dayanım değerleri belirlenebilmektedir.

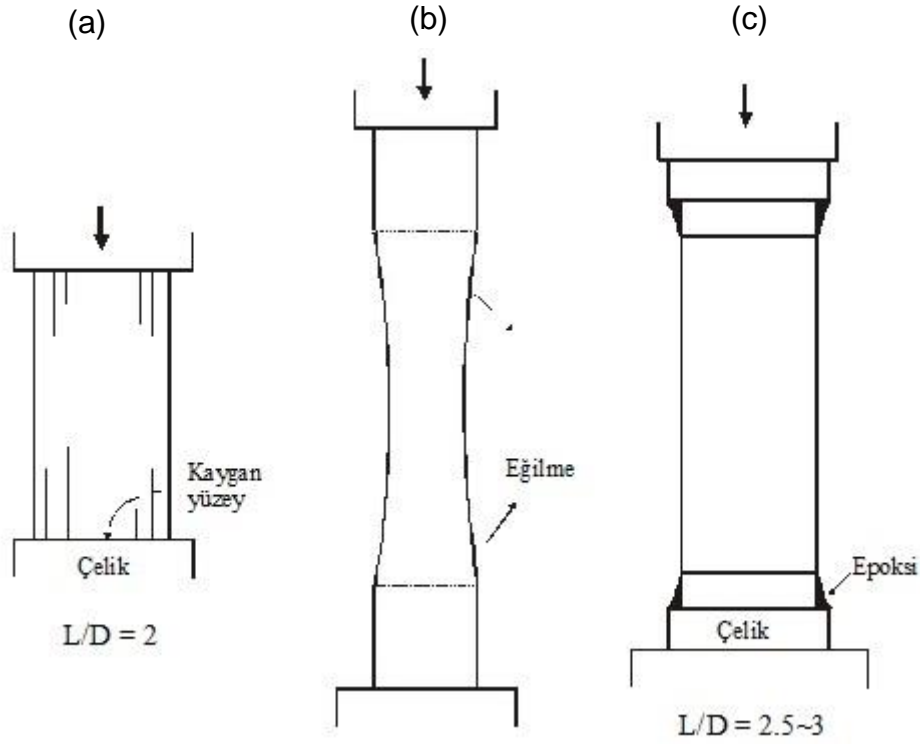
Örneğin alt ve üst yüzeyleri ile çelik yükleme başlıkları arasında sürtünme etkisinin olmadığı varsayıldığında, UCS deneylerinde olması gereken ideal davranış biçimine göre, örneğin ortasında gelişen yanıl yer değiştirmeler ile alt ve üst yüzeylerinde gelişenler eşit olmalıdır (Şekil 1.1a). UCS deneyi esnasında bu model sağlanabildiği takdirde, deneyde kullanılan örneklerin L/D oranının UCS üzerindeki etkisi de ortadan kalkmış olacaktır [7-8]. Ancak, UCS deneylerinde örneklerin alt ve üst yüzeyleri ile yükleme başlıkları arasındaki sürtünmeyi tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmadığından, özellikle küçük L/D oranına sahip örneklerdeki deneylerde bu etki kaçınılmaz olmaktadır (Şekil 1.1b). Örnek ile yükleme başlıkları arasının yağlanması (Şekil 1.2a) ya da örneğin değişik şekillerde hazırlanması (Şekil 1.2b ve 1.2c) ile bu sorun giderilmeye çalışılmıştır [6]. Bununla birlikte yükleme sırasında yağın örnek içine sızması,

diğer örnek hazırlama önerilerinin ise zahmetli olması nedeniyle, bu öneriler uygulamada tercih edilmemiştir.



Şekil 1.1. Örnek alt ve üst yüzeyleri ile yükleme başlıkları arasında (a) sürtünme etkisinin olmadığı ve (b) olduğu durumlarda yanıl yer değiştirme [7].

Deneyde kullanılan silindirik örneklerinin L/D oranı arttıkça yukarıda bahsedilen mengene/kıskaç etkisinin ortadan kalktığı, daha küçük olması durumunda ise bu etki sebebiyle olması gerekenden daha yüksek değerler elde edildiği literatürde görölmektedir [2-4, 9]. Ancak, bu çalışmalarında hangi limit değere kadar $((L/D)_{lim})$ bu etkinin göröldüğü hususunda ortak bir sonuca ulaşılamamıştır. Bunlara ek olarak, Amerikan Test ve Malzeme Birliği (ASTM) tarafından deney yapılacak silindirik örnek için L/D oranı 2.0 - 2.5 olarak kabul edilirken [10-11], Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) tarafından L/D oranı için 2.5 – 3.0 aralığı [12] önerilmektedir.



Şekil 1.2. Örnek alt ve üst yüzeyleri arasındaki sürtünme etkisini gidermeye yönelik öneriler: (a) örnek ile yükleme başlıkları arasının yağlanması (b) kemik şekilli örnek ve (c) epoksi kullanılarak hazırlanan örnek [6].

Bu belirsizlikler ve farklılıklar dikkate alınarak, Tuncay vd. [8] tarafından UCS deneylerinde kullanılması gereken L/D oranının seçimine yönelik bir sınıflama ve daha küçük oranlara sahip örneklerdeki deneylerden belirlenen UCS'ler içinse bir düzeltme eşitliği önerilmiştir. Bu yöntemde UCS deneyi yapılacak kaya örneğinin L/D oranı aralığı, Hoek-Brown m_i sabiti [13] ve/veya Brazilian çekilme dayanımına (σ_{tB}) bağlı olarak seçilebilmektedir. Araştırmacılar, 1.7-2.0, 2.0-2.5, 2.5-3.0 ve 3.0 olmak üzere dört farklı L/D oranı sınıfı oluşturmuşlardır. Ayrıca, deney örneği için belirlenen sınıf aralığından daha küçük örnekler hazırlanabilmesi durumunda da bir düzeltme eşitliği önermişlerdir. Bu eşitlikten yararlanılarak L/D oranı 1.0'e kadar olan örneklerden elde edilen UCS değerinin olması gereken UCS'ye dönüşümünün mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Tez çalışmasında, Tuncay vd. [8] tarafından önerilen yöntemin geçerliliğinin araştırılması ve UCS'nin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bazı indeks deneylerden alınan sonuçlarla bu yöntemden elde edilen sonuçların

karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle düşük dayanımlı kaya örnekleri ağırlıklı olmak üzere, dayanım çeşitliliği olan kaya örnekleri üzerinde σ_B ve UCS deneyleri yapılmıştır. UCS deneyleri için silindirik örnekler, hem Tuncay vd. [8] yönteminde önerilen L/D sınıflarını kapsayacak şekilde 1.75, 2.0, 2.5, 3.0 L/D oranlarında hem de düzeltme eşitliğinin hangi orana kadar doğru sonuç verdiğinin değerlendirilmesi için 1.0, 1.25, 1.50 oranlarında hazırlanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış ve önerilen yöntemin geçerliliği araştırılmıştır.

İkinci aşamada, UCS'nin dolaylı yöntemlerle tayini için Schmidt çekici, nokta yük dayanım indeksi, disk makaslama dayanımı ve iğne penetrometre deneyleri yapılarak derlenen kaya örneklerinin UCS'leri dolaylı yoldan da belirlenmiştir. Bu UCS'ler, Tuncay vd. [8] yönteminde düşük L/D oranlarındaki örneklerden belirlenenlerle karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında; örnek boyutu ve şeklinin UCS'ye etkisine ilişkin önceki çalışmalar ve Tuncay vd. [8] tarafından önerilen yöntemin ayrıntısı 2. Bölüm'de, UCS'nin dolaylı yoldan belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bazı indeks deneylerle ilgili çalışmalara 3. Bölüm'de, çalışmada derlenen kaya örneklerine ve bunların mineralojik-petrografik analizlerine ilişkin bilgilere 4. Bölüm'de değinilmiştir. Laboratuvar çalışmaları 5. Bölüm'de anlatıldıktan sonra tez çalışmasına konu olan yöntemin geçerliliğine ve indeks deney sonuçlarıyla karşılaştırılmasına ilişkin analiz ve değerlendirmeler 6. ve 7. Bölüm'de anlatılarak, son bölümde elde edilen bulgular ve öneriler sunulmuştur.

2. ÖRNEK BOYUTU VE ŞEKLİNİN TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMINA ETKİSİ

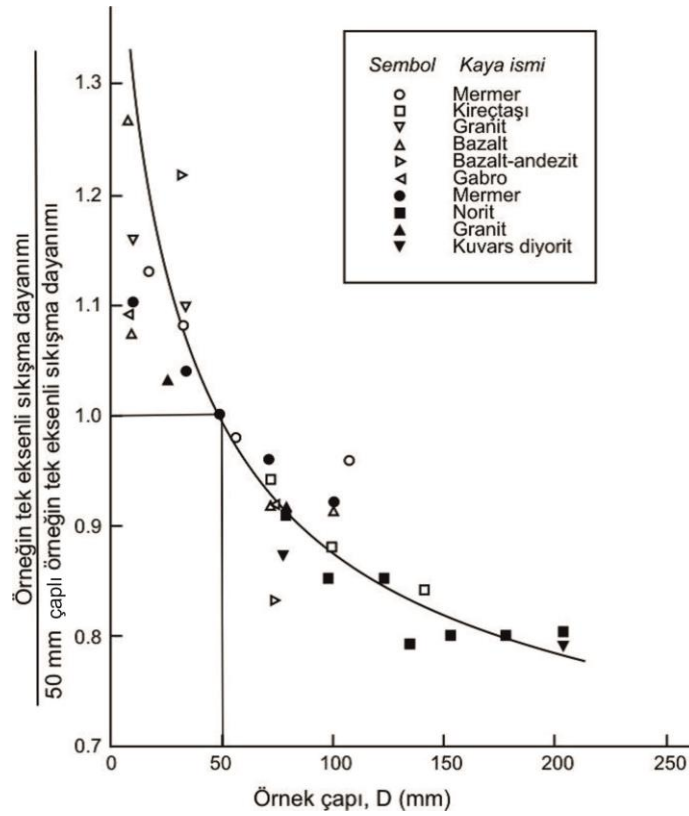
UCS'nin, yükleme hızı, çevresel koşullar (sıcaklık, nem vb.), örnek boyutu ve şekli gibi faktörlerden etkilendiği bilinmektedir [14-17]. Silindirik deney örneklerindeki (karot) şekil etkisi, tez çalışmasının konusuyla ilişkili olup, bu etkinin yanı sıra boyut etkisiyle ilgili önceki çalışmalara da aşağıda özetle değinilmiştir.

2.1. Boyut Etkisi

Boyut etkisinin araştırıldığı çalışmalarda [18-22] örnek boyutu arttıkça dayanımın düştüğü vurgulanmıştır [15]. Hoek ve Brown [15], literatürde yer alan 10 mm'den 200 mm'ye kadar değişen çap ve boyutlardaki silindirik (karot) ve küp örnekler üzerinde laboratuvar da belirlenmiş UCS'leri derlemiş ve örnek boyutuna bağlı olarak UCS değişimini göstermişlerdir (Şekil 2.1). Bu değerlendirmeye göre, örnek boyutu arttıkça UCS azalmaktadır. Araştırmacılar, bu veriyi kullanarak ve 50 mm'lik bir çapı laboratuvar ölçeğinde ortalama bir değer varsayarak, herhangi bir çapa sahip örnekten belirlenen UCS'den 50 mm'lik çapa karşılık gelen UCS değerinin (UCS_{50}) belirlenmesini sağlayan bir düzeltme eşitliği önermişlerdir (Eşitlik 2.1).

$$UCS / UCS_{50} = (50 / D)^{0.18} \quad (2.1)$$

Hawkins [23], en büyük UCS değerlerinin 40 ile 60 mm arasında değişen çaptaki örneklerden elde edildiğini belirtmiştir. Kaya mekaniği deneylerinde kullanılan silindirik örneğin çapı ISRM [12] tarafından en az 54 mm olarak önerilirken, ASTM [10-11]'de çapın 47 mm olması gerektiği belirtilmektedir. Boyut etkisine yönelik bu çalışmalar dikkate alındığında, laboratuvar deneylerinde NX (54 mm) ya da NQ (47.6 mm) çaplı örneklerin kullanılabileceği yönünde bir değerlendirme yapmak mümkündür.



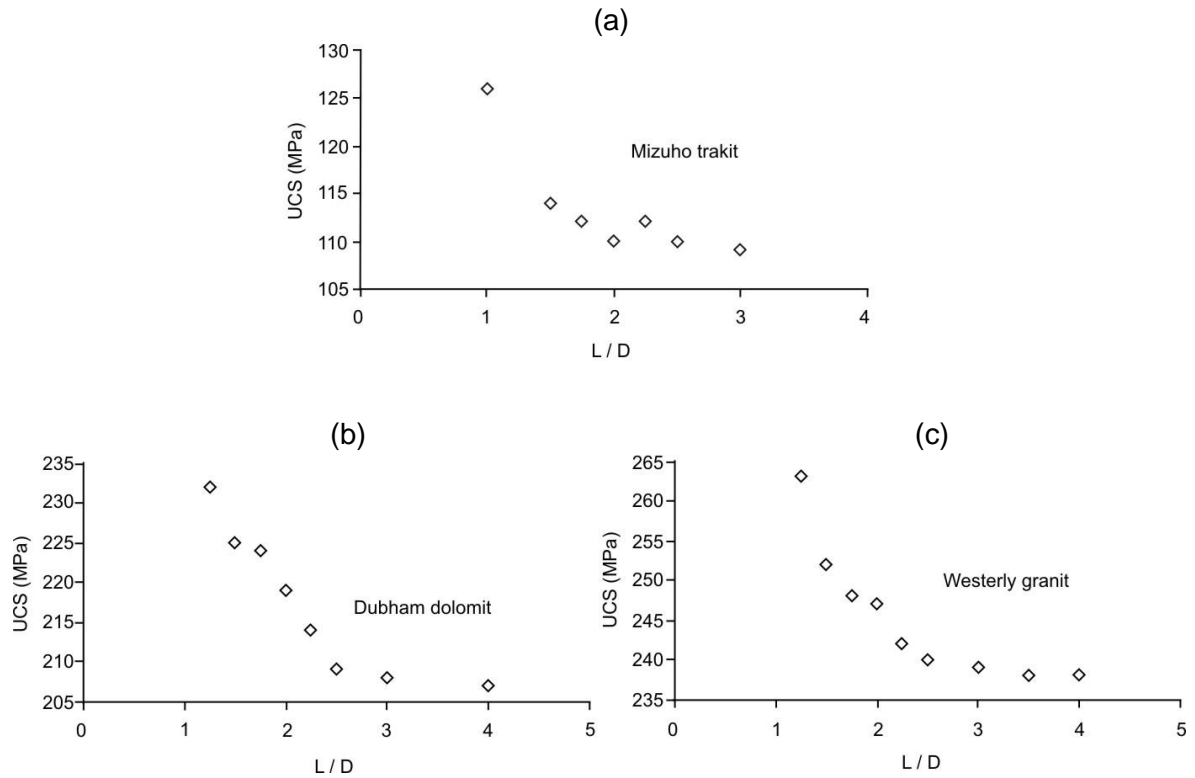
Şekil 2.1. Boyut farklılığının kayanın dayanımı üzerindeki etkisi [15].

Thuro vd. [3], sınırlı sayıdaki granit, kersantit ve kireçtaşı örnekleri üzerinde yaptığı çalışmada, granitler için 110 mm, diğer örnekler için 45-80 mm arasında değişen çaplarda silindirik örnekler kullanmıştır. Araştırmacılar, örnek çapı arttığında dayanımın azaldığını gözlemlemiş ve elde ettikleri sonuçların Hoek ve Brown [15] tarafından elde edilene benzer olduğunu belirtmişlerdir.

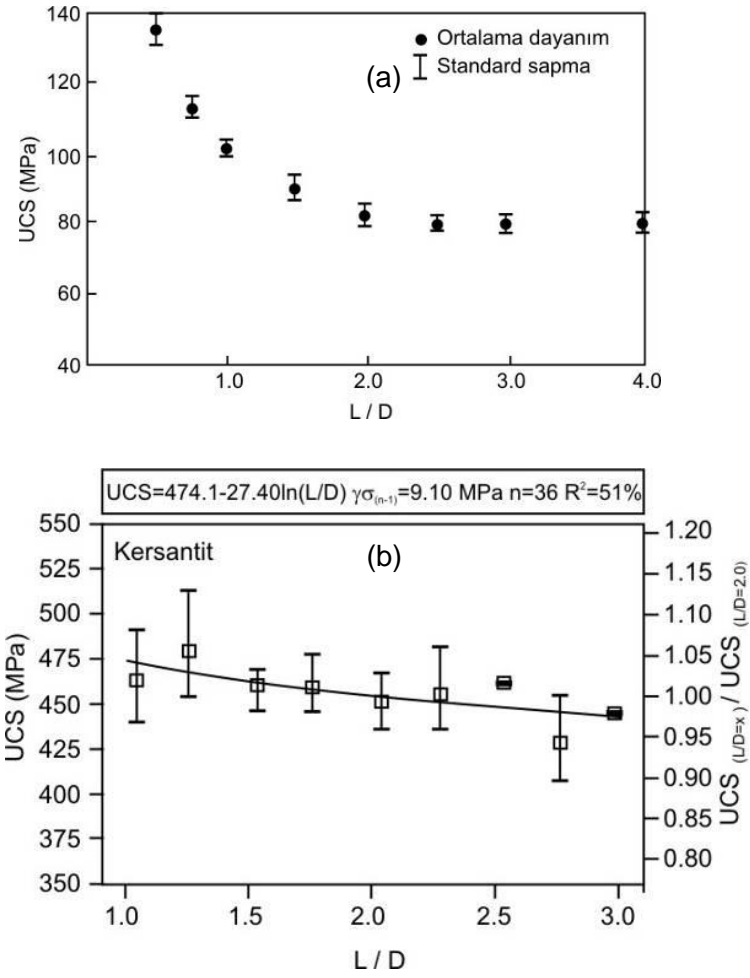
Prakoso ve Kulhawy [24], tek eksenli sıkışma dayanımı üzerinde örneğin boyut etkisini araştırdıkları çalışmada, farklı kaya grupları için literatürden derlenen deney sonuçlarını kullanmışlardır. Araştırmacılar ASTM [25]'ye göre örnek çapının en az 47 mm, ASTM [26]'ye göre ise 50 mm olması gerektiğini belirterek, Hoek-Brown [15] tarafından yapılan çalışmada kullanılan 10-200 mm arasında değişen örnek çapının aksine, 50-150 mm arasında değişen çaplardaki örnekleri değerlendirmiştir. Hoek-Brown [15]'a yakın sonuçlar elde eden araştırmacılar, örnek çapı arttığında UCS'nin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

2.2. Şekil (Boy/Çap Oranı) Etkisi

UCS deneylerinde kullanılan silindirik örneklerde L/D oranının, ASTM [10-11] tarafından 2–2.5 arasında olması istenirken, ISRM [12] tarafından 2.5-3.0 arasında olması önerilmektedir. Bu etkinin araştırılmasına yönelik yapılmış bazı çalışmalarda da [2-4, 9], farklı sonuçlar elde edilmiştir. Mogi [2] tarafından üç ayrı kaya türü (dolomit, granit ve trakit) için L/D – UCS ilişkileri araştırılmıştır (Şekil 2.2). Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, UCS değerlerinin sabitlendiği ya da benzer değerler almaya başladığı en düşük L/D oranının $(L/D)_{lim}$ dolomit ve granit örneği için 2.5, trakit içinse 2.0 olduğu görülmektedir. John [9] ve Thuro vd. [3] tarafından yapılan çalışmalarda ise, sırasıyla Şekil 2.3a ve 2.3b’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. John [9] tarafından verilen ilişkiye göre $(L/D)_{lim}$ değeri 2 civarında gözlenirken, Thuro vd. [3] tarafından elde edilen sonuçlardan net bir $(L/D)_{lim}$ değeri belirlenememektedir.

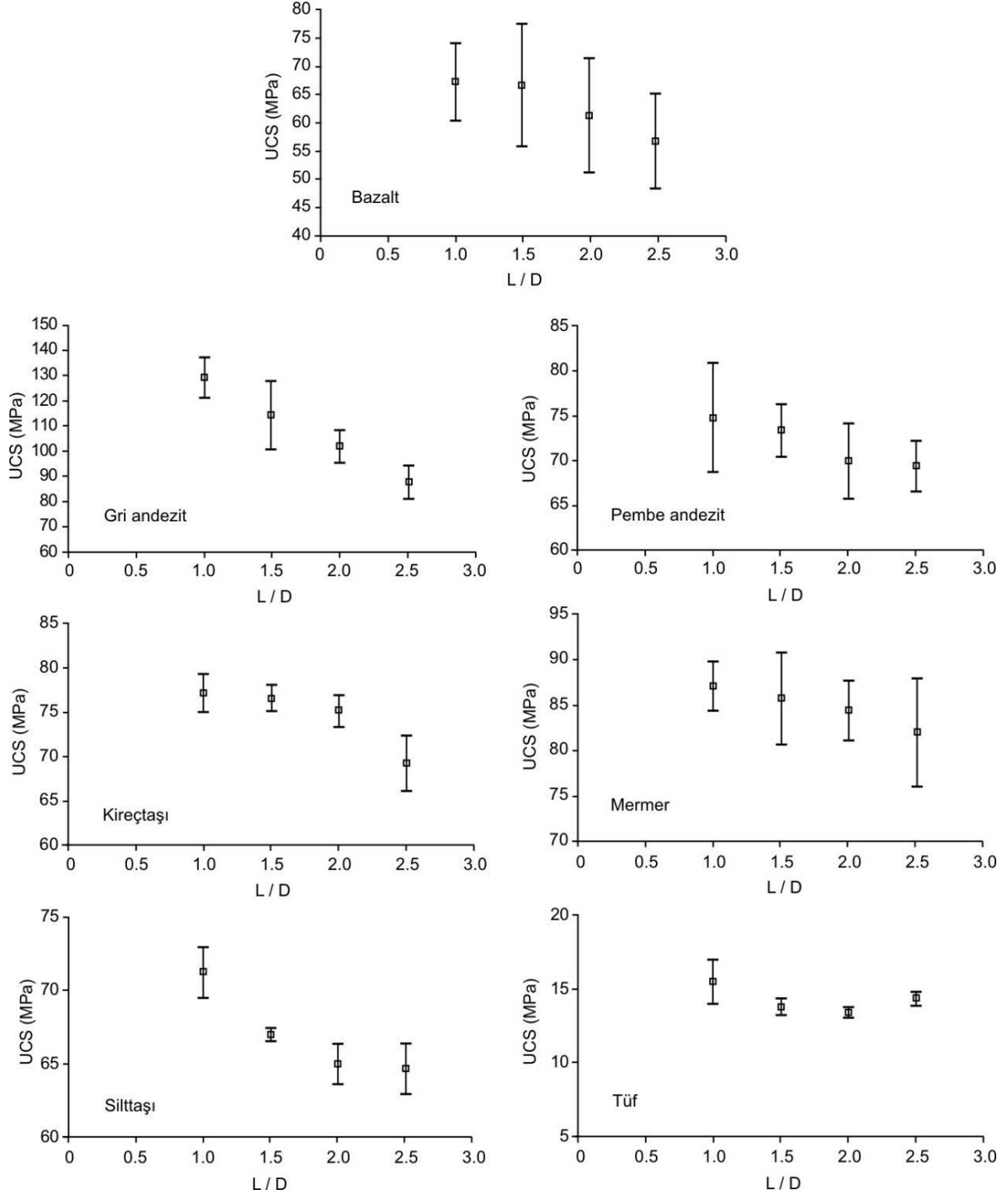


Şekil 2.2. Mogi [2] tarafından üç kaya örneği için belirlenen L/D-UCS ilişkileri.



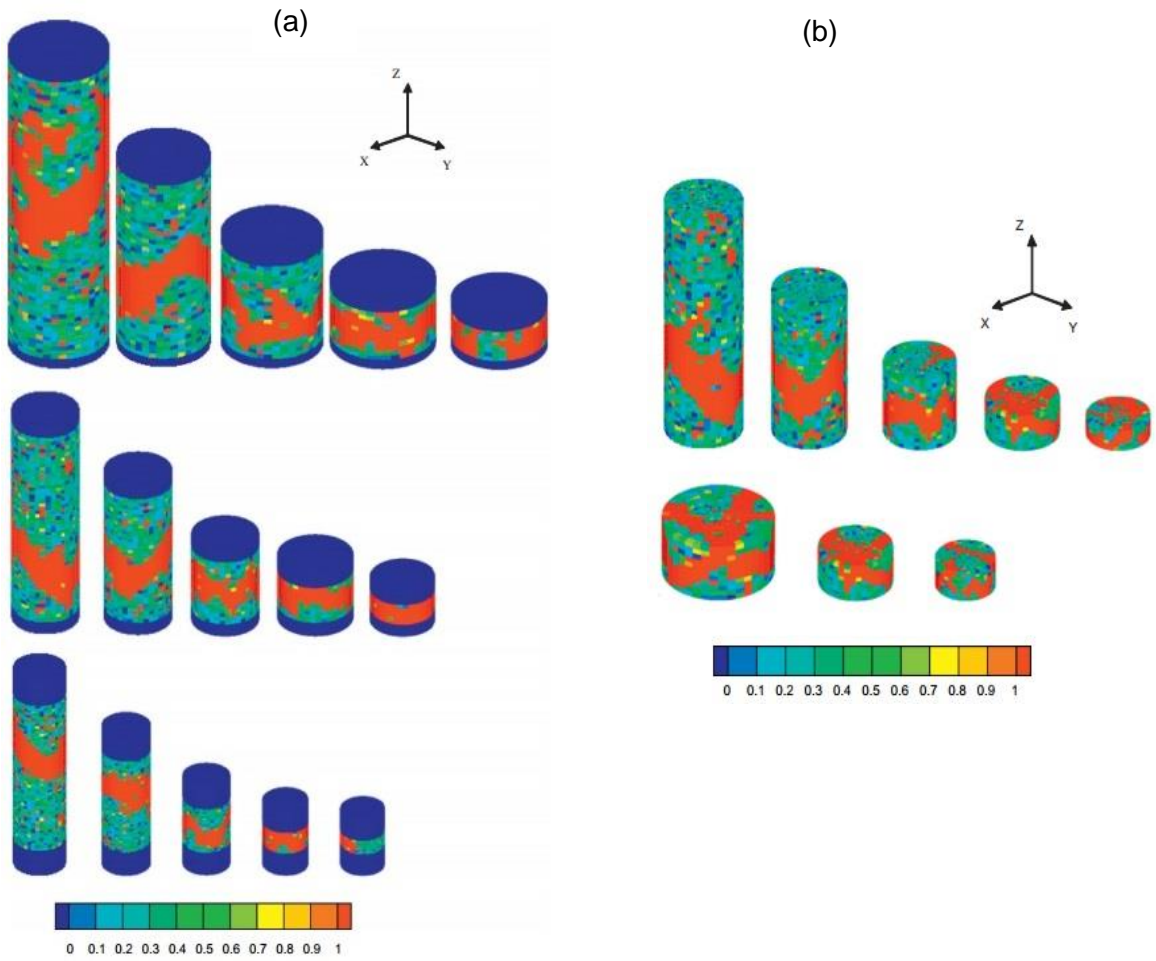
Şekil 2.3. (a) John [9] ve (b) Thuro vd. [3] tarafından belirlenen L/D – UCS ilişkileri.

Tuncay ve Hasançebi [4], 7 farklı kaya türüne ait ve L/D oranları 1.0'den 2.5'a kadar değişen silindirik örneklerden elde edilen deney sonuçlarına göre L/D – UCS ilişkisini araştırmışlardır. Ayrıca, deneyin başlangıcından örneğin yenildiği zamana kadar geçen sürelerin ASTM [11]'de 2-5 dakika, ISRM [12] önerilerinde ise 5-10 dakika arasında olması nedeniyle, 4 örnek türünde örnekler hem 2-3 hem de 8-10 dakikada yenilecek şekilde ayrı ayrı deneye tabi tutulmuştur. Araştırmacılar, söz konusu yükleme sürelerinde deneye tabi tutulan kaya örneklerine ait UCS değerlerinin ayırt edilebilecek düzeyde bir farklılık göstermediğini belirtmişlerdir. Bu araştırmadan elde edilen L/D – UCS ilişkileri Şekil 2.4'te sunulmuştur. Şekilden de açıkça görülebileceği gibi, bazı kaya örneklerinde L/D=2.5 oranına kadar UCS'de azalma görülürken, bazılarında L/D=2.0 ve 2.5 oranlarındaki UCS değerleri benzerdir. Ayrıca, tuf örneğinde L/D oranının 1.5'tan 2.5'a kadar değiştiği UCS değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemektedir.

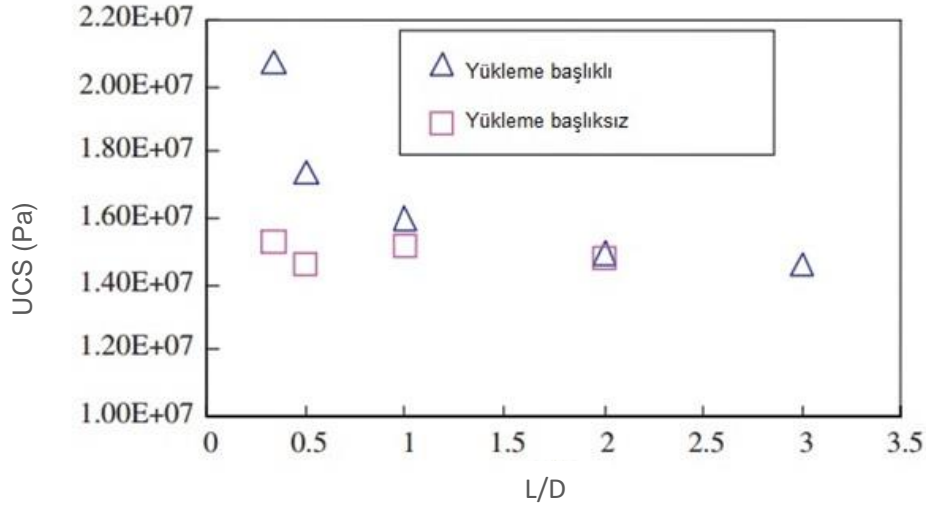


Şekil 2.4. Yedi kaya örneği için L/D – UCS ilişkileri [4].

L/D oranındaki farklılığın UCS üzerindeki etkisini araştıran Pan vd. [27], yükleme başlığı ve örnek arasındaki sürtünmenin yok sayıldığı durumda, UCS değeri üzerinde deney örneğinin Şeklinin etkili olmadığını, ancak sürtünmenin olması halinde Şekil etkisinden söz edilebileceğini belirtmişlerdir. Kayaların kırılma aşamalarını sayısal modelleme ile araştıran çalışmacılar, 3 boyutlu EPCA (Elasto-plastic cellular automation) zmlene programını kullanarak Şekil farklılığının etkisini incelemiş ve Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'daki sonuçlara ulaşmışlardır.



Şekil 2.5. Farklı çapta ve farklı L/D oranlarındaki örneklerde yükleme başlığı (a) kullanılarak (sürtünme mevcut) ve (b) kullanılmadan (sürtünme yok) yapılan sayısal zmleneler [27].



Şekil 2.6. Yüklem başlığı kullanarak ve kullanılmadan yapılan sayısal çözümler sonucu elde edilen L/D – UCS değışimleri [27].

Bu çalışmaların yanı sıra, daha küçük orana sahip örneklerden belirlenen UCS'lerin olması gereken değerlerine dönüştürülmesi için düzeltme eşitlikleri de önerilmiştir. Protodyakonov [28] ve ASTM [10] tarafından, $(L/D)_{lim}$ değerinin 2 olduğu kabul edilerek, sırasıyla Eşitlik 2.2 ve 2.3'teki ilişkiler önerilmiştir.

$$UCS_2 = 8UCS / (7 + 2D/L) \quad (2.2)$$

$$UCS_2 = UCS / (0.88 + 0.24 D/L) \quad (2.3)$$

Tuncay ve Hasançebi [4] ise, $(L/D)_{lim}$ 'i ISRM [12] önerisine uygun şekilde 2.5 kabul ederek Eşitlik 2.4'teki ilişkiyi elde etmiş olsalar da eşitlikteki a ve b katsayıları için kesin değerler vermekten kaçınmışlardır. Araştırmacılar tarafından bazı örneklerden elde edilen verinin uyumsuzluğu, bunun en büyük nedeni olarak gösterilmiştir. Araştırmacılar ayrıca, L/D oranına bağlı olarak UCS değışiminin kaya örneği bazında farklılık gösterebileceğini belirterek daha ayrıntılı bir incelemenin yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

$$UCS_{2.5} = UCS / [a - b(L/D)] \quad (2.4)$$

Tuncay vd. [7] tarafından bir araştırma projesi kapsamında çok sayıda deney ve analiz yapılarak, kayaların bazı özelliklerine göre deneyde kullanılacak L/D oranının seçilebileceği bir yöntem önerilmiş olup, bu yöntem aynı yazarlar tarafından bir kaç küçük değişiklikle birlikte ulusal bir sempozyumda [8] sunulmuştur. Bu tezin konusuna temel oluşturan ve 1. Bölüm'de kısaca değinilen bu yöntemde, UCS deneylerinde kullanılan örneklerin L/D oranlarının belirlenmesi için bir sınıflama ve sınıf aralığından daha düşük L/D oranlarından belirlenen UCS'ler içinse bir düzeltme eşitliği önerilmiştir (Çizelge 2.1).

Yöntemde dört öneri sunulmakta olup, 1. seçenekte tüm kaya türleri için $L/D=3.0$ oranının kullanılabilirliği belirtilmektedir. σ_{tB} değerinin Brazilian deneyiyle belirlenmesi durumu için önerilen 2. seçenekte, Hoek [13] tarafından farklı kaya türleri için önerilen m_i sabiti (Çizelge 2.2) ile σ_{tB} 'nin çarpımından ($m_i \times \sigma_{tB}$) elde edilen değere bağlı olarak L/D aralığının belirlenebileceği dört sınıf önerilmektedir. Belirlenen sınıf aralığındaki L/D oranlarına sahip örneklerdeki deneylerden elde edilen UCS'ler, deneyi yapılan kaya malzemesinin dayanımını temsil etmektedir. 3. seçenek, Brazilian deney sonucunun olmadığı durumlarda sadece m_i sabitine bağlı olarak L/D aralığı sınıflarını göstermektedir. Araştırmacılar, daha hassas bir belirleme yapılması için 2. ve 3. seçeneklerden öncelikle 2.'sinin tercih edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. 4. seçenekte ise, 2. ve 3. seçeneklerdeki L/D sınıflarına uygun boyutta örnek alınamaması durumunda kullanılması önerilen düzeltme eşitliği sunulmuştur. Ayrıca bu eşitliğin, deneyde kullanılan örneğin L/D oranının 1'den küçük olmaması durumunda geçerli olacağı belirtilmiştir.

Tuncay vd. [8] tarafından önerilen bu yöntem, gerek ASTM [10-11] standardındaki ve ISRM [12] önerilerindeki farklılığa, gerekse L/D oranının UCS'ye olan etkisini araştıran önceki çalışmalarda farklılıklara çözüm getirici niteliktedir. Ancak, önerilen yöntemin geçerliliği henüz test edilmemiş olup, farklı kaya türlerindeki çalışmalarla sınanması gerekmektedir. Bu nedenle, 1. Bölüm'de de değinildiği gibi, bu tez çalışması kapsamında bu yöntemin performansının değerlendirilmesi ve özellikle $L/D=1.0$ oranına kadar düzeltme eşitliğiyle belirlenen UCS'lerin, bazı indeks deneylerden dolayı olarak belirlenenlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır. İndeks deneylere ilişkin literatür özeti 3. Bölüm'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. UCS deneylerinde kullanılacak silindirik örnekler için Tuncay vd. [8] tarafından önerilen L/D oranı sınıfları ve daha düşük L/D oranlarındaki örneklerden belirlenen UCS'ler için düzeltme eşitliği.

ÖNERİ	KAYA ÖZELLİĞİ	L/D Aralığı
1	Tüm kayalar için	3.0*
2 (Brazilian deneyi ile çekilme dayanımının (σ_t) belirlenmiş olması durumunda)	$m_i \sigma_{tB} < 30$	1.7-2.0
	$30 \leq m_i \sigma_{tB} < 80$	2.0-2.5
	$80 \leq m_i \sigma_{tB} < 180$	2.5-3.0
	$m_i \sigma_{tB} > 180$	3.0*
3 (Sadece Hoek-Brown m_i parametresi kullanılarak)	$m_i < 8$	1.7-2.0
	$8 \leq m_i < 14$	2.0-2.5
	$14 \leq m_i < 25$	2.5-3.0
	$m_i > 25$	3.0*
4 DÜZELTME EŞİTLİĞİ (2 veya 3 no'lu önerilerde olması gereken L/D aralığında örnek alınamaması durumunda kullanılmaktadır.)	$UCS_c = UCS [0.238 ((L/D) / (L/D)_{lim}) + 0.755]$ <p>Eşitlik, $1 \leq L/D < (L/D)_{lim}$ durumu için geçerlidir.</p> <p>UCS_c: Düzeltilmiş (olması gereken) tek eksenli sıkışma dayanımı</p> <p>UCS: L/D oranındaki örnekte yapılan deneyden belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)</p> <p>L/D: Deneyde kullanılan örneğin L/D oranı</p> $(L/D)_{lim} = 0.0079 m_i \sigma_{tB} + 1.69$ <p>m_i: Hoek [13] tarafından önerilen çizelgeden seçilmelidir.</p> <p>σ_{tB}: Brazilian deneyi ile belirlenmiş çekilme dayanımı (MPa)</p>	

*Mümkün olmaması durumunda 2.5-3.0 arasında bir L/D oranı da seçilebilir.

Çizelge 2.2. Kaya malzemeleri için önerilen m_i değerleri [13].

Kaya türü	Sınıf	Grup	Doku			
			İri	Orta	İnce	Çok ince
SEDİMANTER	Kırıntılı		Konglomera* (21±3) Breş (19±5)	Kumtaşı 17±4	Silttaşı 7±2 Gri Kumtaşı (18±3)	Kiltaşı 4±2 Şeyl (6±2) Marn (7±2)
	Kırıntılı Olmayan	Karbonatlı	Kristalin Kireçtaşı (12±3)	Sparitik Kireçtaşı (10±2)	Mikritik Kireçtaşı (9±2)	Dolomitik Kireçtaşı (9±3)
		Evaporitler	Jips 8±2		Anhidrit 12±2	
		Organik	Alçı Taşı 7±2			
METAMORFİK	Foliasyonsuz		Mermer 9±3	Hornfels (19±4) MetaKumtaşı (19±3)	Kuarsit 20±3	
	Zayıf Foliasyonlu		Migmatit (29±3)	Amfibolit 26±6		
	Foliasyonlu**		Gnays 28±5	Şişt 12±3	Fillit (7±3)	Sleyt 7±4
MAĞMATİK	Plütonik	Açık Renkli	Granit 32±3 Granodiyorit (29±3)	Diyorit 25±5		
		Koyu Renkli	Gabro 27±3 Norit 20±5	Dolerit (16±5)		
	Damar		Porfir (20±5)		Diyabaz (15±5)	Peridotit (25±5)
	Volkanik	Camsı		Riyolit (25±5) Andezit 25±5	Dasit (25±3) Bazalt (25±5)	Obsidiyen (19±3)
		Piroklastik	Aglomera (19±3)	Breş (19±5)	Tüf (13±5)	

3. İNDEKS DENEYLER İLE UCS TAYİNİ

İnce tabakalı, bozunma derecesi yüksek, zayıf vb. kayalardan standartlara ya da önerilmiş yöntemlere uygun şekilde örnek alınması her zaman mümkün olamamaktadır. Bu sorunu aşmak ve daha pratik deneyler kullanarak kaya malzemesinin dayanımını dolaylı yoldan belirlemek amacıyla ISRM [12, 29] tarafından bazı indeks deneyler önerilmiştir. Bu deneylerin verisini kullanarak UCS'yi dolaylı yoldan belirlemek için gerek ISRM gerekse bazı araştırmacılar tarafından yapılan öneriler aşağıdaki alt bölümlerde özetlenmiştir.

3.1. Schmidt Çekici Deneyi

Schmidt çekici (SH) 1948 yılında beton sertliğini tayin etmek amacıyla geliştirilmiştir [30-31]. Ancak, günümüzde betonun yanı sıra kayaların da dolaylı olarak UCS değerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Literatürde Schmidt geri sıçrama değerleri (R) ile kaya dayanımı arasındaki ilişkiyi araştıran çok sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir (örneğin, [32-42]).

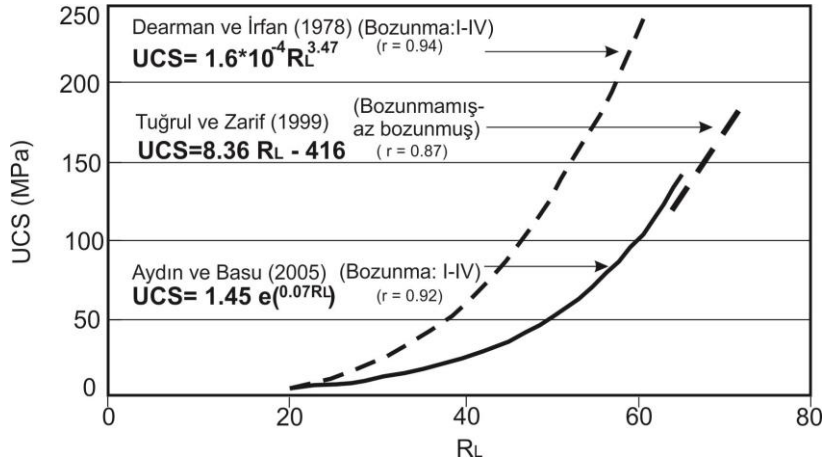
Deneyin güncellenmiş versiyonunun yer aldığı ISRM [29]'de ise, Aydın [43] tarafından granit örnekleri üzerinde yapılan değerlendirme örnek olarak verilmiş (Şekil 3.1) ve farklı kaya türlerinin UCS tayininde farklı ilişkilerin söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, farklı kaya türleri arasındaki ilişkilerin ifadesi için Eşitlik 3.1a ve 3.1b'deki genelleştirilmiş ilişkilerin kullanılabileceği, ancak a ve b sabitlerinin kaya türüne bağlı olarak farklılık gösterebileceği de vurgulanmıştır.

$$UCS = ae^{bR} \quad (3.1a)$$

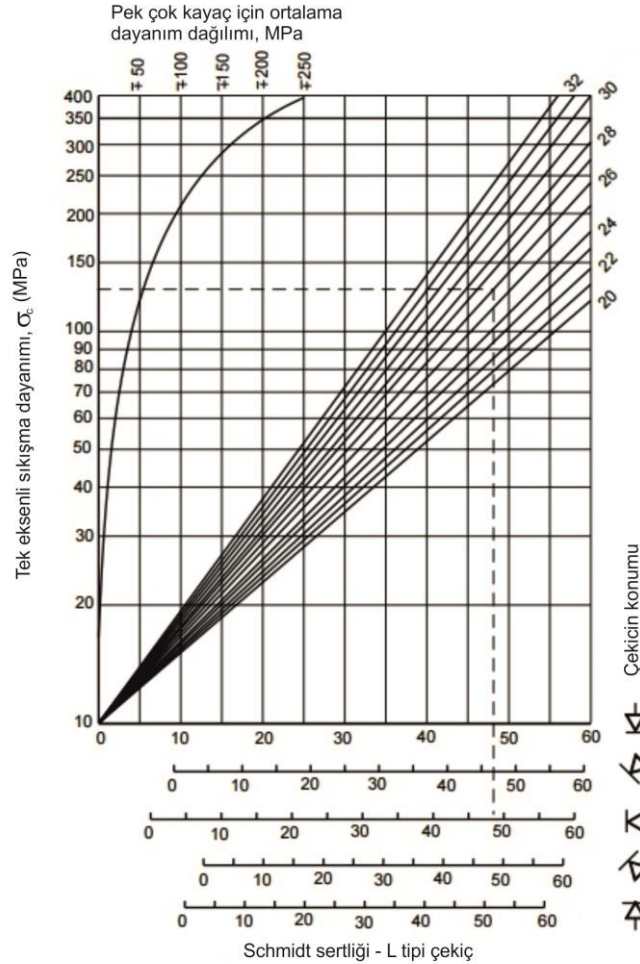
$$UCS = aR^b \quad (3.1b)$$

Bu değerlendirmelerden, ISRM [12] tarafından tüm kayalar için kullanılabilecek tek bir ilişkinin önerilemediği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, uzun yıllardır kullanılan Deere ve Miller [44] yönteminin (Şekil 3.2) yanı sıra, hem Eşitlik 3.1a ve 3.1b'deki formlara benzer hem de birden fazla kaya türünde ya da bozunma derecesindeki örneklerde L tipi Schmidt çekiciyle yapılan deneylerin sonuçlarından oluşturulan

eşitlikler tez çalışmasında yararlanılmak üzere literatürden derlenmiştir (Çizelge 3.1).



Şekil 3.1. Granit örnekleri için L tipi Schmidt çekiciyle belirlenen geri sıçrama değerlerinden UCS tayini [43].



Şekil 3.2. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki [44].

Çizelge 3.1. L tipi Schmidt çekici geri sıçrama sayısı (R_L) ve UCS arasındaki korelasyonlar.

Çalışmacı	Eşitlik	R^2	Kaya türü
1. Aufmuth [32]	$\sigma_{UCS} = 0.33 \cdot (R_L \cdot \gamma)^{1.35}$	0.80	25 farklı kaya
2. Dearman ve Irfan [33]	$\sigma_{UCS} = 1.6 \cdot 10^{-4} R_L^{3.47}$	0.94	Granit (farklı bozunma derecelerinde)
3. Beverly vd. [34]	$\sigma_{UCS} = 12.74 \cdot e^{(0.02 \cdot R_L \cdot \gamma)}$	-	20 farklı kaya
4. Kidybinski [35]	$\sigma_{UCS} = 0.52 \cdot e^{(0.05 \cdot R_L \cdot \gamma)}$	-	Farklı kaya türleri ve kömür
5. Singh vd. [36]	$\sigma_{UCS} = 2.0 \cdot R_L$	0.86	Kumtaşı, siltaşı, çamurtaşı
6. O'Rourke [37]	$\sigma_{UCS} = 4.85 \cdot R_L - 76.18$	0.77	Kumtaşı, siltaşı, kireçtaşı, anhidrit
7. Sachpazis [38]	$\sigma_{UCS} = 4.29 \cdot R_L - 67.52$	0.96	33 farklı karbonat
8. Xu vd. [39]	$\sigma_{UCS} = 2.98 \cdot e^{(0.06 \cdot R_L)}$	0.95	Mika-şist
	$\sigma_{UCS} = 2.99 \cdot e^{(0.06 \cdot R_L)}$	0.91	Parazinit
	$\sigma_{UCS} = 2.98 \cdot e^{(0.063 \cdot R_L)}$	0.94	Serpantinit
	$\sigma_{UCS} = 3.78 \cdot e^{(0.05 \cdot R_L)}$	0.93	Gabro
	$\sigma_{UCS} = 1.26 \cdot e^{(0.31 \cdot R_L \cdot \gamma)}$	0.92	Çamurtaşı
9. Yasar ve Erdogan [41]	$\sigma_{UCS} = 0.000004 \cdot R_L^{4.29}$	0.89	Kireçtaşı, mermer, bazalt, kumtaşı
10. Aydın ve Basu [42]	$\sigma_{UCS} = 1.45 \cdot e^{(0.07 \cdot R_L)}$	0.92	Granit (farklı bozunma derecelerinde)

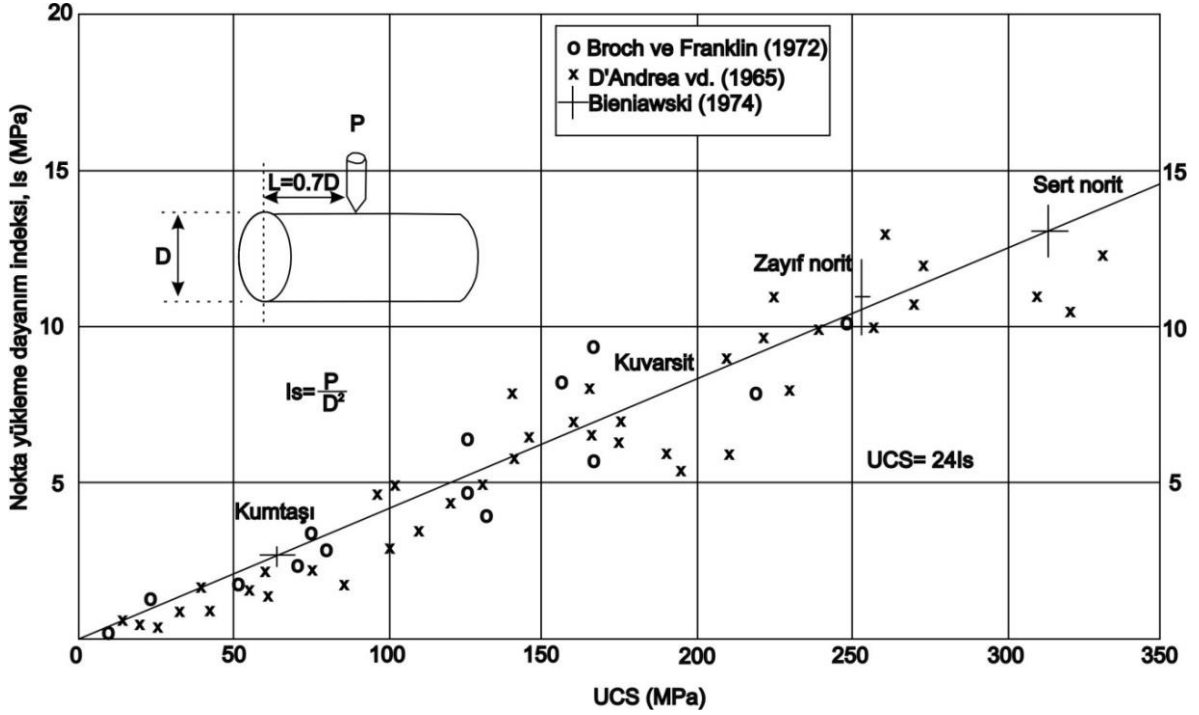
σ_{UCS} : Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) γ : Birim hacim ağırlık (kN/m^3) R_L : L tipi çekici için Schmidt geri sıçrama değeri

3.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Nokta yüğü dayanım indeksi (I_s ya da PLI) deneyi, ilk kez Reichmuth [46] tarafından, yapılmıştır. Sonraki yıllarda Broch ve Franklin [47] tarafından I_s değeri 50 mm çapındaki örnekler için standartlaştırılarak (I_{s50}) UCS'nin dolaylı yoldan belirlenmesi için önerilmiştir (Eşitlik 3.2). Bu çalışmadaki K katsayısı 24 olarak belirlenmiştir.

$$UCS = K \cdot I_{s(50)} \quad (3.2)$$

Bieniawski [1], nokta yükü dayanım indeksi ile UCS arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu belirlemiş ve gerek önceki çalışmalardan [47-48] gerekse kendi verilerinden yararlanarak yaptığı değerlendirmeye Eşitlik 3.2'deki ilişkiyi teyit eden bir sonuca ulaşmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. NX (54mm) çaplı örnekler için I_s ile UCS arasındaki ilişki [1].

Bu çalışmalar sonrasında $I_{s(50)}$ ile UCS arasındaki ilişkilerin araştırıldığı birçok çalışma yapılmıştır [49-57]. Değerlenen çalışmalar incelendiğinde UCS'nin $I_{s(50)}$ 'den tahmininde K katsayısının 8 ile 28 arasında değiştiği görülmektedir. ISRM [12] tarafından ise, K katsayısının 20 ile 25 arasında değiştiği, ortalama 22 alınabileceği, ancak anizotropi etkisiyle 15 ile 55 arasında değişebileceği belirtilmektedir. Bu değerlendirmeler dikkate alındığında, rutin bir mühendislik çalışmasında $I_{s(50)}$ -UCS dönüşümü için, literatürde yer alan herhangi bir eşitliğin seçilmesi yerine, ISRM [12] tarafından önerilen ortalama K katsayısının tercih edileceği açıktır. ISRM [12]'de önerilen hesaplama aşamaları Eşitlik 3.3'te verilmiştir.

$$UCS= 22 * I_{s(50)} \quad (3.3a)$$

$$I_{s(50)}= F * I_s \quad (3.3b)$$

$$F= (D_e/50)^{0.45} \quad (3.3c)$$

$$I_s= P/D_e^2 \quad D_e=4A/\pi \quad (A=WD) \quad (3.3d)$$

Burada,

P: Yenilme yükü

D_e: Eşdeğer örnek çapı

A: Konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı

I_{s(50)}: 50 mm'lik çapa sahip örneğin I_s değeri

F: Boyut düzeltme faktörü

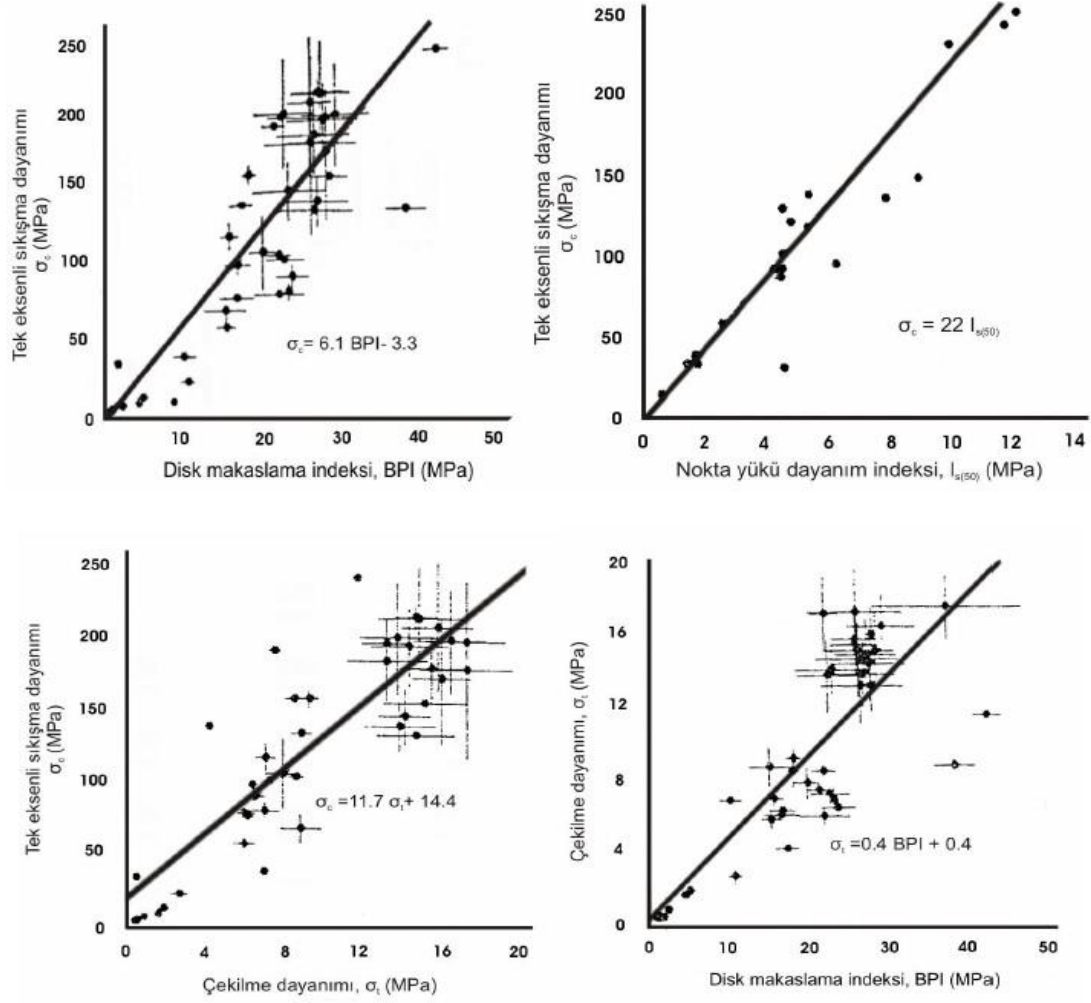
I_s: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi

3.3. Disk Makaslama Dayanım İndeksi Deneyi

Kalınlığı az olan silindirik örnekler üzerinde uygulanabilen disk makaslama dayanım indeksi (BPI) deneyi, UCS'nin kestirimi için ISRM [12] tarafından önerilen dolaylı yöntemlerden biridir. İlk olarak Schrier van der [58], bazı magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalar üzerinde UCS ve BPI deneyleri gerçekleştirerek, bu özellikler arasında Eşitlik 3.4'te verilen ilişkiyi belirlemiştir. BPI deneyinde kullanılan örnek kalınlığının 10 mm olarak seçilmesini öneren araştırmacı, UCS değerinin belirlenmesinde nokta yükü dayanım indeksi ve Brazilian deneylerine kıyasla BPI deneyinin daha iyi performansa sahip olduğunu belirtmiştir (Şekil 3.4).

$$UCS= 6.1BPI - 33 \quad (3.4)$$

BPI'dan UCS'nin belirlenmesi amacıyla Gökçeoğlu [59], Ulusay ve Gökçeoğlu [60, 61], Sülükçü [62], Sülükçü ve Ulusay [63] ve Ulusay vd. [64] tarafından çalışmalar yapılmış olup, ISRM [12] tarafından yapılan öneride bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar nihai olarak ISRM [12] tarafından önerilmiş yöntem [64] olarak sunulmuştur. ISRM [12] tarafından UCS değerinin Eşitlik 3.5'ten belirlenmesi önerilmektedir.



Şekil 3.4. UCS ve diğer indeks deneyler arasındaki ilişkiler [58].

$$UCS = 5.1 BPI_c \quad (3.5a)$$

$$BPI_c = 3499D - 1.3926t - 1.1265F_{t,d} \quad (3.5b)$$

Burada,

BPI_c: Çap ve kalınlık düzeltmesi uygulanarak hesaplanmış BPI değeri

D: Örnek çapı (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

F_{t,d}: Yenilme anında t kalınlığında ve D çapındaki örneğe uygulanan yük (kN)'tür.

ISRM [12] tarafından önerilen yöntem temel oluşturan eşitliklerden [59-64] farklı olarak, Sönmez ve Tunusluoğlu [65] tarafından Hoek-Brown m_i sabitini de dikkate alan aşağıdaki UCS-BPI ilişkisi önerilmiştir.

$$UCS = (0.8 \cdot 2.266/m_i^{-0.3824})BPI_c \quad (3.6)$$

Burada,

BPI_c : ISRM [12] önerisinde olduğu gibi (bkz. Eş. 3.5b)

m_i : Hoek-Brown m_i sabitidir.

3.4. İğne Penetrometre Deneyi

UCS'nin dolaylı yoldan belirlenmesi için PLI, SH ve BPI deneyleri yapılabilmeyle birlikte, çok zayıf kayalarda Schmidt çekici gibi uygulamalar deformasyona sebep olurken, diğer deneyler için de örnek hazırlamak her zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenlerle, 80'li yıllarda Japon mühendisler tarafından alternatif olarak geliştirilen iğne penetrometre (NP) deneyinin arazide ve laboratuvar ortamında $UCS < 10 \text{ MPa}$ olan yumuşak kayalar için uygulanabileceği belirtilmiştir [66-71].

Bu araştırmalar doğrultusunda Maruto Corporation [72] tarafından, UCS değeri 0.3 ile 40 MPa arasında değişen kayalardaki iğne penetrasyon direnci/indeksi (NPR/NPI) ile UCS arasında Eşitlik 3.7'deki ilişki önerilmiştir.

$$\log UCS = 0.978 \log (NPI) + 2.621 \quad (3.7)$$

Burada, UCS kPa, NPI ise N/mm'dir.

Sonraki yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar [73-78] dikkate alınarak UCS-NPI ilişkisi için ISRM [12] tarafından birden fazla öneri sunulmuş olup [79], bu öneriler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde; UCS-NPI için farklı araştırmacılar tarafından farklı ilişkilerin önerildiği ve ISRM [12] tarafından tek bir ilişkinin tercih edilmediği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.2. UCS- İğne penetrasyon indeksi (NPI) ilişkisi için önerilen eşitlikler.

Eşitlik	Referans	Deneyi yapılan kaya türleri
$\log UCS(\text{kgf/cm}^2) = 0.978 \log NPI + 1.599$ (NPI= kgf/mm)	Okada vd. [66]	Beton, çamurtaşı
$UCS(\text{MPa}) = 1.539 NPI^{0.9896}$ (NPI= N/mm)	Takahashi vd. [67]	Kumtaşı, çamurtaşı, konglomera, grovak, tuf
$\log UCS(\text{kgf/cm}^2) = 0.982 \log NPI - 0.209$ (NPI= kgf/cm)	Yamaguchi vd. [68]	Piroklastik kayalar
$UCS(\text{kPa}) = 27.3 NPI + 132$ (NPI=N/cm)	Uchida vd. [70]	Kumtaşı
$UCS(\text{MPa}) = 0.2 NPI$ (NPI=N/mm)	Aydan [76]	Tuf, kumtaşı, pomza, kireçtaşı, linyit, çamurtaşı, silttaşı, marn, toprak harç
$UCS(\text{MPa}) = 0.4 NPI^{0.929}$ (NPI=N/mm)	Ulusay ve Ergüler [77]	Marn, tuf, çamurtaşı, silttaşı, kumtaşı, grovak, çok sert kil, Japonya'dan veri

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN KAYA ÖRNEKLERİ

4.1. Örnekleme

Kaya örneği üzerindeki L/D-UCS ilişkisinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi için farklı L/D oranlarındaki örneklerin homojen özellikteki kaya bloklarından alınması gerekmektedir. Bu nedenle, homojen özellikte, bozunmamış ve kırık çatlak içermeyen kaya örneklerinin yapı taşı üretim firmalarından temin edilmesi yoluna gidilmiştir. Buna ek olarak, kaya örneklerinin mümkün olduğunca farklı kökenden (magmatik, metamorfik, sedimanter) ve zayıf örnekler ağırlıklı olmak üzere, nispeten dayanım çeşitliliğine de sahip olmasına özen gösterilmeye çalışılmıştır.

Bu kriterler doğrultusunda, Nevşehir, Çankırı, Bayburt, Edirne, Afyon illerindeki taş ocaklarından (Şekil 4.1) çıkarılan örnekler, yapı taşı üreticileri ile temasa geçilerek temin edilmiş ve düzgün şekilde kesilmiş blok örnekler Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarına nakledilmiştir (Şekil 4.2). İlgili firmalardan tuf ve ignimbrit haricinde zayıf kaya örneği bulmak mümkün olamamıştır. Zayıf kaya türünü arttırmak adına, Zonguldak/Gökçebey'deki bir kazı alanından bozunmamış ve homojen özellikteki bir marn bloğu da temin edilerek laboratuvara taşınmıştır (bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan kayaların örnekleme yerleri ve örnek numaraları.

Çalışmanın amacı, önerilen bir yöntemin farklı bir çalışmadan elde edilen verilerle geçerliliğinin test edilmesi olduğundan, 10 farklı lokasyondan alınmış farklı özelliklere sahip örneklerin yeterli olacağı düşünülmüştür. Alınan örneklerle ilişkin genel bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiş olup, bu çizelge incelendiğinde, 4 adet sedimanter, 4 adet magmatik ve 2 adet metamorfik kaya türünün temin edildiği görülmektedir. Ayrıca, tuf ve ignimbrit gibi örneklerin, farklı renk ve dokuya sahip olduğu makro yöntemlerle tespit edilmiş olup, dayanım ve fiziksel özelliklerine ilişkin farklılıkları olduğu gerek gözlemsel gerekse Bölüm 5'te değinilen laboratuvar deneyleri sonuçlarından anlaşılmıştır. Bu belirlemelere ek olarak, blok örneklerdeki makro düzeydeki gözlemlerle, tuf örneklerinin içerdiği pomza ve rekristalize kireçtaşının yönsellik göstermediği yönünde değerlendirme yapılmıştır.



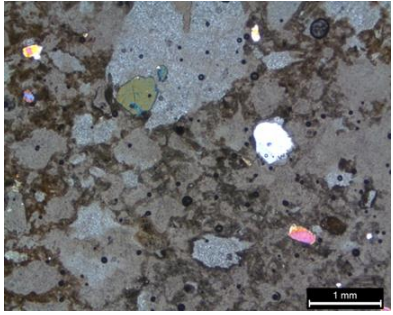
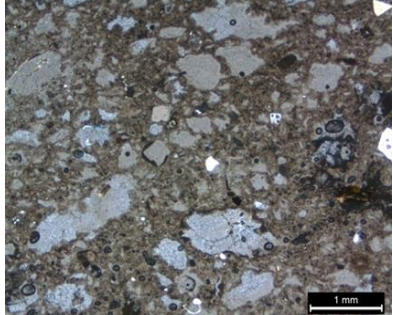
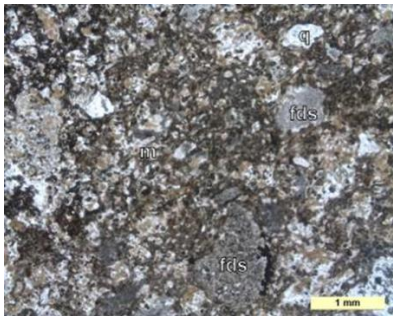
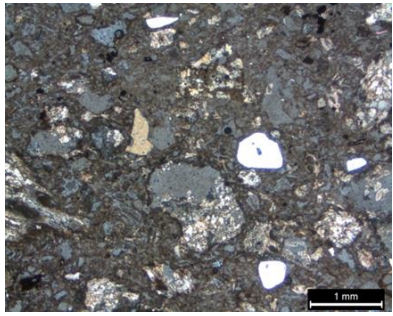
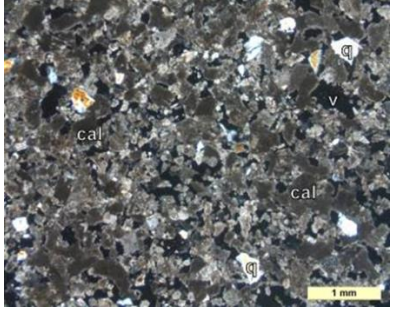
Şekil 4.2. Çalışma kapsamında incelenen kaya örneklerine ait bloklardan görünüm.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan örneklere ilişkin genel bilgiler.

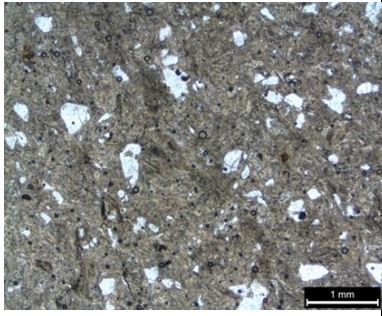
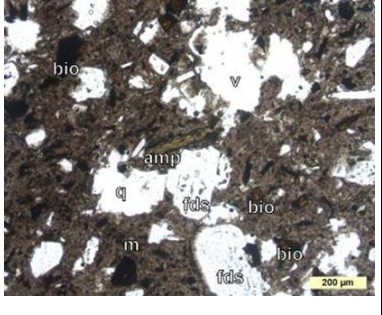
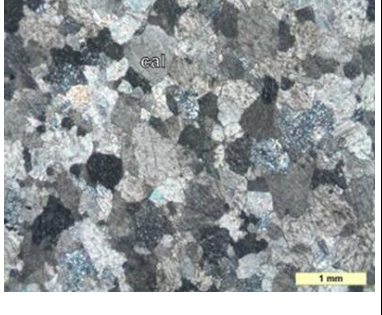
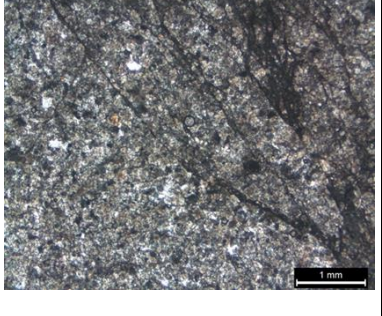
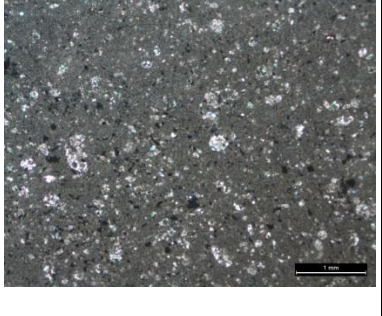
Örnek no	Kaya türü	Renk	Jeolojik köken	Blok sayıları	Alındığı yer
1	Tüf	Sarımsı-beyaz	Magmatik	2	Nevşehir (taş ocağı)
2	Tüf	Beyaz	Magmatik	2	Nevşehir (taş ocağı)
3	İgnimbrit	Pembe	Magmatik	2	Nevşehir (taş ocağı)
4	Tüf	Beyazımsı-sarı	Magmatik	2	Nevşehir (taş ocağı)
5	Kumtaşı	Sarı	Sedimanter	10	Edirne/Keşan (kaya satış fabrikası)
6	İgnimbrit	Sarımsı-beyaz	Magmatik	6	Bayburt (kaya satış fabrikası)
7	Andezit	Pembe	Magmatik	9	Çankırı (kaya satış fabrikası)
8	Mermer	Grimsi-beyaz	Metamorfik	8	Afyon (kaya satış fabrikası)
9	Rekristalize Kireçtaşı	Beyazımsı-gri	Metamorfik	6	Afyon (kaya satış fabrikası)
10	Marn	Yeşilimsi-gri	Sedimanter	1	Zonguldak/Gökçebey (şevlendirme kazı alanı)

4.2. Mineralojik-Petrografik İncelemeler

Derlenen kaya örneklerinin adları (bkz. Çizelge 4.1) makro tanımlamaların yanı sıra, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında hazırlanan ince kesitlerde yapılan mineralojik-petrografik incelemeler sonucunda belirlenmiştir. Şekil 4.3'te ince kesitlerden alınan görüntülerle birlikte mikroskobik incelemelerde yapılan tespitler sunulmuştur.

	<p>1 no'lu örnek tuf olarak adlandırılmış olup, gözenekli yapı ve piroklastik malzeme varlığı izlenmiştir. İnce tane kül oranı oldukça yüksektir. Kuvars ve plajiyoklas mineralleri kırıklı, köşeli, kısmen öz şekilli olarak gözlenmektedir. Silis oranı yüksek ve ikincil olarak görülmektedir.</p>
	<p>2 no'lu örnek tuf olarak adlandırılmıştır. Volkanik - piroklastik ürün şeklinde tanımlanmış olup, kısmi alterasyon mevcuttur. İnce tane kül oranı yüksek ve gözeneklidir. Kuvars mineralleri kırılmış, köşeli-sivri kenarlı ve öz şekilsizdir. Ayrıca pomza varlığı bulunmaktadır. Silis oranı yüksek ve ikincil olarak izlenmiştir.</p>
	<p>3 no'lu örnek ignimbrit olarak tanımlanmış olup, mikrokristalen matrix içinde hipokristalen porfirik doku gözlenmektedir. Kuvars ve feldispat mineralleri izlenmektedir. Feldispat minerallerinde alterasyon neticesinde az miktarda silisleşme ile birlikte serizitleşme görülmektedir.</p>
	<p>4 no'lu örnek tuf olarak tanımlanmış olup, gözenekli yapı ve yüksek karbonat oranı izlenmiştir. Kuvars ve mika mineralleri bulunan örnekte pomza da gözlenmekle beraber kalsit mineraline dönüşüm izlenmiş ve minerallerin altere olduğu görülmüştür. Silis oranı düşüktür ve ikincil olarak görülmektedir.</p>
	<p>5 no'lu örnek kumtaşı olarak tanımlanmış olup, eş boyutlu kalsit kristalleri gözlenmiştir. Mikrokristalin karbonat matriks içinde az miktarda silikat mineralleri izlenmiştir.</p>

Şekil 4.3. İncelenen kaya örneklerine ait mikroskop görüntüleri ve yapılan tanımlamalar.

	<p>6 no'lu örnek ignimbrit olarak adlandırılmış olup, öz şekilsiz biyotit, mika ve feldispat grubu minerallerinin yanı sıra pomzalar da bulunmaktadır. Örnekte silisleşme az miktarda gözlenmiştir. Cam kıymıklarında ve pomzalarda ignimbirit yerleşimi sonrası oluşmuş ikincil mineraller görülmektedir.</p>
	<p>7 no'lu örnek andezit olarak adlandırılmıştır. Hipokristalen porfirik dokuya sahip olan fenokristaller içerisinde öz şekilli amfibol mineralleri, temiz altere olmamış öz şekilli biyotit ve feldispat mineralleri bulunmaktadır. Hamurda mikrolit oranı çok yüksektir ve opak mineraller de gözlenmektedir.</p>
	<p>8 no'lu örnek mermer olarak tanımlanmış olup, eş boyutlu ve yarı özşekilli kalsit kristalleri izlenmektedir.</p>
	<p>9 no'lu örnek mikritik dokulu rekristalize kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Damarlarda yer yer sparitik (iri kalsit mineralleri) oluşumlara rastlanılmıştır. Belirgin olarak dolomit ve kalsit mineralleri gözlenmiştir. Rekristalizasyon sonucu bağlayıcı malzemede kil oluşumu izlenmiştir.</p>
	<p>10 no'lu örnek marn (killi kireçtaşı) olarak adlandırılmıştır. Kalsit mineralleri ve fosiller bulunmaktadır. Bağlayıcı maddesi kendisidir. Kesit üzerinde killer belirgin olarak görülmemekle birlikte makro örnekten tanımlanabilmektedir.</p>

Şekil 4.3. (Devam ediyor)

5. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

İncelenen 10 kaya örneğinin bazı fiziksel özelliklerinin yanı sıra, UCS'nin ISRM [12] tarafından önerilen doğrudan ve dolaylı yöntemlerle ve ayrıca Tuncay vd. [8]'nin önerdiği yöntemle farklı L/D oranlarındaki örneklerden belirlenmesi amacıyla çok sayıda laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerden belirlenen özellikler aşağıda maddeler halinde sunulmuş olup, deney çalışmalarının ayrıntısına alt bölümlerde değinilmiştir.

1. Birim hacim ağırlık (γ)
2. Görünür boşluk oranı (e)
3. Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS)
4. Brazilian çekilme dayanımı (σ_{tB})
5. Nokta yükü dayanımı indeksi (PLI)
6. Disk makaslama indeksi (BPI)
7. İğne penetrometre indeksi (NPI)
8. Schmidt geri sıçrama değeri (SH)

5.1. Örneklerin Deneylere Hazırlanması ve İzlenen Yöntemler

Laboratuvara nakledilen kaya bloklarından UCS deneylerinde kullanılmak üzere, öncelikle her bir kaya türü için NQ (47.6mm) çapta, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.5, 3.0 L/D oranlarına sahip en az 5'er adet silindirik örnek (karot) alınmıştır (Şekil 5.1). Bununla birlikte, bazı kaya örneklerinden tüm L/D oranları için örnek çıkartılamamıştır. Tüm örneklerin alt ve üst yüzey paralelliğinin ISRM [12]'deki önerilere uygun olması için örnekler, alt ve üst yüzeyleri kesildikten sonra paralellik sağlama aletiyle, ikinci bir işlemde geçirilmiştir. UCS deneylerine ek olarak; birim hacim ağırlık, boşluk oranı, Brazilian çekilme dayanımı ve UCS'yi dolaylı yoldan belirlemek amacıyla yukarıda değinilen indeks özelliklerin belirlenmesi için deney örnekleri hazırlanmıştır. Bu deneylerde gerek örnek sayısı gerekse örnek şekli ve deneyin yapılışı için ISRM [12,29]'de belirtilen öneriler dikkate alınmıştır.



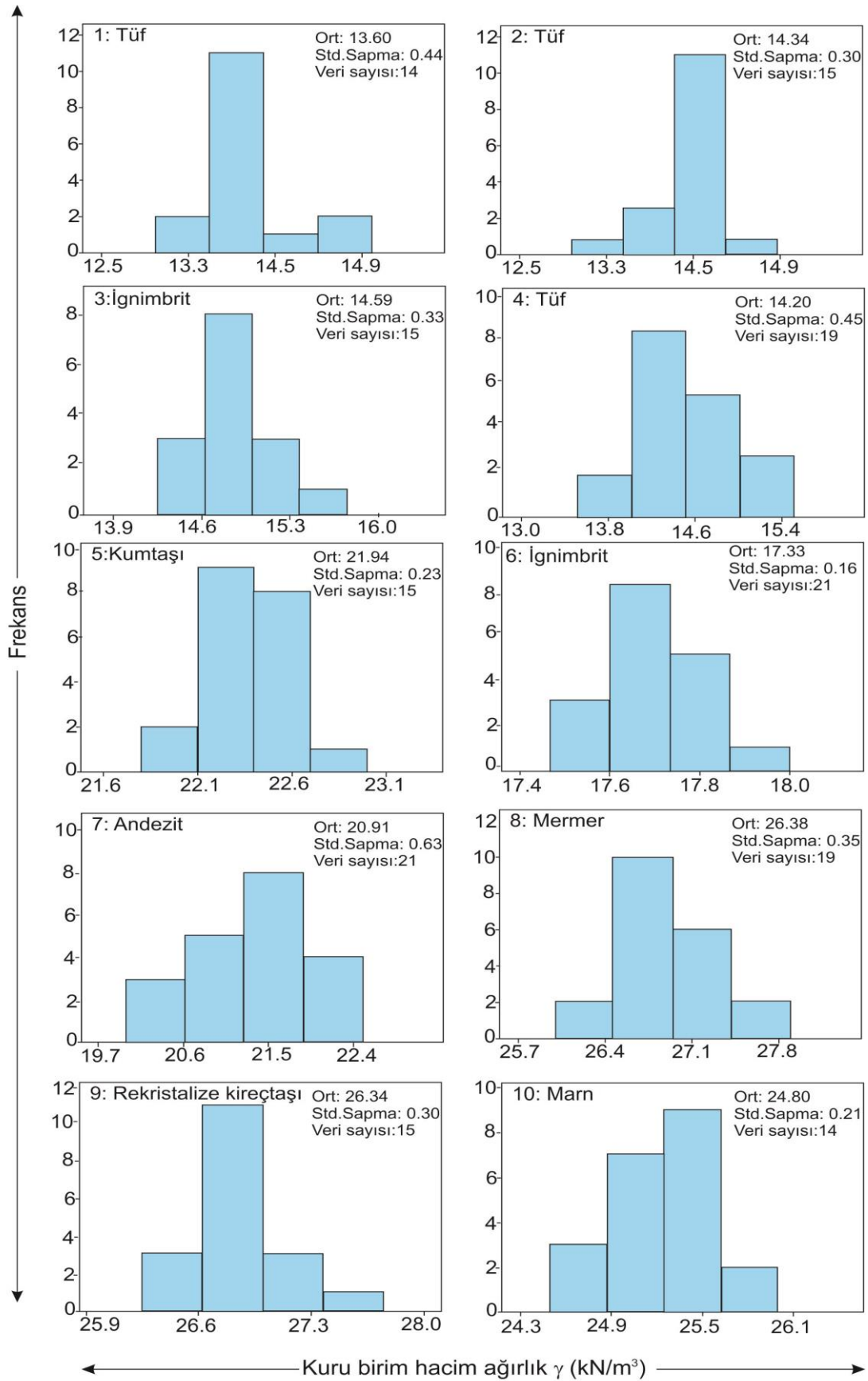
Şekil 5.1. UCS deneyi için hazırlanan farklı L/D oranlarındaki örnekler.

5.2. Birim Hacim Ağırlık ve Görünür Boşluk Oranı Tayinleri

Çalışmada kullanılan kaya türlerinin ortalama kuru birim hacim ağırlıkları ve görünür gözeneklilik oranlarının belirlenmesi için, UCS deneyleri için hazırlanan örneklerden L/D oranı 2.0 ile 3.0 arasında olanlardan yararlanılmıştır. Bu amaçla, boy ve çapları 0.01 mm hassasiyetinde kumpasla ölçülen örnekler 48 saat suda bekletilmiş ve daha sonra fırında 24 saat süreyle 105 °C'de kurutulmuştur. Örneklerin doymuş ve kuru ağırlık farklarından görünür boşluk oranları (e), kuru ağırlık ve hacimlerinden ise kuru birim hacim ağırlıkları (γ) tespit edilmiştir.

Kaya örneklerinin birim hacim ağırlık değerlerinin dağılımı (γ) ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Şekil 5.2'de verilen histogramlarda gösterilmiştir. Bu şekildeki örneklere ait ortalama birim hacim ağırlık değerlerinin değişim aralığı ve standart sapmaları incelendiğinde; deneye tabi tutulan örneklerin her birinin homojen özellikteki bloklardan alındığını söylemek mümkündür. Ayrıca bu sonuçlardan, derlenen kaya örneklerinin yaklaşık 13 kN/m³ ile 27 kN/m³ arasında γ değerlerine sahip geniş bir aralıktaki örnek türlerini içerdiği anlaşılmaktadır.

Derlenen kaya türleri için tayin edilen görünür boşluk oranı (e) değerlerinin ise, yaklaşık %7 ile %1 arasında dağılım gösterdiği Çizelge 5.1'de görülmektedir. 9 ve 10 no'lu örnekler deney programına sonradan dahil edilmiş olup, örneklerin suya doyurma işlemleri sehven unutulduğundan, Çizelge 5.1'de bu iki kaya örneğine ait e değerleri verilememiştir. Bu çizelgede verilen boşluk oranı ortalamalarının standart sapmaları (0.02 ile 0.25 arasında) dikkate alındığında, silindirik örneklerin bu anlamda da homojen özellikteki bloklardan alındığı sonucuna varmak mümkündür.



Şekil 5.2. Örneklerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin dağılımı ve istatistiksel değerlendirme sonuçları.

Çizelge 5.1. Derlenen kaya türlerine ait ortalama kuru birim hacim ağırlık ve görünür boşluk oranı değerleri.

Örnek No	Kaya Adı	γ (kN/m ³)	e (%)
1	Tüf	13.6 (0.44)	6.8 (0.05)
2	Tüf	14.3 (0.30)	6.5 (0.06)
3	İgnimbrit	14.5 (0.33)	7.1 (0.11)
4	Tüf	14.2 (0.45)	5.9 (0.25)
5	Kumtaşı	21.9 (0.23)	3.0 (0.06)
6	İgnimbrit	17.3 (0.16)	5.1 (0.10)
7	Andezit	20.9 (0.63)	2.4 (0.13)
8	Mermer	26.3 (0.35)	0.05 (0.02)
9	Rekristalize kireçtaşı	26.3 (0.30)	- -
10	Marn	24.8 (0.31)	- -

n: Görünür boşluk oranı γ : Kuru birim hacim ağırlık
Parantez içindeki değerler standart sapmaları göstermektedir.

5.3. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) Deneyleri

Çalışmanın amacı doğrultusunda, derlenen kaya örneklerinde L/D-UCS değişiminin belirlenmesi için, Bölüm 5.1’de de belirtildiği gibi, L/D oranı 1.0’den 3.0’e kadar değişen örneklerde (Şekil 5.3) deneyler yapılmıştır. Deneyler, kaya örnekleri için 50 ton kapasiteli, otomatik kontrollü hidrolik yükleme aleti kullanılarak ve örnekler 5 ile 10 dakika arasında kırılacak şekilde yürütülmüştür. Toplam 354 örnekten elde edilen sonuçların her bir L/D oranı için ortalama değerleri ve standart sapmalarıyla Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu çizelgedeki deney sonuçları ve Şekil 5.4’teki grafikler incelendiğinde, genel olarak UCS’nin L/D oranının artmasına bağlı olarak azaldığı ve belirli bir L/D oranından sonra birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, bazı L/D oranlarındaki deneylerden bu tespiti aykırı değerler belirlenmiş olup, bu durumun örneklerdeki mikrokırık dağılımı, tane büyüklüklerinin örnekten örneğe farklılık göstermesi vb. nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

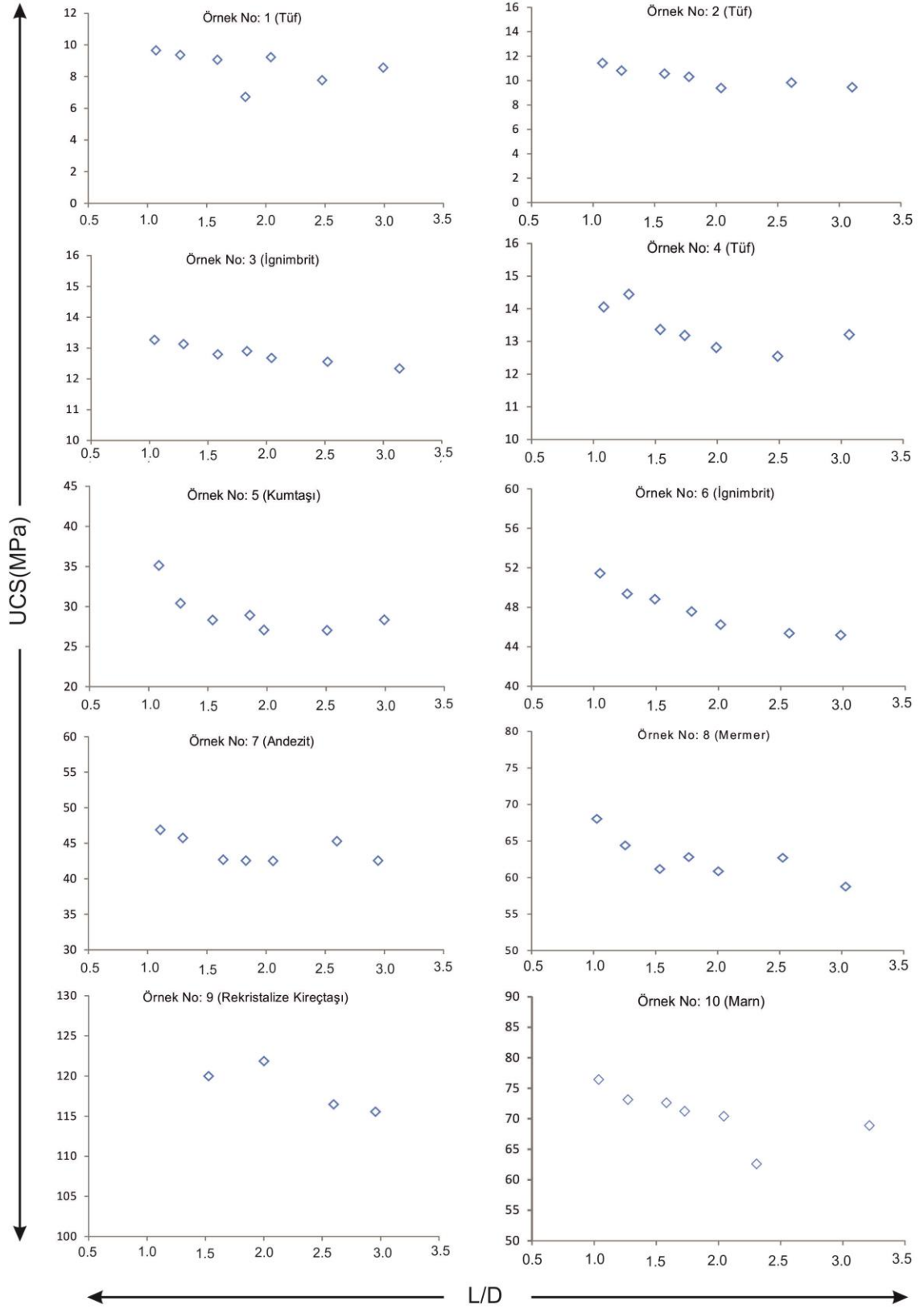


Şekil 5.3. L/D=1.0-3.0 arasında değişen örnekler üzerinde yapılmış UCS deneylerine ait seçilmiş görünüşler.

Çizelge 5.2. Farklı L/D oranlarına sahip örneklerde belirlenen UCS değerleri.

Örnek No	L/D	Örnek sayısı	UCS (MPa)	Standart sapma
1	1.07	5	9.6	(±)0.07
	1.28	5	9.3	(±)0.4
	1.59	5	9.0	(±)0.2
	1.83	5	6.7	(±)1.3
	2.04	5	9.2	(±)0.2
	2.48	5	7.7	(±)1.8
	2.99	4	8.5	(±)0.6
2	1.08	5	11.4	(±)1.7
	1.23	5	10.7	(±)1.3
	1.58	5	10.5	(±)0.8
	1.78	5	10.2	(±)0.6
	2.04	5	9.3	(±)0.9
	2.61	5	9.8	(±)1.2
	3.11	5	9.4	(±)0.3
3	1.04	5	13.2	(±)0.06
	1.29	5	13.1	(±)0.4
	1.58	6	12.7	(±)1.9
	1.83	5	12.8	(±)0.4
	2.04	7	12.6	(±)0.3
	2.52	5	12.5	(±)1.9
	3.14	5	12.3	(±)1.3
4	1.08	5	14.0	(±)0.4
	1.29	7	14.4	(±)1.0
	1.54	5	13.3	(±)0.3
	1.74	5	13.1	(±)2.1
	1.99	5	12.8	(±)0.8
	2.49	5	12.5	(±)1.1
	3.07	9	13.2	(±)0.4
5	1.09	5	35.1	(±)1.8
	1.26	5	30.3	(±)4.6
	1.54	5	28.3	(±)4.8
	1.85	5	28.9	(±)1.5
	1.97	5	27.0	(±)1.4
	2.51	5	27.0	(±)2.9
	2.99	5	28.3	(±)3.6

6	1.05	5	51.4	(±)1.6
	1.27	5	49.3	(±)5.6
	1.49	7	48.8	(±)5.4
	1.79	5	47.5	(±)3.2
	2.02	5	46.2	(±)6.1
	2.57	7	44.4	(±)4.6
	2.98	7	45.1	(±)5.3
7	1.11	5	46.8	(±)5.2
	1.30	5	45.7	(±)2.8
	1.64	5	42.6	(±)2.2
	1.83	5	42.5	(±)2.9
	2.06	5	42.4	(±)3.4
	2.60	7	45.2	(±)2.7
	2.95	7	42.5	(±)3.4
2.98	7	45.1	(±)5.3	
8	1.26	5	64.3	(±)0.6
	1.53	5	61.1	(±)3.8
	1.77	5	62.7	(±)5.3
	2.01	5	60.8	(±)4.3
	2.52	9	62.5	(±)3.4
	3.03	5	58.7	(±)7.8
9	1.53	3	119.9	(±)6.5
	2.0	5	121.8	(±)38.4
	2.60	5	116.4	(±)31.2
	2.96	5	115.5	(±)13.9
10	1.04	5	76.4	(±)6.7
	1.27	6	73.1	(±)4.0
	1.58	6	72.6	(±)7.5
	1.73	6	71.2	(±)6.0
	2.04	5	70.3	(±)2.2
	2.31	4	62.5	(±)1.2
	3.22	4	68.8	(±)5.6



Şekil 5.4. İncelenen örnekler için UCS'nin L/D'ye bağlı değişimleri.

5.4. Brazilian Çekilme Dayanımı Deneyleri

Brazilian çekilme dayanımı deneyleri, NX (54 mm) çaplı ve kalınlık/yarıçap oranı 0.5 olan silindirik örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5). Toplam 89 adet örnek üzerinde yapılan çekilme dayanımı deney sonuçlarından ISRM [12] önerilerine göre geçersiz deney sonuçları ayırtlanmış ve ortalama değerler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu çizelgede verilen sonuçlar incelendiğinde derlenen kaya örneklerinin çekilme dayanımı değerlerinin 1.2 MPa'dan 7.1 MPa'a kadar değişen bir aralıkta olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarından hesaplanan standart sapmaların ise, 0.1 ile 1.2 arasında değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 5.5. Brazilian deneyi sonrasında yenilmiş örnekler.

Çizelge 5.3. Kaya örneklerine ait Brazilian çekilme dayanımı (σ_{tB}) değerleri.

Örnek No	Kaya Adı	σ_{tB} (MPa)	Deney sayısı
1	Tüf	1.3 (0.2)	6
2	Tüf	1.2 (0.1)	8
3	İgnimbrit	1.6 (0.2)	6
4	Tüf	1.4 (0.2)	10
5	Kumtaşı	2.4 (0.4)	10
6	İgnimbrit	4.9 (0.8)	10
7	Andezit	3.1 (0.4)	10
8	Mermer	3.8 (0.5)	10
9	Rekristalize kireçtaşı	7.1 (1.2)	9
10	Marn	4.9 (0.3)	10

Parantez içindeki değerler standart sapmaları göstermektedir.

5.5. Schmidt Çekici Deneyleri

Tez kapsamında derlenen blok kaya örnekleri üzerinde L-tipi Schmidt çekici (SH) ile geri sıçrama değerleri ölçülmüştür. Her bir örnek için 20'şer ölçümden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'te sunulmuş olup, bu çizelgeden ortalama geri sıçrama değerlerinin 22 ile 71 arasında değiştiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Kaya örneklerine ait Schmidt çekici deney sonuçları.

Örnek No	Kaya adı	Ort. Geri Sıçrama	Deney sayısı
1	Tüf	22	20
2	Tüf	26	20
3	İgnimbrit	24	20
4	Tüf	30	20
5	Kumtaşı	42	20
6	İgnimbrit	53	20
7	Andezit	61	20
8	Mermer	54	20
9	Rekristalize kireçtaşı	71	20
10	Marn	48	20

5.6. Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi Deneyleri

Nokta yüğü dayanım indeksinin (PLI) belirlenebilmesi için her kaya grubu için NX (54mm) ve NQ (47mm) çapındaki örneklerden hazırlanan ve kalınlık/çap oranı 1.0 olan en az 10 silindirik örnek üzerinde çapsal deneyler yapılmıştır (Şekil 5.6). Deneylere ilişkin sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, derlenen örneklerin PLI değerlerinin 0.31 MPa ile 2.96 MPa gibi geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir.



Şekil 5.6. (a) Nokta yüğü dayanımı deneyinin çapsal olarak andezit numunesi üzerinde uygulanması ile (b) nokta yükleme dayanımı deneyi uygulanmış kaya örneklerinden görünümüler.

Çizelge 5.5. Kaya örneklerine ait nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) değerleri.

Örnek No	Kaya adı	$I_{s(50)}$ (MPa)	Deney sayısı
1	Tüf	0.31 (0.05)	10
2	Tüf	0.79 (0.08)	10
3	İgnimbrit	0.80 (0.21)	10
4	Tüf	0.92 (0.18)	10
5	Kumtaşı	1.95 (0.29)	10
6	İgnimbrit	2.69 (0.62)	10
7	Andezit	2.33 (0.12)	10
8	Mermer	2.96 (0.44)	10
9*	Rekristalize kireçtaşı	-	-
10	Marn	1.52 (0.86)	12

* Örnek yetersizliği nedeniyle deney yapılamamıştır.
Parantez içindeki değerler standart sapmaları göstermektedir.

5.7. Disk Makaslama Dayanım İndeksi Deneyleri

Derlenen örneklerde disk makaslama dayanım indeksi (BPI) deneyleri yapılmış (Şekil 5.7) ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.7'de de görüldüğü gibi, bazı örnekler ISRM [12] önerilmiş yönteme uygun şekilde yenilmemiş olup, bu tür sonuçlar Çizelge 5.6'daki ortalama değerlerin belirlenmesinde dikkate alınmamıştır. BPI değerlerinin 1 ile 16 MPa arasında değiştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7. BPI deneyi için hazırlanmış ve deney yapılmış örneklerden görünümler.

Çizelge 5.6. Kaya örneklerine ait disk makaslama dayanımı indeksi (BPI) deney sonuçları.

Örnek No	Kaya adı	BPI (MPa)	Deney sayısı
1	Tüf	1.1 (0.6)	10
2	Tüf	3.6 (1.5)	12
3	İgnimbrit	5.3 (1.5)	10
4	Tüf	3.2 (1.8)	11
5	Kumtaşı	5.3 (0.8)	10
6	İgnimbrit	6.5 (1.7)	10
7	Andezit	10.4 (2.8)	10
8	Mermer	16.0 (5.4)	10
9	Rekristalize kireçtaşı	8.9 (3.6)	6
10	Marn	9.0 (2.7)	10

Parantez içindeki değerler standart sapmaları göstermektedir.

5.8. İğne Penetrometre Deneyleri

İğne penetrometre deneyi (NPT), sadece zayıf dayanımlı (≤ 20 MPa, [79]) kaya örneklerinde uygulanabilmektedir. Tez kapsamında derlenen kaya örneklerinden 1, 2, 3, 4 ve 10 no'lu örneklerin diğer örneklerle nazaran zayıf olduğu düşünülerek, NPT'ler (Şekil 5.8) sadece bu örneklerde yapılmıştır (Çizelge 5.7). Bu sonuçlardan, iğne penetrasyon indeksinin (NPI) tüflerde birbirine yakın değerler aldığı (8 ile 14 N/mm arasında), ancak marn örneğinde 43 N/mm gibi yüksek bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8. Blok örneklerden birinde yapılan iğne penetrometre deneyinden (NPT) bir görünüm.

Çizelge 5.7. İğne penetrometre deney sonuçları.

Örnek no	Kaya adı	NPI (N/mm)	Deney sayısı
1	Tüf	14.4 (1.3)	5
2	Tüf	8.1 (4.2)	5
3	İgnimbrit	9.4 (4.0)	5
4	Tüf	12.3 (8.1)	5
10	Marn	43.3 (8.1)	5

NPI: İğne penetrometre indeksi

Parantez içindeki değerler standart sapmaları göstermektedir.

6. FARKLI L/D ORANINA SAHİP ÖRNEKLERDEN VE İNDEKS DENEYLERDEN UCS'NİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER

1. ve 2. Bölüm'de de değinildiği gibi, bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesine temel oluşturan konu, Tuncay vd. [8] tarafından önerilen ve UCS deneyinin $L/D=1.0$ oranına kadar uygulanmasına olanak sağlayan yöntemin geçerliliğini araştırmak ve performansını değerlendirmektir. Ayrıca, bazı indeks deneylerle de UCS'lerin belirlenerek elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçlarla yapılan değerlendirmelere aşağıdaki alt bölümlerde değinilmiştir. İlerleyen bölümlerde Tuncay vd. [8] tarafından önerilen yöntem "L/D SINIF yöntemi" olarak anılacaktır.

6.1. UCS'nin Farklı L/D Oranındaki Örneklerden Belirlenmesi

Bu kapsamda öncelikle, L/D SINIF yönteminin 1., 2. ve 3. önerilerine göre L/D sınıf aralıkları (bkz. Çizelge 2.1) çalışmada derlenen kaya örnekleri için tespit edilmiştir. Yöntemdeki 1. Öneride tüm kaya örnekleri için $L/D=3.0$ alınabileceği belirtilmektedir. Sadece Hoek-Brown m_i sabiti (bkz. Çizelge 2.2) kullanılarak belirlenen L/D aralıkları (3. Öneri) ile $m_i \times \sigma_{tB}$ çarpımı ile belirlenenler (2. öneri) ise, Çizelge 6.1'de sunulmuştur. Sonraki aşamada ise, 5. Bölüm'de Çizelge 5.2'de verilen UCS değerleri dikkate alınarak, yukarıda değinilen üç öneriye göre bulunmuş L/D oranlarına karşılık gelen UCS'lerin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerle birlikte ISRM [12] tarafından önerilen $L/D= 2.5-3.0$ aralığındaki örneklerden belirlenen ortalama UCS'ler Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2'deki veriler kullanılarak, L/D SINIF yöntemiyle ve ISRM [12] önerisine göre belirlenmiş UCS'lerin ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$ ve UCS_{ISRM} 'ler) karşılaştırmaları Şekil 6.1'de sunulmuştur. Bu grafiklerden görüldüğü gibi, UCS verilerinin hemen hemen 1:1 çizgisi üzerinde yer aldığını söylemek mümkündür. Buna ek olarak, 2. ve 3. öneriyle belirlenen UCS'ler, $L/D=3.0$ olan örneklerden elde edilmiş UCS'lerle de ($UCS_{L/D=3.0}$) karşılaştırılmıştır (Şekil 6.2). Bu şekilden de görüldüğü gibi verinin dağılımı 1:1 çizgisine oldukça yakındır.

Çizelge 6.1. L/D SINIF yönteminin önerilerine göre belirlenmiş L/D aralıkları.

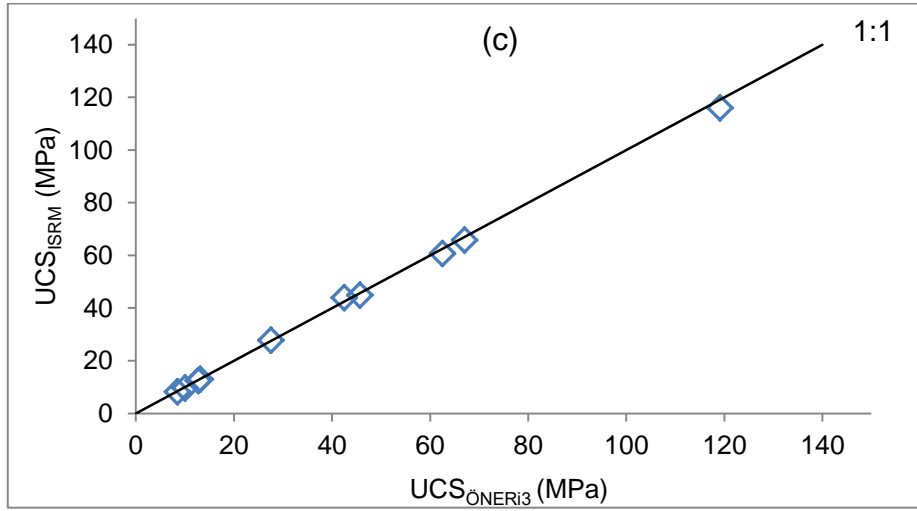
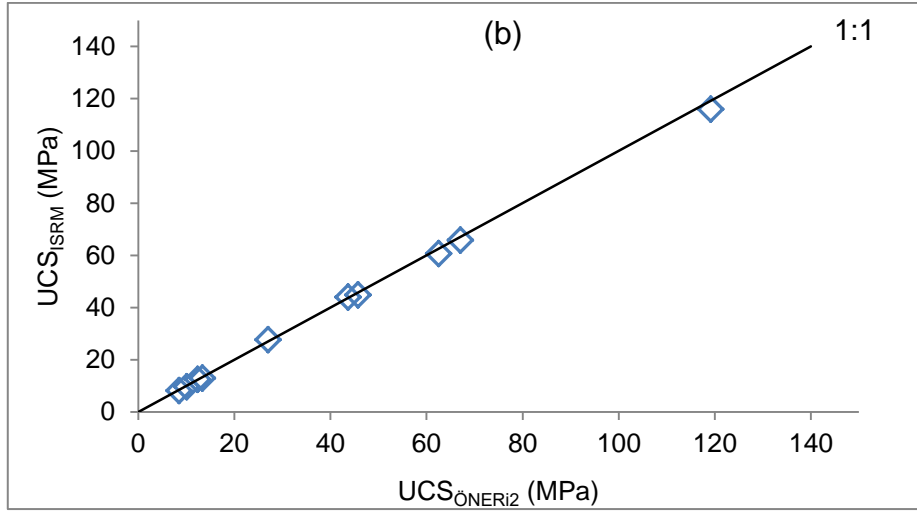
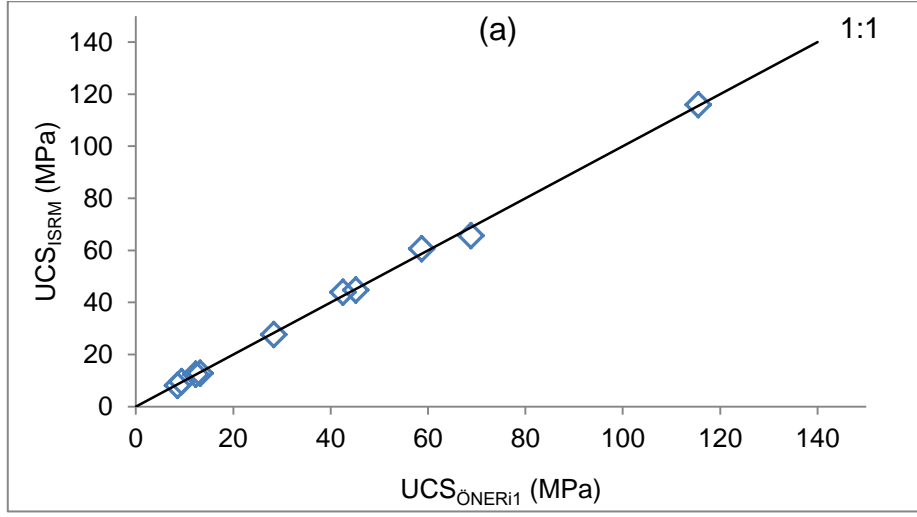
Örnek No	Kaya Adı	m_i	σ_{tB} (MPa)	$m_i \times \sigma_{tB}$	L/D (2. öneri)	L/D (3. öneri)
1	Tüf	13	1.2	15.9	1.7-2.0	2.0-2.5
2	Tüf	13	1.4	18.2	1.7-2.0	2.0-2.5
3	İgnimbrit	13*	1.6	21.4	1.7-2.0	2.0-2.5
4	Tüf	13	1.4	18.7	1.7-2.0	2.0-2.5
5	Kumtaşı	17	2.4	42.1	2.0-2.5	2.5-3.0
6	İgnimbrit	13*	4.9	64.4	2.0-2.5	2.0-2.5
7	Andezit	25	3.2	80.0	2.5-3.0	3.0
8	Mermer	9	3.8	35.0	2.0-2.5	2.0-2.5
9	Rekristalize Kireçtaşı	9 ⁺	7.1	63.9	2.0-2.5	2.0-2.5
10	Marn	7	4.9	34.6	2.0-2.5	2.0-2.5

*Tüf için önerilen m_i değerleri alınmıştır. +Mikritik kireçtaşı için önerilen m_i değerleri alınmıştır.

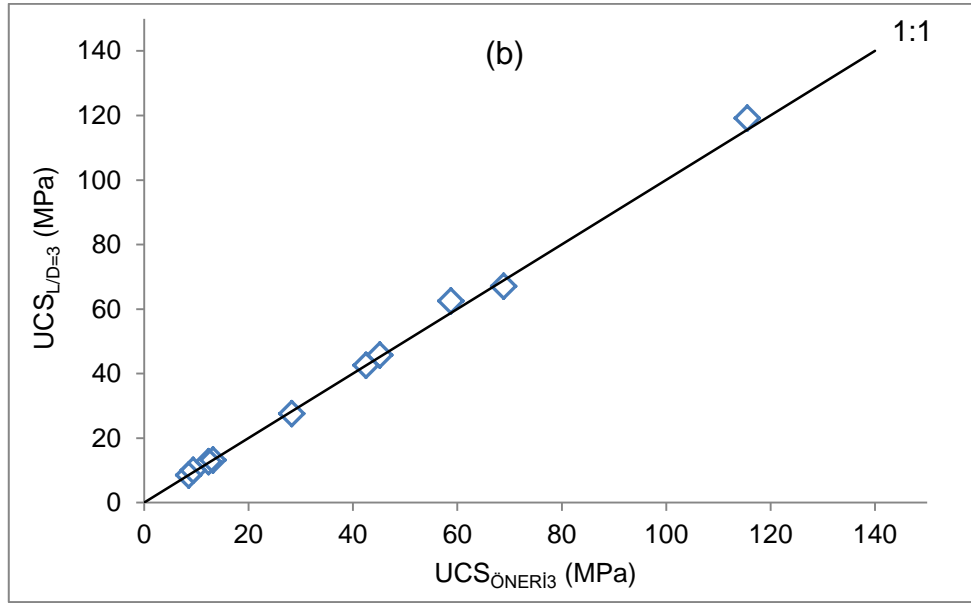
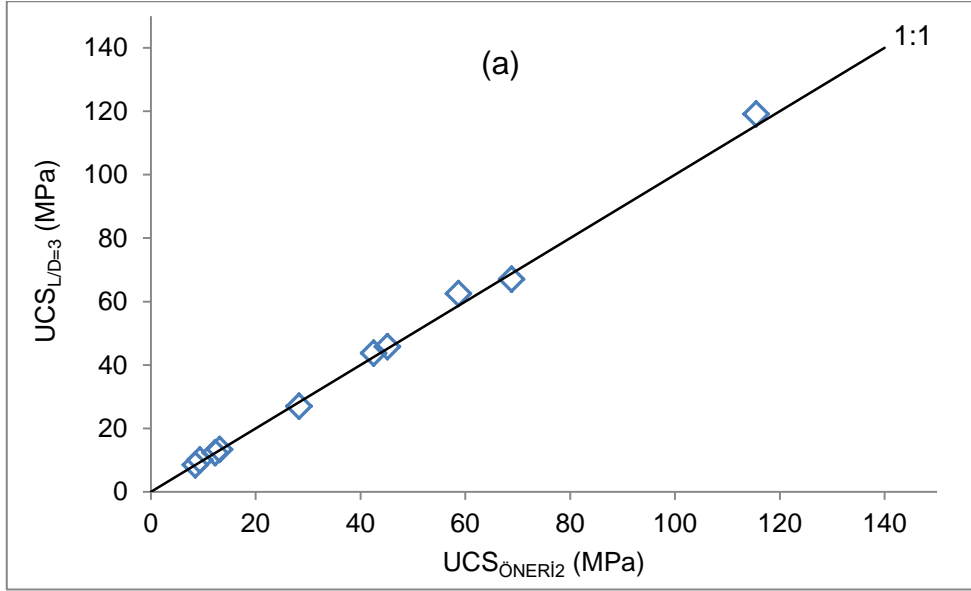
Çizelge 6.2. L/D SINIF yöntemi ile ISRM [12] önerisi dikkate alınarak belirlenmiş UCS'ler.

Örnek No	Kaya Adı	UCS (MPa)			
		L/D SINIF			ISRM [12] (L/D=2.5-3.0)
		1.ÖNERİ (L/D=3)	2. ÖNERİ**	3. ÖNERİ**	
1	Tüf	8.56	8.53	8.49	8.1
2	Tüf	9.4	10.1	10.0	9.6
3	İgnimbrit	12.3	12.3	12.7	12.4
4	Tüf	13.2	13.3	13.1	12.8
5	Kumtaşı	28.3	27.0	27.5	27.6
6	İgnimbrit	45.1	45.7	45.7	44.8
7	Andezit	42.5	43.7	42.5	43.9
8	Mermer	58.7	62.5	62.5	60.6
9	Rekristalize kireçtaşı	115.5	119.1	119.1	116.0
10	Marn	68.8	67.0	67.0	65.7

*Bu önerilerdeki L/D aralıkları Çizelge 6.1'deki gibidir. +Çizelge 6.1'deki L/D aralıklarından ± 0.05 oranında farklılık sunan örneklerin UCS'leri de aralık içinde varsayılmıştır.



Şekil 6.1. L/D SINIF yöntemindeki (a) Öneri 1, (b) Öneri 2 ve (c) Öneri 3'e göre tespit edilmiş L/D oranlarındaki örneklerden belirlenen UCS'ler ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$) ile ISRM [12] önerisindeki L/D aralığındaki örneklerden belirlenenlerin ($UCS_{\text{İSRM}}$) karşılaştırılması.



Şekil 6.2. L/D SINIF yöntemindeki (a) Öneri 2 ve (b) Öneri 3'ten tespit edilmiş L/D aralıklarındaki örneklerden belirlenen UCS'ler ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$) ile L/D=3 oranındaki örneklerden belirlenenlerin ($UCS_{L/D=3}$) karşılaştırılması.

Şekil 6.1 ve 6.2'deki karşılaştırmaların yanı sıra, $UCS_{\text{ÖNERİ}}$ 'lerin, UCS'lere göre yüzde değişimleri (sapmaları) hesaplanarak histogram şeklinde sunulmuştur (Şekil 6.3a). Bu şekilden söz konusu değişimlerin tüm örnekler ve öneriler için $\pm\%5$ 'in altında kaldığı görülmektedir. Şekil 6.3b'de ise, Öneri 2 ve 3'ten belirlenen UCS'lerin L/D=3.0 olan örneklerdeki UCS'lerden ($UCS_{L/D=3.0}$) sapmaları gösterilmiştir. Bu grafikten de sapmaların oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Bu belirlemelerin ışığında, L/D SINIF yöntemi önerilerindeki sınıflamalar kullanılarak belirlenen UCS'lerin ISRM [12] önerisine uygun UCS'lerden çok az sapma gösterdiği ve bu nedenle önerilen L/D sınıflarının derlenen kaya örnekleri için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

L/D SINIF yöntemdeki 4. Seçenek ise, 2. ve 3. Öneride belirtilen L/D oranı aralığında örnek alınamaması durumunda UCS deneyinin daha düşük oranlardaki örneklerde yapılarak, olması gereken UCS'nin bir düzeltme eşitliğiyle belirlenmesidir (bkz. Çizelge 2.1). Orijinal çalışmadaki 4. Öneride yer alan $(L/D)_{lim}$ eşitliği, düzeltme eşitliğinde yerine konularak aşağıda tekrar verilmiştir.

$$UCS_c = UCS \left(0.238 \frac{(L/D)}{(0.0079m_i \sigma_{tB} + 1.69)} + 0.755 \right) \quad (Eş. 6.1)$$

Burada,

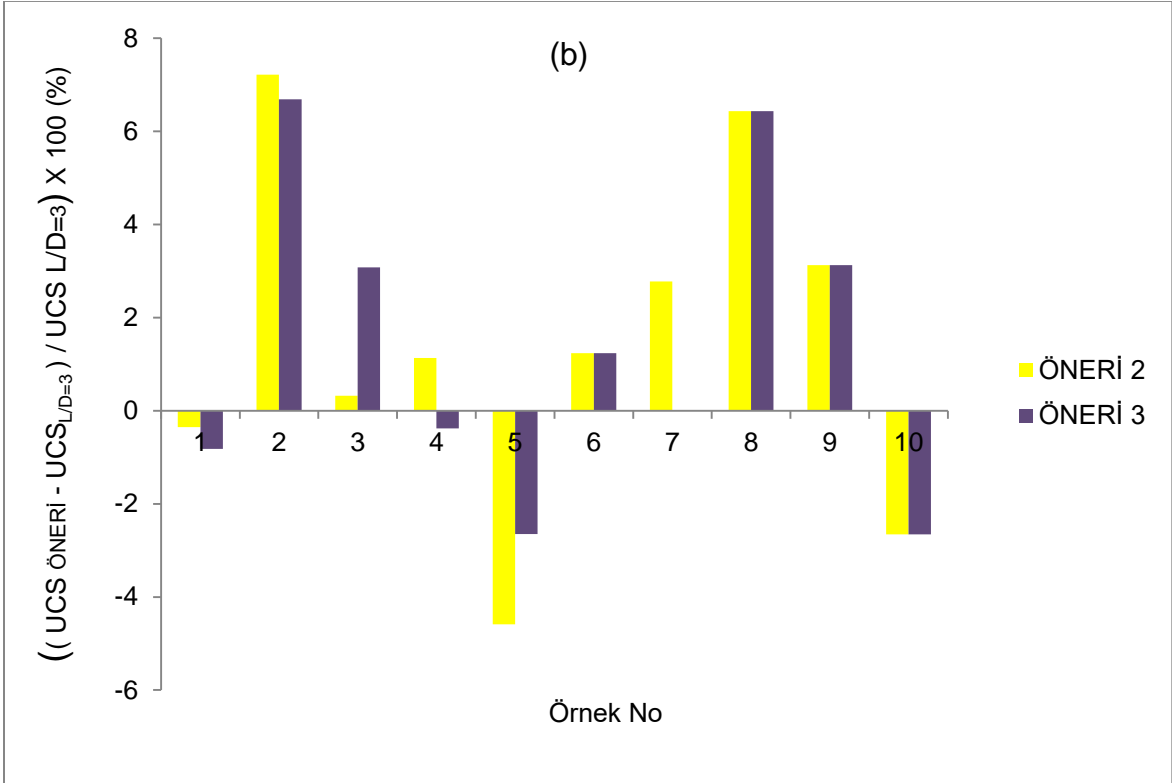
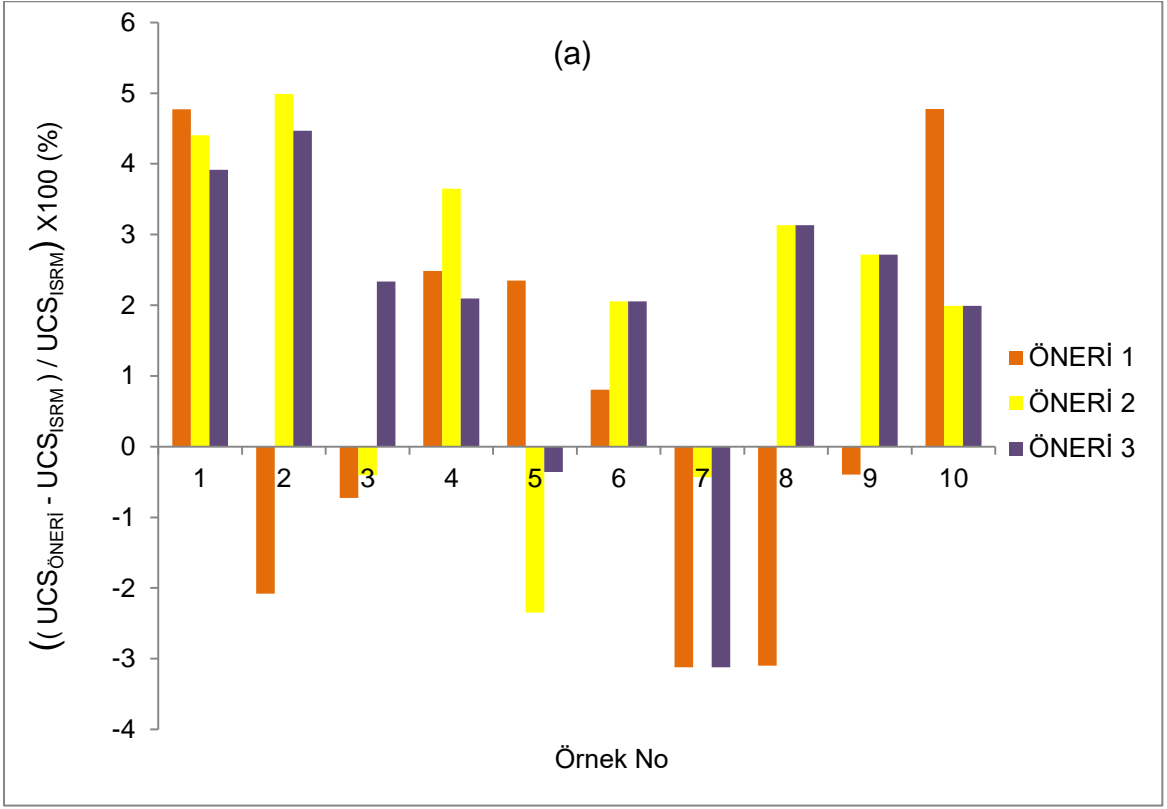
UCSc: Düzeltilmiş (olması gereken) tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

UCS: L/D oranındaki örnekte yapılan deneyden belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

L/D: Deneyde kullanılan örneğin L/D oranı (1.0'den büyük, Öneri 2'deki sınıf aralıklarından küçük olmalı)

m_i : Hoek [13] tarafından önerilen çizelgeden seçilmelidir (bkz. Çizelge 2.2).

σ_{tB} : Brazilian deneyi ile belirlenmiş çekilme dayanımı (MPa)



Şekil 6.3. L/D SINIF yönteminden belirlenen UCS'lerin ($UCS_{\text{ÖNERİ}}$) (a) ISRM [12] önerisine uygun belirlenmiş UCS'ler (UCS_{ISRM}) ile (b) L/D=3.0 olan örneklerdeki UCS'lere ($UCS_{L/D=3}$) göre yüzde sapmaları

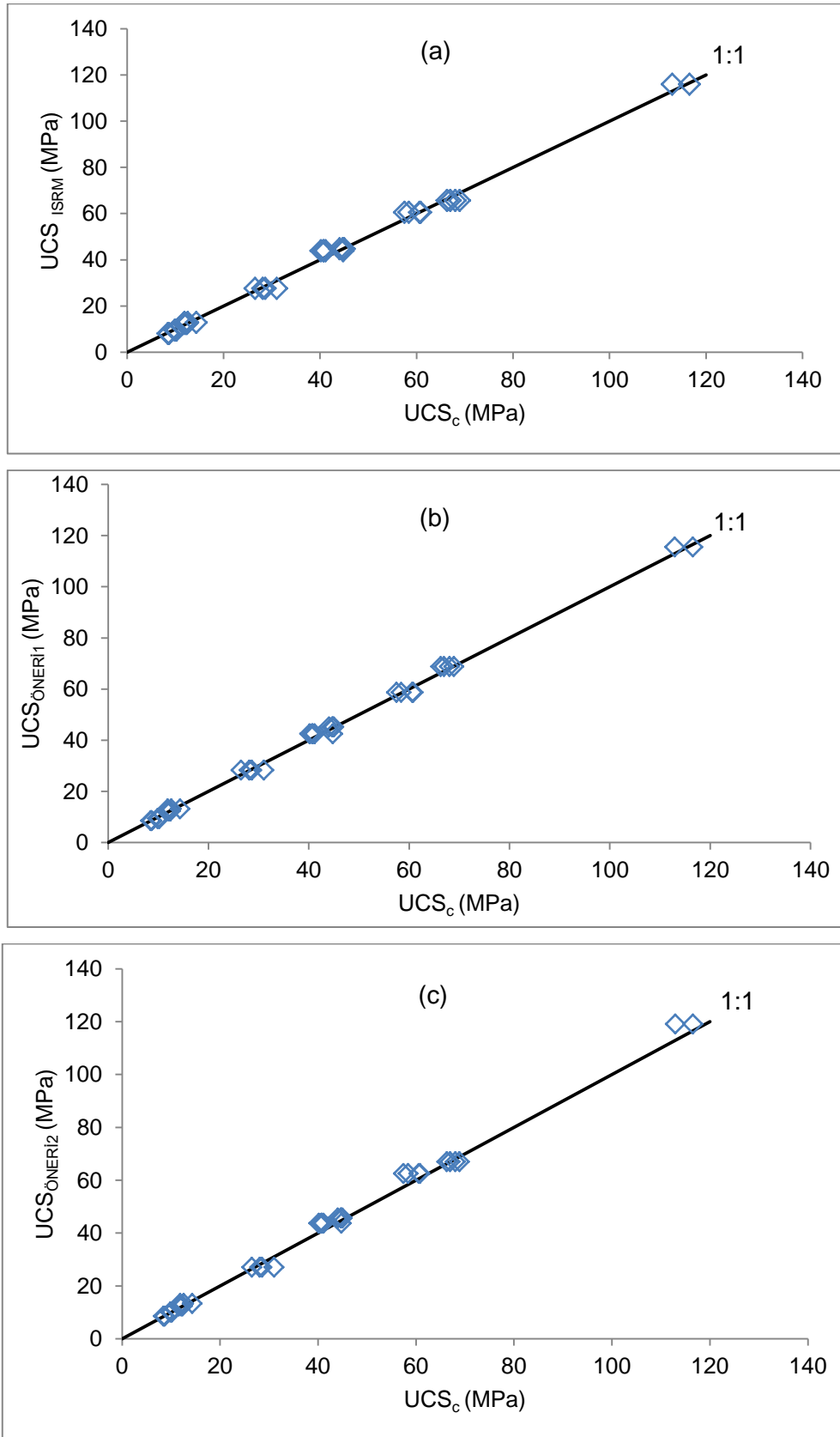
Bu düzeltme eşitliğinin L/D oranı 1.0'e kadar olan örneklerdeki UCS'ler için kullanılabilceği, daha düşük oranlardaki örnekler için geçerli olmadığı yöntemi öneren araştırmacılar [8] tarafından vurgulanmıştır. Ayrıca, Eşitlik 6.1'den de görüldüğü gibi, bu eşitliğin kullanılabilmesi için düşük L/D oranı için belirlenen UCS değeri ve Hoek [13] tarafından önerilen m_i 'nin (bkz. Çizelge 2.2) yanı sıra, örneğin çekilme dayanımının Brazilian deneyiyle belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu gereklilik dikkate alınarak, Çizelge 6.1'de 2. Öneri için sunulan L/D aralıklarından daha küçük oranlardaki örneklerden belirlenen UCS'lerin (bkz. Çizelge 5.2.) düzeltilmiş değerleri (UCS_c), Eşitlik 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3'teki veriler kullanılarak L/D SINIF yönteminde 4. önerinin geçerliliği üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Bu amaçla hazırlanan grafikler (Şekil 6.4) incelendiğinde, düzeltilmiş UCS'lerin gerek ISRM [12] gerekse L/D SINIF yönteminin 1. ve 2. önerileri doğrultusunda belirlenen UCS'ler ile oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Şekil. 6.5'te ise, söz konusu UCS'ler arasındaki yüzde olarak sapmalar gösterilmiş olup, 4 no'lu örnek haricinde tüm örnekler için ± 10 'un çoğunlukla da ± 5 'in altında değişimler tespit edilmiştir.

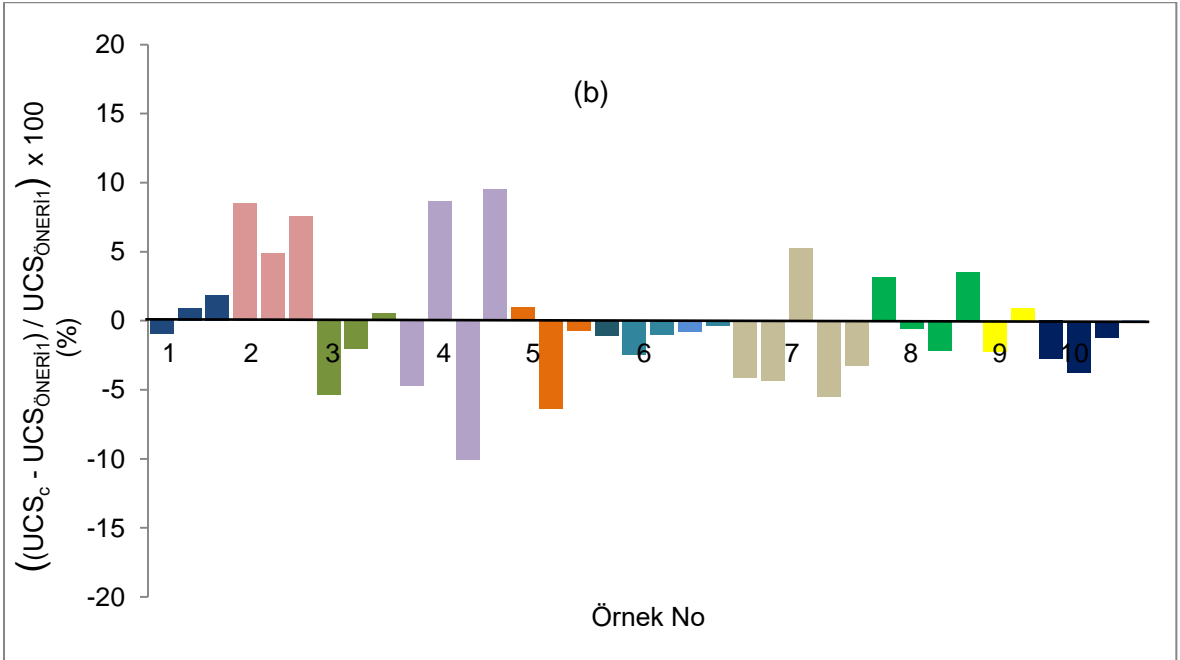
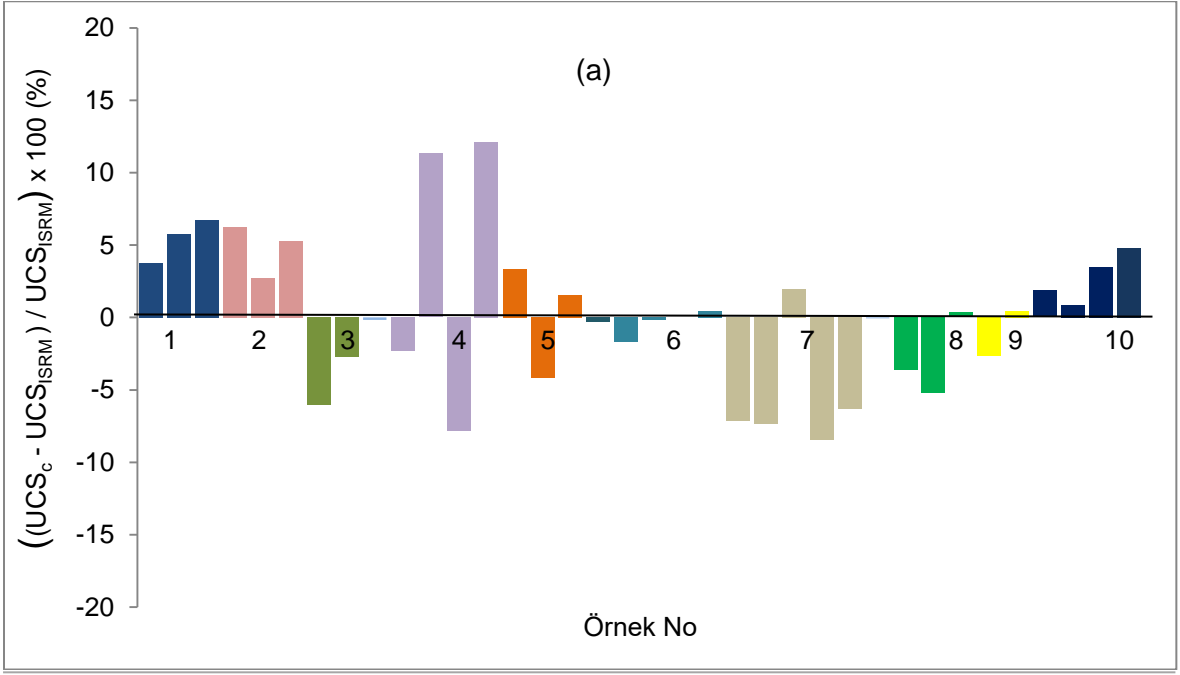
Çizelge 6.3. Düşük L/D oranına sahip örneklerden elde edilen UCS'ler ile düzeltilmiş değerleri (UCS_c).

Örnek No	L/D Oranı	UCS	m_i	σ_{tB}	UCS_c^*
1	1.07	9.4	13	1.23	8.4
	1.28	9.3			8.6
	1.59	9.0			8.7
2	1.08	11.4	13	1.40	10.2
	1.23	10.7			9.8
	1.58	10.5			10.1
3	1.04	13.1	13	1.65	11.6
	1.29	13.1			12.0
	1.58	12.9			12.4
4	1.08	14.0	13	1.44	12.5
	1.29	15.5			14.3
	1.54	12.4			11.8
5	1.09	35.1	17	2.48	31.0
	1.26	31.6			28.6
	1.54	28.3			26.5
	1.85	28.9			28.1
6	1.05	51.4	13	4.96	44.6
	1.27	49.3			44.0
	1.49	58.0			53.1
	1.79	47.5			44.8
7	1.11	46.8	25	2.32	40.7
	1.30	45.7			40.6
	1.64	48.4			44.7
	1.83	42.5			40.1
	2.06	42.4			41.1
8	1.03	68.8	9	1.97	60.5
	1.26	64.3			58.4
	1.53	61.1			57.4
	1.77	62.7			60.8
9	1.53	124.2	12	2.36	112.9
	2.0	121.8			116.5
10	1.04	76.4	7	1.96	66.9
	1.27	73.1			66.3
	1.58	72.6			68.0
	1.78	71.2			68.9

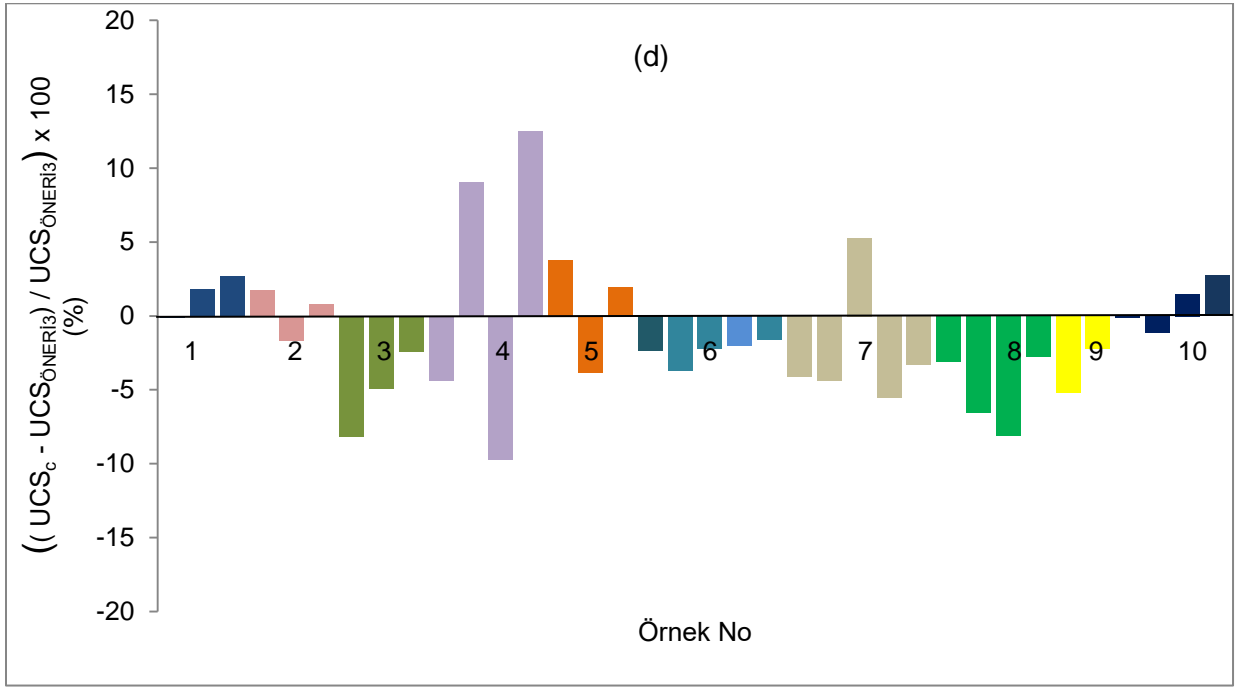
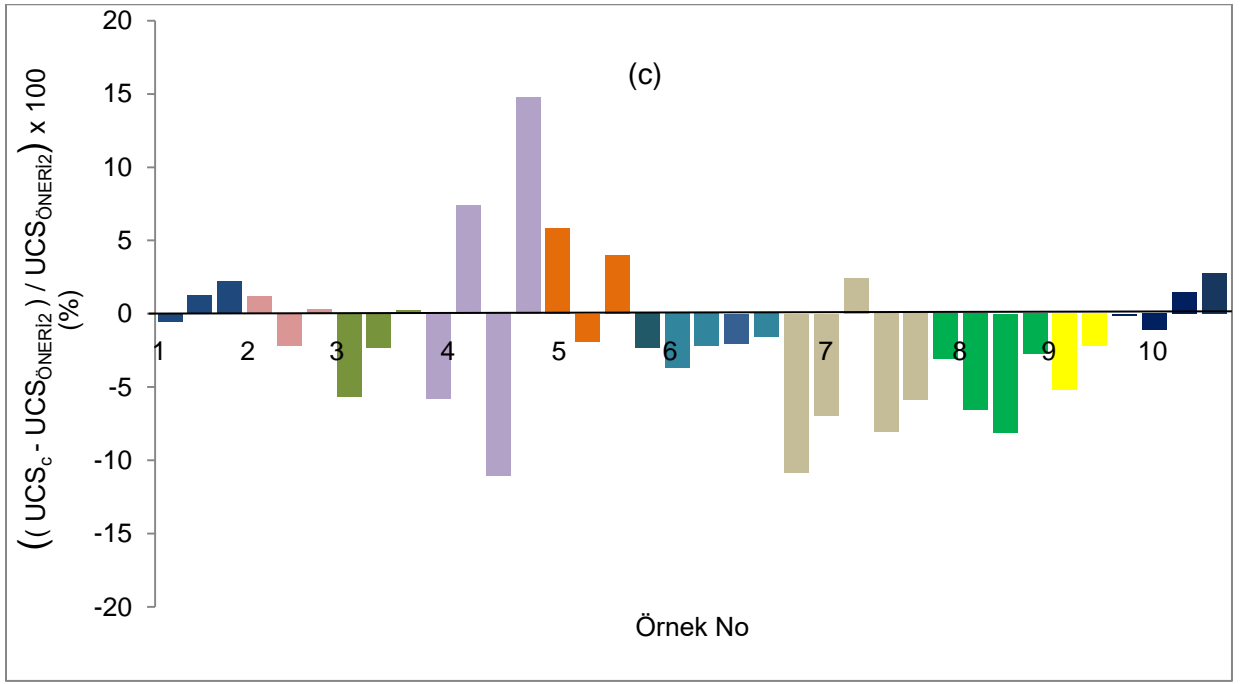
*Eşitlik 6.1'den hesaplanmıştır.



Şekil 6.4. Düzeltilmiş UCS'ler (UCS_c) ile (a) ISRM [12] önerisine, (b) L/D SINIF yöntemi – Öneri 1 ve (c) Öneri 2'ye göre belirlenmiş UCS'lerin karşılaştırılması.



Şekil 6.5. Düzeltilmiş UCS'lerin (UCS_c) (a) ISRM [12] ve (b) L/D SINIF yöntemi - Öneri 1, (c) Öneri 2 (d) Öneri 3 dikkate alınarak belirlenen UCS'lerden yüzde değişimleri.



Şekil 6.5.(Devam ediyor)

6.2. İstatistiksel Anlamlılık Testleri

Şekil 6.1, 6.2 ve 6.4'teki verilerin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımların istatistiksel anlamda önemlilik derecelerini belirlemek amacıyla SPSS programı kullanılarak *F*- ve *t*- testleri yapılmıştır. Genel uygulamalarda bu testler bağımsız bir parametreden bağımlı bir parametrenin belirlenmesi için oluşturulan regresyon modellerinin anlamlılığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu tez çalışmasındaki değerlendirmelerde (bkz. Şekil 6.1, 6.2 ve 6.4), böyle bir durum yerine “tahmin edilen” ve “belirlenen” özelliklerin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımlarına ilişkin anlamlılığın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, L/D SINIF yöntemi ile belirlenen UCS değerleri ile UCS_{ISRM}'ler arasındaki ilişkilerin $y=x$ modeline çok fazla yakın olduğu (en aykırı ilişki: $UCS_{ISRM}=0.972 UCS_{ÖNERİ}$) göz önünde bulundurularak bu testlerin UCS_{ÖNERİ}'ler ile UCS_{ISRM} değerleri arasındaki 1:1 çizgisi etrafındaki dağılıma ilişkin anlamlılığı temsil edeceği düşünülmüştür.

F testinde, UCS_{ISRM} ile UCS_{ÖNERİ1} arasında doğrusal ve anlamlı bir 1:1 dağılımının (bkz. Şekil 6.1b) olup olmadığını araştırmak için oluşturulan Model-1 incelendiğinde, denklemin tahmin gücünü, diğer bir ifadeyle modelin genellenebilirliğini gösteren düzeltilmiş regresyon katsayısının (R^2) 0.998 olduğu görülmektedir. UCS_{ÖNERİ1} kullanılarak yapılacak bir tahminde, modelin tahmin gücü %99.8 olacaktır. Benzer şekilde oluşturulan UCS_{ISRM} ile UCS_{ÖNERİ2} ve UCS_{ISRM} ile UCS_{ÖNERİ3} arasındaki Model-2 ve Model-3 (bkz. Şekil 6.2b ve 2c) oldukça yüksek tahmin güçleri (%100 ve %99.9) sunmaktadır (Çizelge 6.4). Her üç modele ait *t*- testine göre, üç model için de anlamlılık düzeyi (p) 0.000 olarak belirlenmiştir. $p=0.005$ hata düzeyinden küçük olduğundan, en az bir bağımsız değişkenin (UCS_{ÖNERİ1}, UCS_{ÖNERİ2} ve UCS_{ÖNERİ3}), bağımlı değişken (UCS_{ISRM}) üzerinde etki sahibi olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 6.5). Çizelge 6.5 incelendiğinde, standart hataların 0.01 ile 0.08 arasında değiştiği ve Model-1, Model-2 ve Model-3 için UCS_{ISRM} ile arasında istatistiksel açıdan anlamlı ve pozitif doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.4. Model 1, 2 ve 3 için F - testi sonuçları.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmin edilen standart hata	ANOVA	
					F	p (anlamlılık)
1	0.999	0.998	0.998	1.42	5150.25	0.000
2	1.000	1.000	1.000	0.63	25637.39	0.000
3	1.000	0.999	0.999	0.86	14100.87	0.000

Model 1: $UCS_{ISRM} = UCS_{ÖNERİ1}$ Model 2: $UCS_{ISRM} = UCS_{ÖNERİ2}$ Model 3: $UCS_{ISRM} = UCS_{ÖNERİ3}$

Çizelge 6.5. Model-1, Model-2 ve Model-3 için t - testi sonuçları.

Model	Standartlaştırılmamış katsayılar		Standartlaştırılmış katsayılar	t	p (anlamlılık)
	B	Standart hata	Beta		
1	1.000	0.01	0.999	71.765	0.000
2	0.974	0.08	1.000	118.74	0.000
3	0.973	0.06	1.000	160.11	0.000

$UCS_{ÖNERİ2}$ (Model-4) ve $UCS_{ÖNERİ3}$ 'ün (Model-5) $UCS_{L/D=3}$ değerini açıklama derecesine bakıldığında (bkz. Şekil 6.2) korelasyon katsayılarının (R) ve düzeltilmiş R² sonuçlarının oldukça yüksek oranlara sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 6.6). Bu modeller kullanılarak yapılacak bir $UCS_{L/D=3}$ tahmininde %99.8 doğruluk olacaktır. F testi sonuçları incelendiğinde modeller ile tahmin edilen parametre arasında anlamlı bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde t - testi sonuçlarına bakıldığında (Çizelge 6.7) standart hatanın oldukça düşük olduğu (0.015) model ile tahmin edilen değer arasında pozitif ve doğrusal bir ilişki olduğu, modelin anlamlılık düzeyinin $p < 0.05$ koşulunu sağladığı söylenebilir.

Çizelge 6.6. Model 4 ve 5 için F - testi sonuçları.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmin edilen standart hata	ANOVA	
					F	p (anlamlılık)
4	0.999	0.998	0.998	1.61	3995.17	0.000
5	0.999	0.998	0.998	1.57	4203.51	0.000

Model 4: $UCS_{L/D=3} = UCS_{ÖNERİ2}$ Model 5: $UCS_{L/D=3} = UCS_{ÖNERİ3}$

Çizelge 6.7. Model-4 ve Model-5 için t- testi sonuçları.

Model	Standartlaştırılmamış katsayılar		Standartlaştırılmış katsayılar	<i>t</i>	<i>p</i> (anlamlılık)
	B	Standart hata	Beta		
4	0.972	0.015	0.999	63.207	0.000
5	0.973	0.015	0.999	64.834	0.000

UCS_c değerlerinin UCS_{ISRM}, UCS_{ÖNERİ2} ve UCS_{ÖNERİ3} sonuçlarını tahmin etmedeki (bkz. Şekil 6.4) yeterliliğinin ölçüldüğü Model-6, Model-7 ve Model-8 incelendiğinde korelasyon katsayılarının diğer modeller ile benzer olduğu, düzeltilmiş R² verilerine bakıldığında %99.6 gibi bir doğruluk ile tahmin edilebildiği görülmektedir (Çizelge 6.8). *F*- testi sonuçlarına göre anlamlılık düzeyi (*p*) 0.000 olan her üç model bağımlı değişkenleri açıklamada yeterlidir. *t*- testi sonuçları incelendiğinde önceki modellerde gözlenen pozitif doğrusal ilişki bu üç model için de geçerlidir (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.8. Model 6, 7 ve 8 için *F*- testi sonuçları.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmin edilen standart hata	ANOVA	
					<i>F</i>	<i>p</i> (anlamlılık)
6	0.998	0.996	0.996	1.72	9082.25	0.000
7	0.999	0.998	0.998	1.32	15356.79	0.000
8	0.998	0.996	0.996	1.80	8736.55	0.000

Model 6: UCS_{ISRM} = UCS_c Model 7: UCS_{ÖNERİ1} = UCS_c Model 8: UCS_{ÖNERİ2} = UCS_c

Çizelge 6.9. Model-5, Model-6 ve Model-7 için *t*- testi sonuçları.

Model	Standartlaştırılmamış katsayılar		Standartlaştırılmış katsayılar	<i>t</i>	<i>p</i> (anlamlılık)
	B	Standart hata	Beta		
6	1.006	0.011	0.998	95.301	0.000
7	1.009	0.008	0.999	123.923	0.000
8	1.033	0.011	0.998	93.470	0.000

6.3. UCS'nin İndeks Deneylerden Tahmin Edilmesi

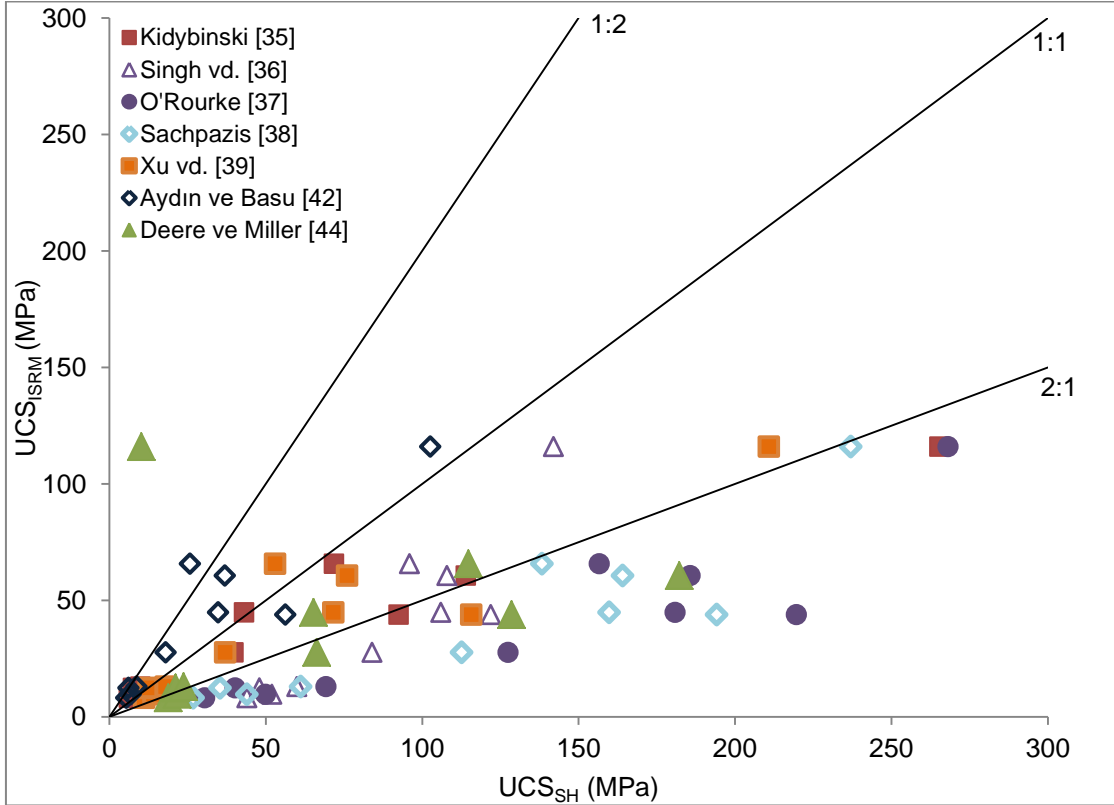
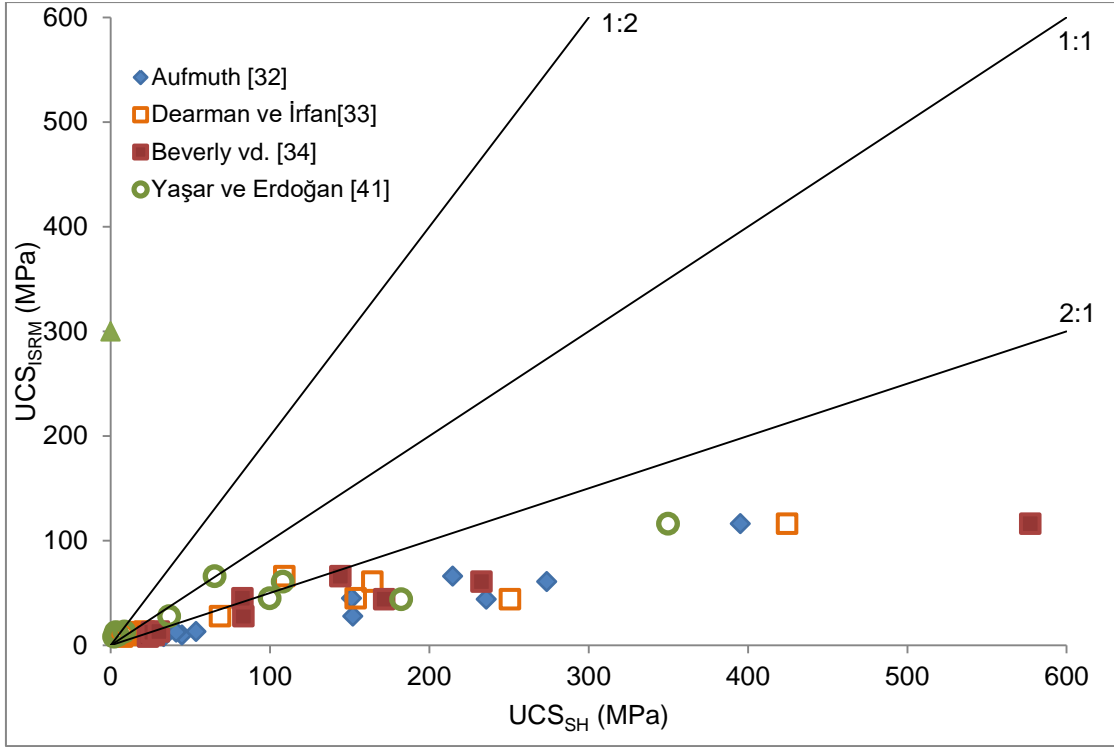
Bu alt bölümde, UCS'nin indeks deneylerden yararlanılarak tahmin edilme performansı, tez çalışmasında elde edilen deney sonuçları (bkz. Bölüm 5) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

6.3.1. Schmidt Çekici Geri Sıçrama Sayısından UCS Tahmini

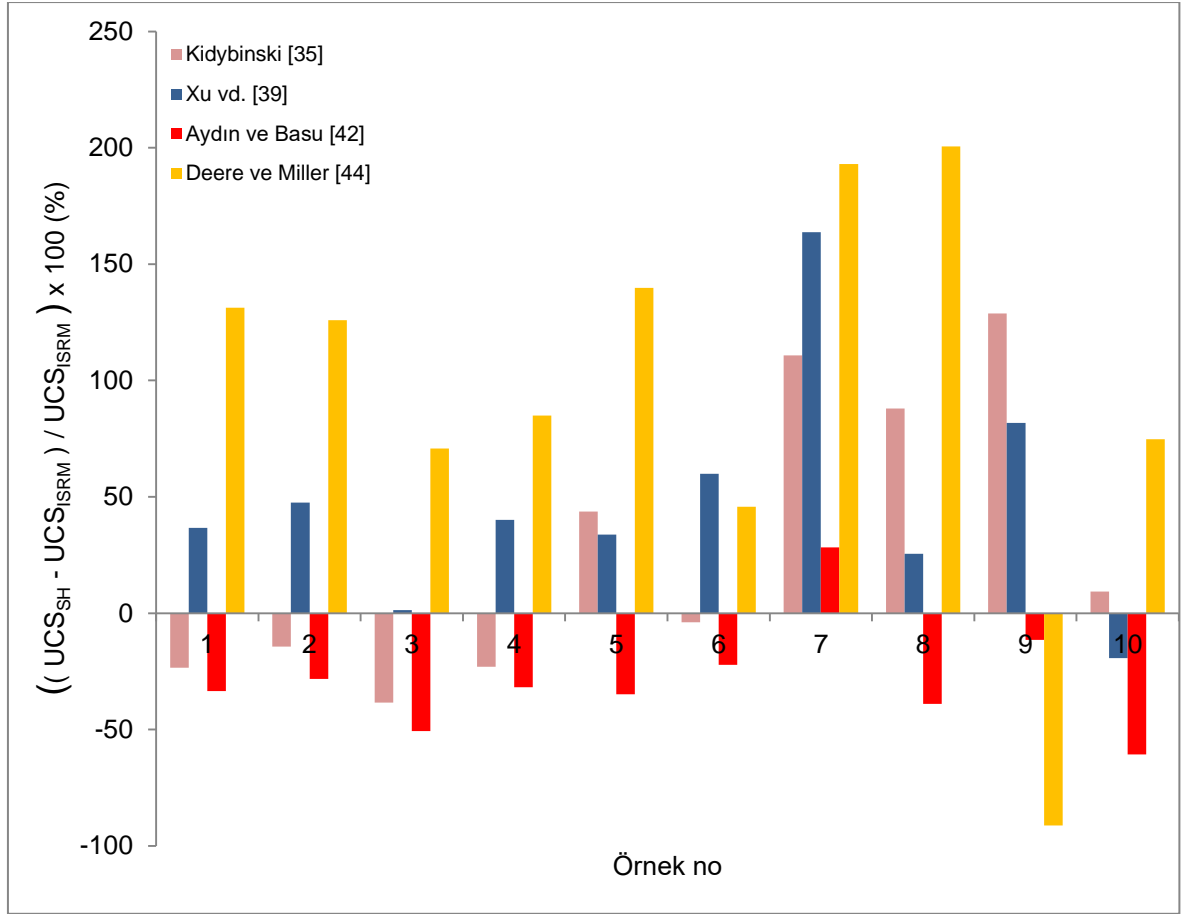
Her bir kaya örneği için Çizelge 5.4'te verilen Schmidt çekici (SH) ortalama geri sıçrama sayıları ve Çizelge 3.1'de derlenen araştırmacılarla Deere ve Miller [44]'in önerdikleri ilişkiler kullanılarak UCS'ler hesaplanmıştır (Çizelge 6.10, UCS_{SH}). Toplam 11 araştırmacının önerdiği ilişkilerle belirlenen UCS değerleri (UCS_{SH}) ile ISRM [12] önerisine uygun şekilde belirlenmiş UCS'lerin (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması Şekil 6.6'da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, verilerin 1:1 çizgisinden çok fazla sapma gösterdiği anlaşılmaktadır. UCS_{ISRM} 'den en az sapmalar Kidybinski [35], Xu [39] ve Aydın ve Basu [42] tarafından önerilen ilişkilerden elde edilmiştir. Bu ilişkilerden ve Deere ve Miller [44] abağından belirlenen UCS_{SH} 'lerin UCS_{ISRM} 'den yüzde değişimleri Şekil 6.7'de sunulmuştur. Tüm örnekler dikkate alındığında, nispeten düşük yüzde değişimlerin Aydın ve Basu [42]'nin ilişkisinden elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, bu araştırmacıların eşitliğinden tahmin edilen UCS_{SH} 'ler UCS_{ISRM} 'den yaklaşık %20 ile %70 aralığında sapma göstermektedir. Kidybinski [35]'nin ilişkisinden belirlenen UCS_{SH} 'lerdeki sapma ise, 7, 8 ve 9 no'lu örnekler için yüksek iken, diğer örnekler için nispeten düşüktür.

Çizelge 6.10. Schmidt çekici geri sıçrama değerleri ve farklı araştırmacıların önerdikleri görgül ilişkiler kullanılarak belirlenen UCS'ler (UCS_{SH})

Örnek No	UCS_{SH} (MPa)										
	Aufmuth [32]	Dearman ve İrfan [33]	Beverly vd.[34]	Kidybinski [35]	Singh vd. [36]	O'Rourke [37]	Sachpazis [38]	Xu vd. [39]	Yaşar ve Erdoğan [41]	Aydın ve Basu [42]	Deere ve Miller [44]
1	33.3	7.28	23.4	6.2	44.0	30.5	26.8	11.1	2.3	5.4	18.8
2	44.8	13.0	27.2	8.2	52.0	49.9	44.0	14.1	4.7	6.9	21.7
3	41.2	9.8	26.0	7.6	48.0	40.2	35.4	12.5	3.3	6.1	21.2
4	53.6	21.3	30,37	9.9	60.0	69.3	61.1	18.0	8.6	8.7	23.8
5	152.0	68.6	83.4	39.7	84.0	127.5	112.6	37.0	36.8	18.0	66.3
6	151.3	153.9	82.8	43.0	106.0	180.8	159.8	71.6	99.8	34.8	65.3
7	235.8	250.7	171.7	92.5	122.0	219.6	194.1	115.7	182.4	56.3	128.6
8	273.8	164.2	232.7	113.9	108.0	185.7	164.1	76.0	108.1	37.0	182.2
9	395.3	424.6	577.3	265.4	142.0	268.1	237.0	210.9	349.9	102.6	10.2
10	214.8	109.1	144.2	71.8	96.0	156.6	138.4	53.0	65.2	25.8	114.8



Şekil 6.6. Schmidt çekici geri sıçrama sayısında farklı araştırmacıların ilişkileriyle hesaplanan UCS'lerin (UCS_{SH}), ISRM [12]'ye uygun belirlenmiş UCS'lerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.



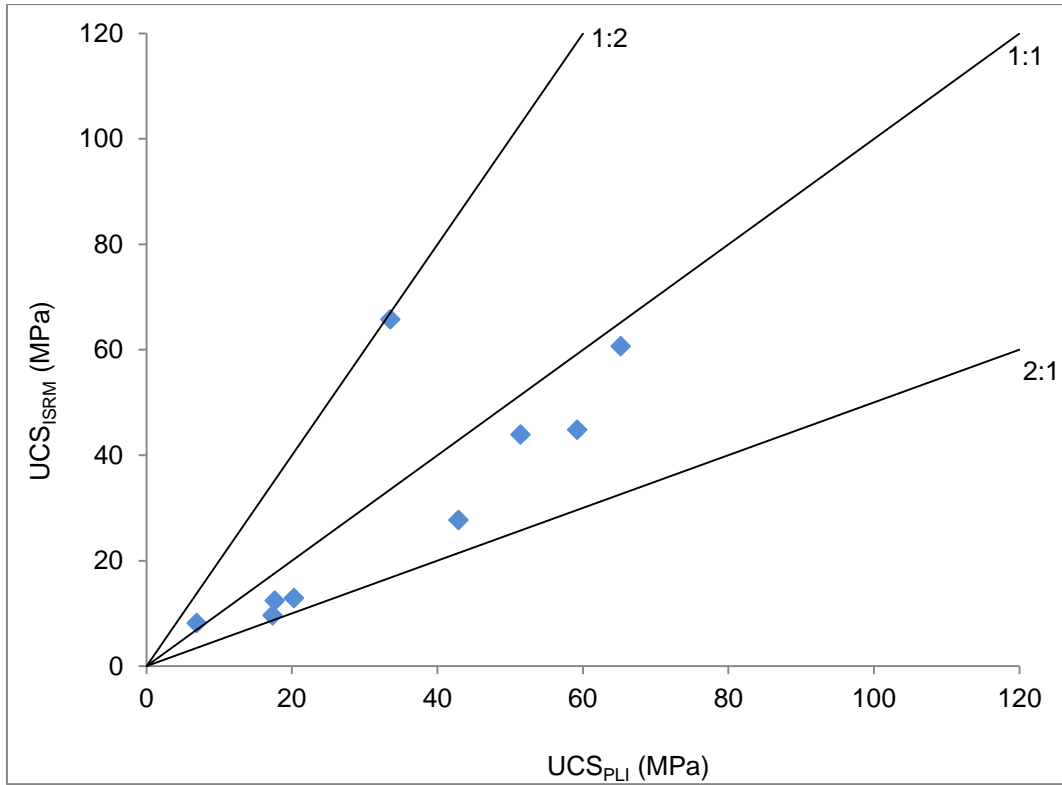
Şekil 6.7. En küçük sapmaların gözlemlendiği ilişkilerle belirlenmiş UCS_{SH}'lerin UCS_{ISRM}'den yüzde değişimleri.

6.3.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksinden UCS Tahmini

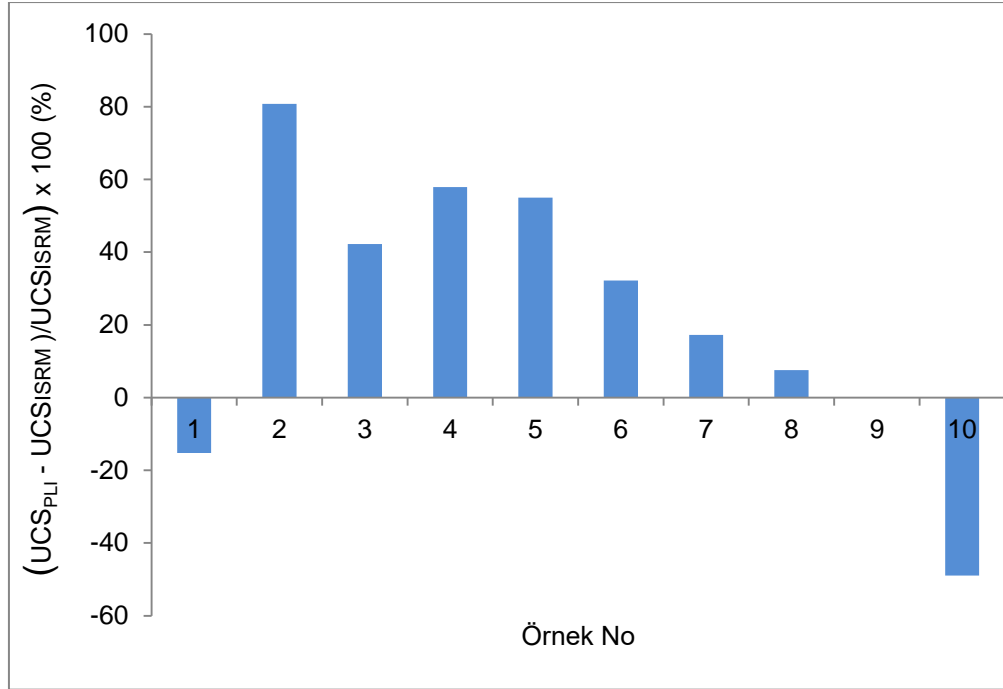
Tüm kaya örnekleri için Çizelge 5.5'te verilen nokta yüğü dayanım indeksi (PLI) değerleri ve ISRM [12] tarafından önerilen eşitlik (bkz. Eş. 3.3) kullanılarak UCS'ler (UCS_{PLI}) hesaplanmıştır (Çizelge 6.11). Bu değerlerin UCS_{ISRM} ile karşılaştırılması ise, Şekil 6.8'de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, veri dağılımının 1:1 çizgisi etrafında olduğu, ancak yüksek sayılabilecek sapmalar gösterdiği anlaşılmaktadır. UCS_{PLI}'lerin UCS_{ISRM}'den yüzde değişimleri ise Şekil 6.9'da sunulmuştur. Bu şekildeki histogramlardan PLI deneyinden belirlenen UCS'lerin ISRM [12] önerisinden belirlenenlere göre %10-%80 aralığında sapma gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, genel olarak I_{s(50)}'den deneyinden, UCS_{ISRM}'lerden daha yüksek değerlerin tahmin edildiği söylenebilir.

Çizelge 6.11. Nokta yükü dayanım indeksinden dolayı olarak tahmin edilmiş belirlenmiş UCS'ler (UCS_{PLI}).

Örnek No	UCS_{PLI} (MPa)
1	6.9
2	17.3
3	17.6
4	20.3
5	42.9
6	59.2
7	51.4
8	65.2
9	-
10	33.5



Şekil 6.8. Nokta yükü dayanım indeksinden dolayı olarak belirlenen UCS'lerin (UCS_{PLI}), ISRM [12] önerisine uygun belirlenmiş UCS'lerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.



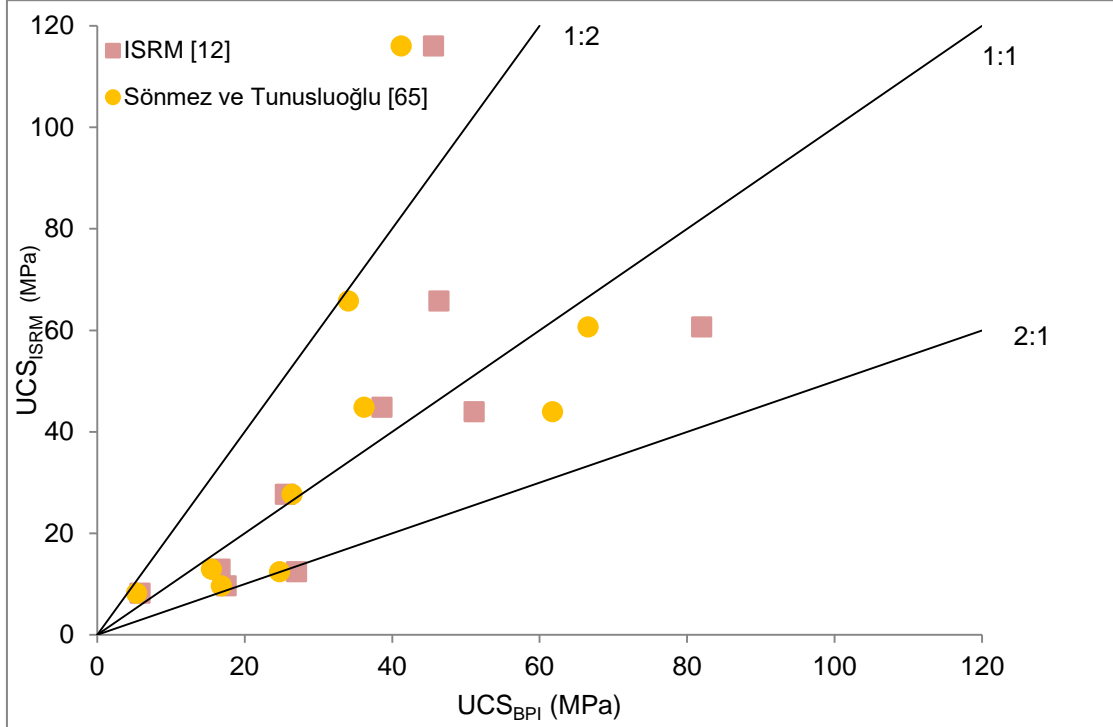
Şekil 6.9. UCS_{PLI} 'lerin UCS_{ISRM}'den yüzde değişimleri.

6.3.3. Disk Makaslama Dayanımı İndeksinden UCS Tahmini

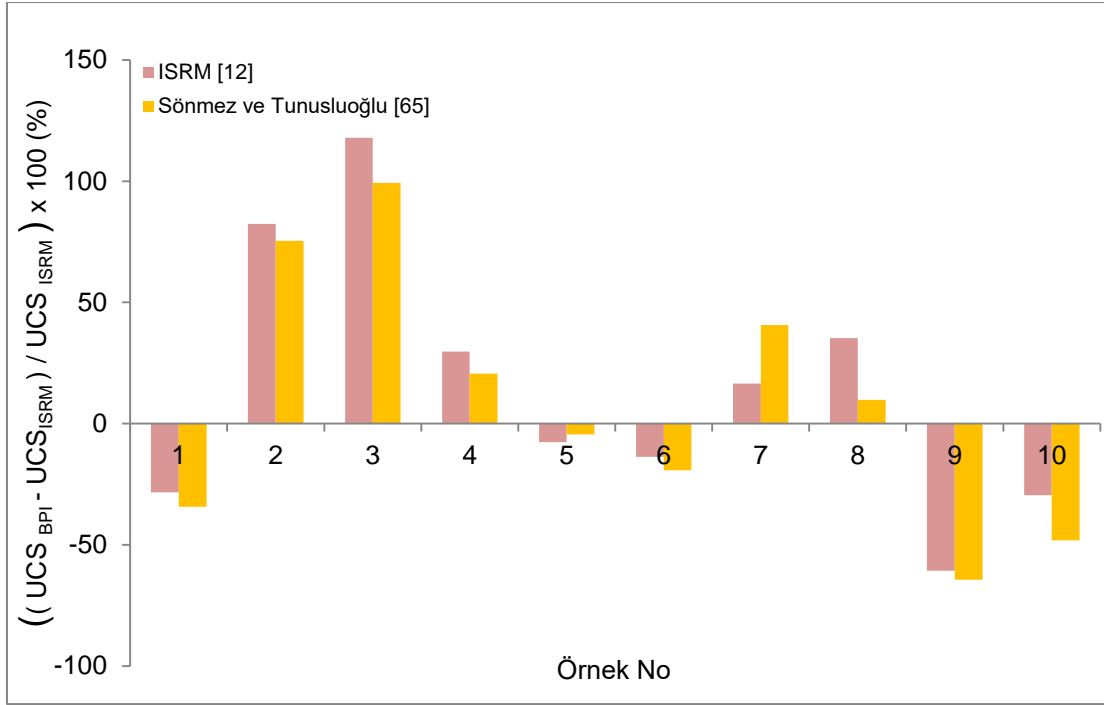
Kaya örneklerinin Çizelge 5.6'da verilen disk makaslama dayanımı indeksi (BPI) değerleri, ISRM [12] tarafından önerilen eşitlik (Eşitlik 3.5a ve 3.5b) ve Sönmez ve Tunusluoğlu [65] tarafından önerilen ilişki (Eşitlik 3.6) kullanılarak UCS_{BPI}'lere dönüştürülmüştür (Çizelge 6.12). Her iki öneriye göre oluşturulan karşılaştırma grafiği Şekil 6.10'da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, her iki önerinin birbirine yakın sonuçlar sunduğu ve verinin 1:1 çizgisi ile uyumlu olmakla birlikte dağılımın nispeten fazla olduğunu söylemek mümkündür. UCS_{BPI}'lerin UCS_{ISRM}'den yüzde değişimleri Şekil 6.11'de verilmiştir. İki öneri için oluşturulan bu yüzde değişim grafiğine bakıldığında UCS_{ISRM}'den sapmaların %5 ile %100 arasında değiştiği ve her iki önerinin birbirine karşı belirgin bir tahmin üstünlüğünün olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.12. Disk makaslama dayanımı indeksi deneyi ve farklı önerilere göre tahmin edilmiş UCS'ler.

Örnek no	UCS _{BPI} (MPa)	
	Sönmez ve Tunusluoğlu [65]	ISRM [12]
1	5.3	5.8
2	16.8	17.5
3	24.7	27.0
4	15.5	16.6
5	26.4	25.5
6	36.2	38.6
7	61.7	51.1
8	66.6	82.0
9	41.2	45.6
10	34.1	46.3



Şekil 6.10. Disk makaslama dayanımı indeksinden ISRM [12] (UCS_{ISRM}) ve Sönmez ve Tunusluoğlu [65] önerilerine uygun olarak belirlenmiş UCS'ler (UCS_{BPI}) ile UCS_{ISRM}'lerin karşılaştırılması.



Şekil 6.11. UCS_{BPI}'lerin, UCS_{ISRM}'lerden olan yüzde değişimleri.

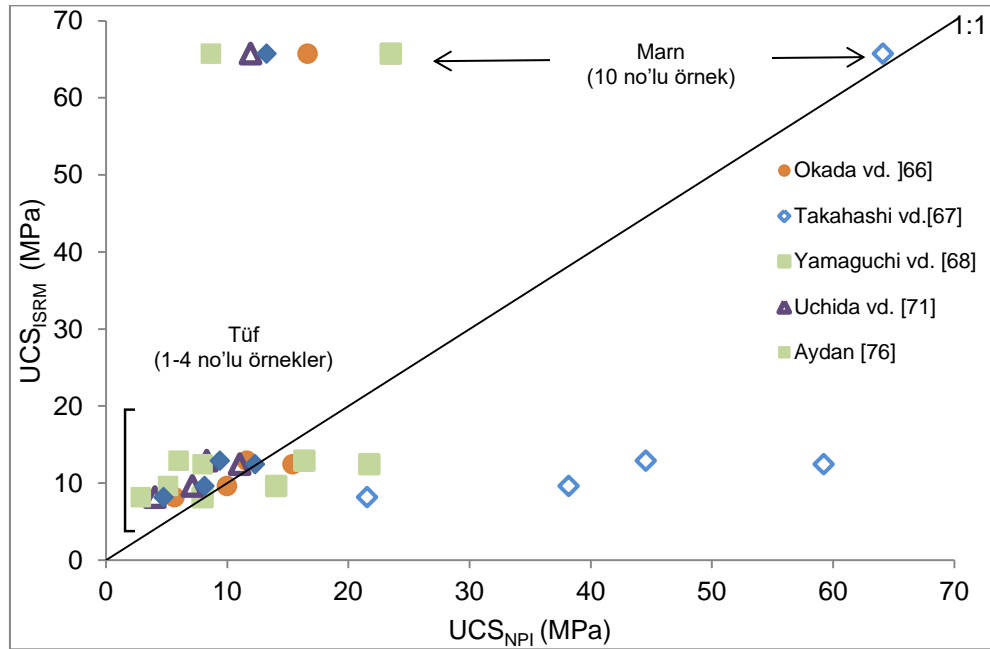
6.3.4. İğne Penetrometre İndeksinden UCS Tahmini

Sadece düşük dayanımlı kaya örneklerinde belirlenen iğne penetrometre indeksi (NPI) değerleri (Çizelge 5.7) ve Çizelge 3.2'deki araştırmacıların önerdiği eşitlikler kullanılarak UCS_{NPI}'ler hesaplanmıştır (Çizelge 6.3). 6 araştırmacının önerdiği NPI-UCS ilişkisiyle belirlenen UCS değerleri (UCS_{NPI}) ile ISRM [12] önerisine uygun olarak belirlenmiş UCS'lerin (UCS_{ISRM}) karşılaştırması Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, Takahashi vd. [67] eşitliğiyle belirlenen UCS_{NPI}'lerin bir örnek hariç (marn) 1:1 çizgisinden çok fazla sapma gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer eşitlikler ise, marn örneği için çok sapma gösterirken, tuf örneklerinde 1:1 çizgisine yakın tahminler sunmaktadır. Bu ilişkilerden belirlenen UCS_{BPI}'lerin UCS_{ISRM}'den yüzde değişimleri, Şekil 6.13'te sunulmuştur. Tuf örnekleri dikkate alındığında, Okada vd. [66], Yamaguchi vd. [68], Aydan [76] ve Ulusay ve Ergüler [77] eşitliklerinin UCS_{ISRM}'den yaklaşık %5 ile %60 aralığında saptalara sahip olduğu görülmektedir. Aralarında ISRM [12] önerisine uygun deneyden tayin edilmiş UCS_{ISRM} değerlerine en yakın tahmini ise, Okada vd. [66] eşitliğinin verdiğini söylemek mümkündür.

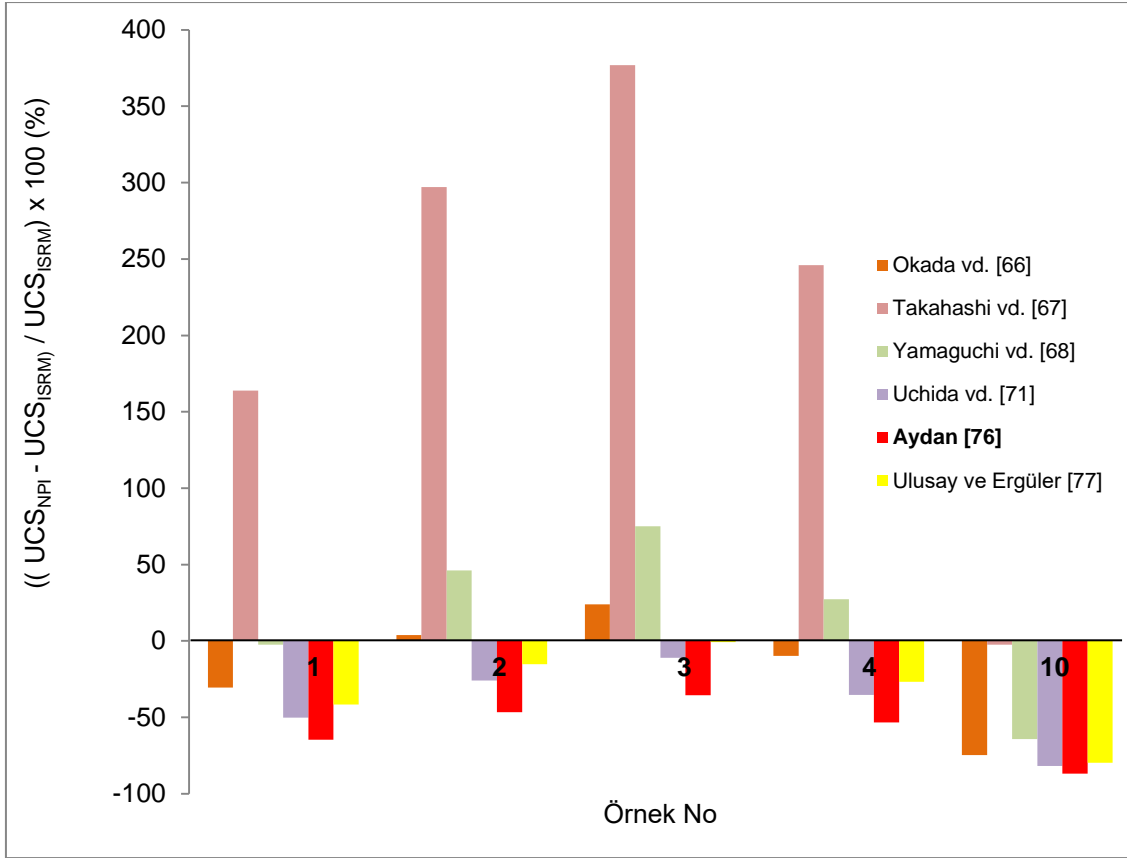
Marn için, önerilmiş tüm eşitlikler %70 ile %85 arasında çok yüksek yüzde değişimler gösterirken, bu kaya türü için Takahashi vd. [67]'nin eşitliğinden oldukça gerçek ölçüme yakın UCS tahmini yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, ISRM [29] tarafından NPI deneyinin 20 MPa'dan düşük dayanıma sahip örneklerde uygulanması önerilmekte olup, marnın UCS_{ISRM} değeri 65 MPa civarında olduğu dikkate alınmalıdır.

Çizelge 6.13. İğne penetrometre ve farklı araştırmacıların eşitlikleri kullanılarak belirlenen UCS'ler.

Örnek no	UCS_{NPI} (MPa)					
	Okada vd. [66]	Takahashi vd. [67]	Yamaguchi vd.[68]	Uchida vd. [71]	Aydan [76]	Ulusay ve Ergüler [77]
1	5.6	21.5	7.9	4.0	2.8	4.7
2	9.9	38.1	14.0	7.1	5.1	8.1
3	15.4	59.2	21.7	11.0	8.0	12.3
4	11.6	44.5	16.4	8.3	6.0	9.43
10	16.6	64.1	23.5	11.9	8.6	13.2



Şekil 6.12. İğne penetrometre deneyi ve farklı araştırmacıların ilişkileri ile belirlenen UCS'lerin (UCS_{NPI}) ISRM [12] önerisine uygun belirlenenlerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılması.



Şekil 6.13. UCS_{NPI}'lerin, UCS_{ISRM}'lerden yüzde değişimleri.

7. GENEL DEĞERLENDİRME

7.1. L/D SINIF Yöntemine İlişkin Değerlendirmeler

Kaya mühendisliği uygulama ve araştırmalarında, genel olarak L/D oranı için ya ISRM [12] önerisi ya da ASTM [10] standardı dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte, kimi araştırmacıların ISRM [12] önerisine uygun (yeterli boyda) örnek temin edilememesi durumunda ikinci seçenek olarak ASTM [10]'nin L/D oranını dikkate aldıklarını söylemek yanlış olmayacaktır. Ancak 2. Bölüm'de verilen önceki çalışmalar dikkate alındığında, L/D oranının alt limitinin kaya türüne bağlı olarak değişkenlik göstermesi nedeniyle ASTM [10] standardının bazı kayalar için olması gerekenden yüksek UCS'lerin belirlenmesine yol açacağını söylemek mümkündür. L/D SINIF yönteminde kaya türüne bağlı farklı L-D sınıflarının seçilebileceği bir sınıflama önerilmiş olup, bazı kayalar için 1.7 L/D oranının bile kullanılabilceği belirtilmiştir. Bu sınıflara ek olarak, bir kaya örneğinden kendisi için belirlenen aralıkta örnek alınamaması durumunda, L/D=1.0'e kadar olan örneklerdeki UCS'nin olması gereken değerine dönüşümü için bir düzeltme eşitliği de önerilmiştir.

Söz konusu yöntemin ilk üç seçeneği (Öneri 1, 2 ve 3) için yapılan değerlendirmelerde; L-D sınıflarına uygun örneklerden belirlenen UCS'lerin, ISRM [12] önerisine göre belirlenmiş UCS_{ISRM} 'lerle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Karşılaştırmalar için yapılan F testlerinde, önemlilik derecesinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, yöntemin ilk üç önerisindeki L/D sınıflarının kullanılabilir olduğu görülmüştür. Değerlendirmeler sırasında dikkat çeken bir husus, bazı kaya örnekleri için Öneri 2'de belirlenen L/D sınıf aralığının Öneri 3'te belirlenenlerden daha düşük olmasıdır. 2. öneride m_i ve σ_{tB} parametreleri dikkate alınırken 3. öneride sadece m_i parametresinin göz önünde bulundurulması nedeniyle 3. önerinin daha tutucu kalması, olumlu bir durum olarak değerlendirilmiştir. L/D SINIF yöntemindeki 1. öneride tüm kaya örnekleri için, 2. ve 3. önerilerde ise $m_i \times \sigma_{tB}$ ve sadece m_i değerlerine bağlı olarak L/D=3.0 oranının seçilebileceği belirtilmekle birlikte, bu

kayalar için ISRM önerisi olan 2-5-3 aralığının da dikkate alınabileceği vurgulanmıştır. Tez çalışmasında derlenen kaya örnekleri için belirlenen UCS_{ISRM} değerleri ile $UCS_{ÖNERİ1}$ değerleri arasında önemli sayılabilecek bir farklılık gözlenmemiştir. Bununla birlikte, çalışmada m_i değeri 25 olan ve bu nedenle L/D oranı 3 olabilecek tek bir kaya (7 no'lu örnek: Andezit) kullanılmış olup, bu husus sert ve çok sert kaya örneklerindeki ($m_i > 25$) çalışmalarla teyit edilmelidir.

Yöntemin 4. önerisindeki düzeltme eşitliği kullanılarak, derlenen kaya örnekleri için 2. öneride belirlenen sınıf aralıklarından daha küçük L/D oranına sahip örneklerdeki sonuçlardan düzeltilmiş UCS'ler (UCS_c) hesaplanmıştır. UCS_c değerlerinin UCS_{ISRM} 'lerle karşılaştırılması için yapılan *F*- testlerinde de çok yüksek önemlilik dereceleri hesaplanmıştır. Bu nedenle, L/D=1.0'e kadar olan örneklerde deney yapılarak düzeltme eşitliğiyle olması gereken UCS'lerin belirlenebileceği anlaşılmıştır. Küçük L/D oranına sahip örneklerden belirlenen UCS'lerin düzeltilmesi için ASTM [10] ve Protodyakonov [28] tarafından önerilen eşitlikler bulunmaktadır (bkz. Eşitlik 2.2 ve 2.3). Bu eşitlikler, deneyde kullanılması gereken L/D oranı 2.0 kabul edilerek oluşturulmuşlardır. Ancak, bu değerlerin değişkenlik gösterdiği, önceki çalışmalar ve bu tez kapsamında tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu eşitliklerin kullanılmaması önerilmektedir.

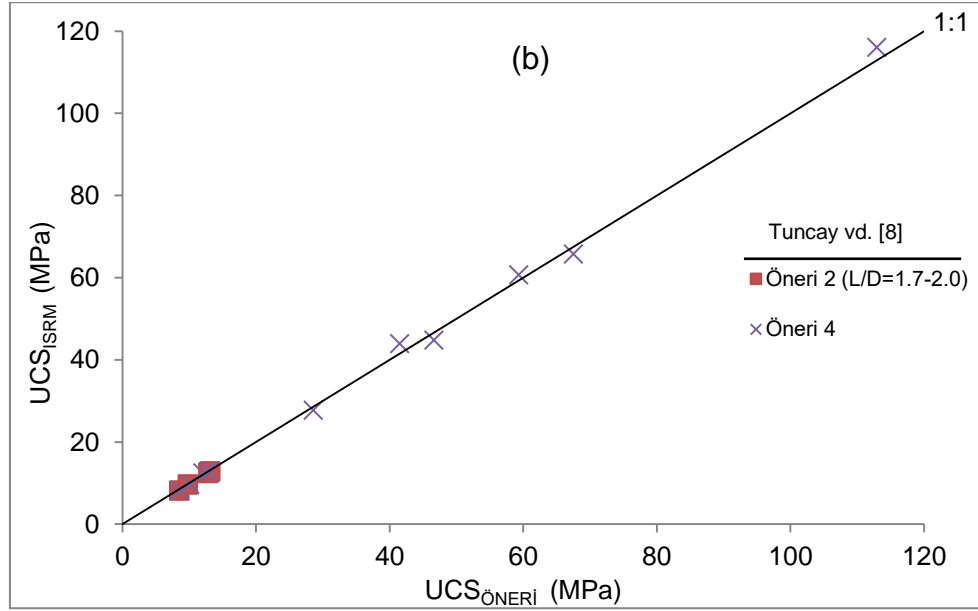
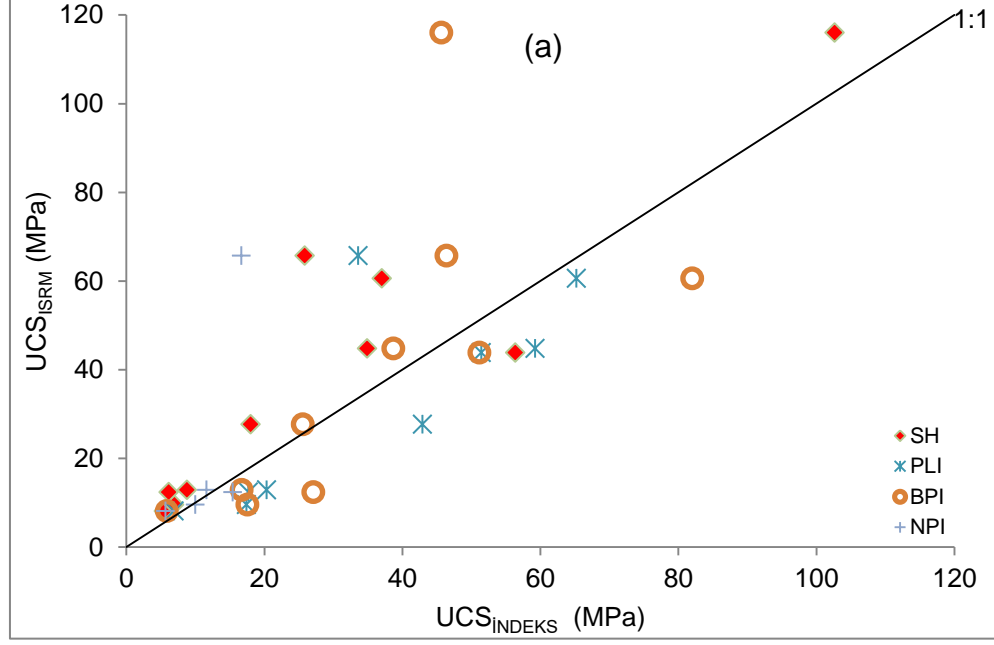
Bu belirlemeler ışığında, L/D SINIF yönteminin, tez kapsamında derlenen kaya örnekleri için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. İleride farklı kaya örnekleri için de benzer değerlendirmeler yapılarak yöntemde önerilen L/D sınıflarının ve düzeltme eşitliğinin genel kabulüne ilişkin katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Bu yöntem, sadece bozunmamış kaya örnekleri için geçerli olup, farklı bozunma derecelerindeki kaya örnekleri için kullanılması sakıncalı olacaktır. L/D sınıflarının belirlenmesi için yararlanılan Hoek-Brown m_i sabiti bozunmamış kayalar için geçerli olup, aynı kayanın farklı bozunma derecelerindeki örnekleri için seçilmesi gereken L/D oranının belirlenmesine yönelik ayrıntılı bir araştırmanın yapılması gerekmektedir. Böyle bir çalışmada, L/D sınıfının belirlenmesi için m_i 'nin bozunma derecesine bağlı olarak azaltılması ya da m_i yerine başka bir parametrenin veya SH, NPI gibi pratik bir indeks

deney sonucunun kullanılması düşünülebilir. Ayrıca, anizotropiye sahip kaya türlerinde de yöntemin uygulanabilirliği araştırılmalıdır. Tüm deneyler kuru örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yöntemin geçerliliğinin daha ileri bir araştırma ile farklı nem içeriğindeki örnekler üzerinde de test edilmesi yararlı olacaktır.

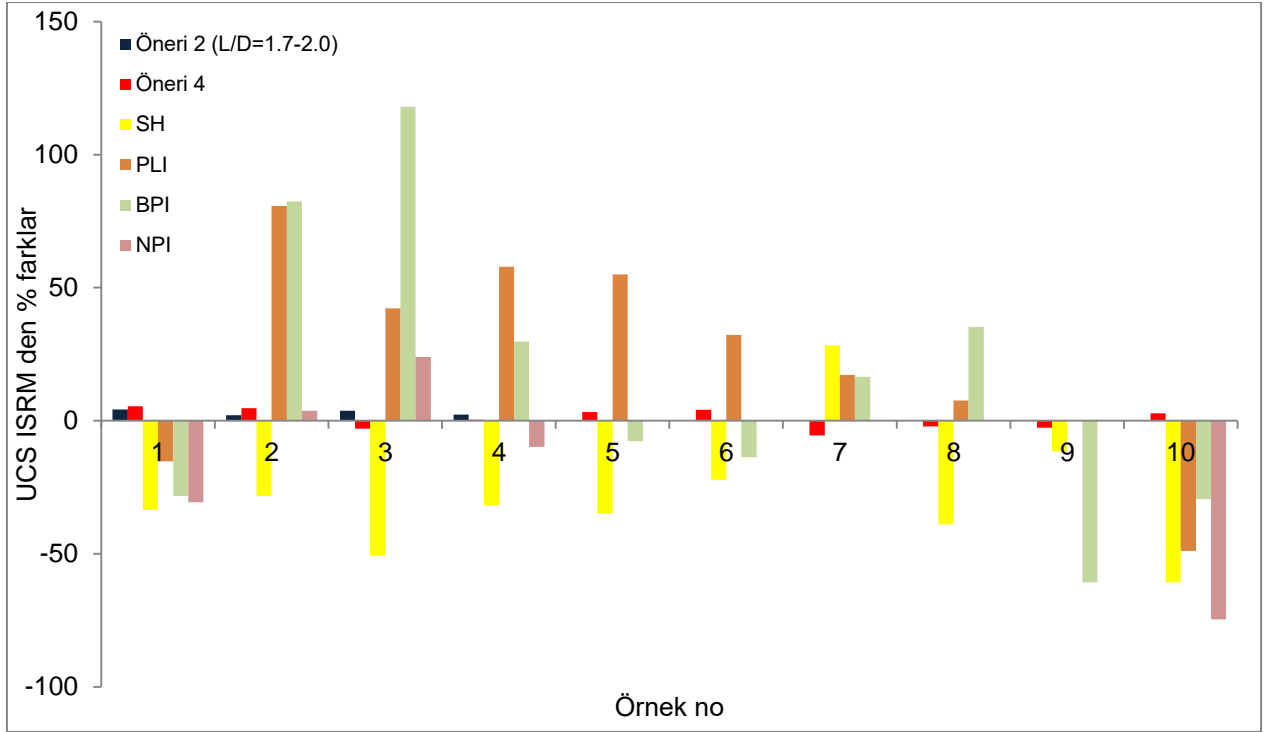
7.2. İndeks Deneylerden ve L/D SINIF Yöntemindeki Düzeltme Eşitliğinden Belirlenen UCS'lerin Karşılaştırılması

Tez çalışması kapsamında yapılan indeks deneylerden elde edilen sonuçlarından UCS'nin tahmini için literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilen farklı görgül ilişkiler bulunmaktadır (bkz. Bölüm 3). Özellikle Schmidt çekici (SH) deneyi verisinden UCS'nin belirlenmesi için önerilen eşitliklerin fazlalığı dikkat çekmekte olup, kullanılması gereken UCS tahmin eşitliğine yönelik ISRM [12] tarafından net bir öneri sunulmamıştır. Bölüm 3'te bu duruma ilişkin yapılan değerlendirmeler sonucunda, rutin mühendislik uygulamalarında kullanıcı tarafından tercih edilebilecek 11 farklı SH-UCS eşitliği derlenmiştir. Bununla birlikte, nokta yükü dayanım indeksi (PLI), disk makaslama dayanım indeksi (BPI) ve iğne penetrometre indeksi (NPI) deneylerinin sonuçlarından UCS'ye dönüşüm ilişkileri için ISRM [12,29] tarafından önerilmiş bir ya da birden fazla eşitlik bulunmaktadır. İndeks deneylerden belirlenen UCS'ler ile UCS_{ISRM} karşılaştırmalarından (bkz. Bölüm 6) en iyi sonucu veren ilişkiler seçilerek, bu bölümde $UCS_{İNDEKS}$ - UCS_{ISRM} grafiği hazırlanmıştır (Şekil 7.1a). Bu grafik incelendiğinde, UCS'nin dolaylı tahmininde indeks deneylerin genel olarak birbirlerine karşı bir üstünlük sağladığını söylemek mümkün değildir. Ancak, düşük dayanıma sahip tüflerde ($UCS < 15$ MPa) NPI deneyinin diğer deneylerden daha iyi tahmin gücüne sahip olduğu görülmektedir. Şekil 7.1b'de ise, L/D SINIF yöntemindeki 4. öneriden düzeltme eşitliğiyle belirlenmiş ortalama UCS_c değerlerinin, UCS_{ISRM} 'le karşılaştırması gösterilmiştir. Bu grafikte ayrıca, 2. Öneride yer alan 1.7-2.0 L/D oran aralığındaki örneklerde deney yapılması uygun olan örneklerden (1, 2, 3 ve 4 no'lu örnekler) belirlenen UCS'ler de eklenmiştir. Şekil 7.1a ve 7.1b'deki grafikler karşılaştırıldığında, L/D SINIF yöntemiyle $L/D < 2.0$ olan örneklerdeki deneylerden olması gereken UCS'yi tahmin performansı indeks deneylerden kıyaslanmayacak

ölçüde yüksektir. Söz konusu yöntemden ve indeks deneylerden belirlenen UCS'lerin UCS_{ISRM} 'den olan yüzde değişimleri Şekil 7.2'de histogramlarla gösterilmiştir.



Şekil 7.1. UCS_{ISRM} ile (a) indeks deney sonuçlarının (UCS_{INDEKS}) ve (b) L/D SINIF yönteminde $L/D < 2$ olan örneklerden belirlenmiş sonuçların ($UCS_{ÖNERİ}$) karşılaştırılması.



Şekil. 7.2. İndeks deneylerden ve L/D SINIF yönteminden (L/D<2 olan örneklerdeki deneylerden) elde edilmiş sonuçların, UCS_{ISRM}'dan olan yüzde farkları.

Bu histogramlarda, yöntemden belirlenen UCS'ler ile indeks deneylerden belirlenen UCS'lerin, UCS_{ISRM}'lerden yüzde değişimleri arasındaki farkların oldukça fazla olduğu net olarak görülmektedir.

Bu değerlendirmelere göre, kaya mühendisliği uygulamalarında, L/D oranı 1.0'e kadar örnek alınabilen kayalarda doğrudan UCS deneyinin yapılması ve L/D-SINIF yönteminin indeks deneylere tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. İndeks deneylerin ise, L/D=1.0 oranında dahi örnek alınamayan kaya örnekleri için tercih edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu belirlemeler çalışmada derlenen 10 kaya örneğine ait sonuçlar esas alınarak yapılmış olup, farklı kaya türleri için de benzer çalışmaların yapılarak değerlendirmelere gidilmesi yararlı olacaktır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, daha önceki bir çalışmada da [8] önerilen tek eksenli sıkışma dayanımının (UCS) farklı boy/çap (L/D) oranına sahip örneklerden belirlenmesi yaklaşımının (L/D SINIF yöntemi) kullanılabilirliği araştırılmış ve aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1) Sedimanter metamorfik ve magmatik türden on kaya örneği için L/D oranı 1.0'den 3.0 e kadar değişen örneklerdeki UCS deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, tüm kayalarda örneklerin L/D oranı arttıkça UCS değerinin azaldığı ve belirli bir L/D oranından sonra da sabitlendiği ya da çok az değişim gösterdiği tespit edilmiştir. L/D SINIF yönteminde önerildiği şekilde hesaplanan limit L/D değerinden $((L/D)_{lim})$ sonra önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir.
- 2) Tez çalışması kapsamında kullanılan ve dayanımları yaklaşık 8 MPa ile 120 MPa arasında değişen 10 farklı kaya türü için L/D SINIF yöntemindeki ilk üç öneri (Öneri 1, 2 ve 3) kullanılarak UCS deney örneği L/D oranının deneyden önce seçilebileceği anlaşılmıştır. 1. Öneride tüm kayalar için 3.0 L/D oranının seçilebileceği belirtilmesine rağmen ISRM önerisi olan 2.5-3.0 oranının da çalışılan kayalar için yeterli olduğu görülmüştür. Üç öneriye uygun boyuttaki örneklerden belirlenen UCS'ler ($UCS_{ÖNERİ}$) ISRM'nin önerisine uygun örneklerden belirlenmiş UCS'lerle (UCS_{ISRM}) karşılaştırılmış ve farkların tüm örnekler için % 5'in altında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, $UCS_{ÖNERİ}$ ve UCS_{ISRM} değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımları için yapılan F - ve t - testlerinde oldukça yüksek önemlilik dereceleri ($> \% 99$) tespit edilmiştir.
- 3) L/D SINIF yönteminde bazı kayalar için Öneri 2'de belirlenen L/D sınıf aralığının Öneri 3'te belirlenenlerden daha düşük olduğu görülmüştür. 2. öneride m_i ve σ_{IB} parametreleri dikkate alınırken 3. öneride sadece m_i parametresinin göz önünde bulundurulması nedeniyle 3. önerinin daha tutucu kalması, olumlu bir durum olarak değerlendirilmiştir.

4) Yöntemde [8], Öneri 2 ya da 3'teki sınıflara uygun L/D oranında örnek alınamaması durumunda daha küçük L/D oranlarındaki örneklerden tayin edilen UCS'lerin 4. önerideki eşitlikle düzeltilebileceği (UCS_c) belirtilmektedir. Çalışma kapsamında alınan küçük L/D oranına sahip (1.0, 1.25, 1.50 ve kimi örnekler için 1.75) örneklerden belirlenen UCS'ler söz konusu eşitlikle düzeltilmiş ve UCS_c 'ler UCS_{ISRM} değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan farkların, bir örnek hariç (4 no'lu tuf örneği için yaklaşık %10), % 7'nin altında olduğu görülmüştür.

5) Schmidt çekici geri sıçrama sayısı (SH), Nokta yükü dayanımı indeksi (PLI), Disk makaslama dayanım indeksi (BPI) ve iğne penetrasyon indeksi (NPI) deneylerinden yararlanılarak derlenen kaya örnekleri için dolaylı yoldan UCS'ler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar UCS_{ISRM} değerleriyle karşılaştırıldığında, indeks deneylerin UCS'yi tahmin etme açısından birbirlerine karşı belirgin bir üstünlüğünün olmadığı görülmüştür. Bu deneylerden UCS tahmini yapıldığında %15 ile %110 arasında değişen hata tahminleri söz konusu olabileceği anlaşılmıştır. Bu hata yüzdeleri, 1.0 ile 1.75 L/D oranındaki örneklerden L/D SINIF yöntemi düzeltme eşitliğiyle hesaplanan UCS_c 'lerinkine göre çok fazladır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda gelecekte yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki hususlar önerilmektedir.

1) L/D SINIF yönteminin 1. önerisinde tüm kayalar için, 2. ve 3. önerilerinde ise birer sınıfta 3.0 L/D oranının seçilebileceği belirtilmesine rağmen, ISRM'nin önerisi olan 2.5-3.0 oranının da yeterli olabileceği belirtilmektedir. Çalışma kapsamında m_i değeri 25'e eşit olan ve bu nedenle L/D oranı 3 olabilecek tek bir kaya (7 no'lu örnek: Andezit) kullanılmış olup, bu husus sert ve çok sert kaya örneklerindeki ($m_i > 25$) yapılacak çalışmalarla da teyit edilmelidir.

2) Kaya mühendisliği uygulamalarında, L/D oranı 1.0'e kadar örnek alınabilen kayalarda doğrudan UCS deneyinin yapılması ve L/D-SINIF yönteminin 4.

önerisinin kullanılması, indeks deneylerin ise $L/D=1.0$ oranında dahi örnek alınamayan kaya örnekleri için tercih edilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, bu belirlemeler çalışmada derlenen 10 kaya örneği için yapılmış olup, farklı kaya türleri için de benzer değerlendirmelere gidilerek L/D SINIF yönteminin geçerliliğine ilişkin bu çalışmadakine benzer değerlendirmelerin yapılması yararlı olacaktır.

- 3) L/D SINIF yöntemi, bozunmamış kaya örnekleri için geçerli olup, farklı bozunma derecelerindeki kaya örnekleri için kullanılması sakıncalıdır. Bu nedenle, aynı kayanın farklı bozunma derecelerindeki örnekleri için seçilmesi gereken L/D oranlarının belirlenmesine yönelik araştırmaların da yapılması gerekmektedir. Ayrıca, anizotropi gösteren kaya türlerinde de yöntemin uygulanabilirliği araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Bieniawski, Z.T., Estimation The strength of rock materials. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 74,312-320, **1974**.
- [2] Mogi, K., some precise measurements of fracture strength of rocks under uniform compressive stress, *Felsmechanik und Ingenieurgeologie*, 4, 41-55, **1966**.
- [3] Thuro, K., Plinninger, R.J., Zäh, S., Schütz, S., scale effects in rock strength properties, part 1: unconfined compressive test and Brazilian test, *ISRM Regional Symposium, EUROCK 2001, Rock Mechanics – A Challenge for Society*, Finland, 169-174, **2001**.
- [4] Tuncay, E., Hasançebi, N., the effect of length to diameter ratio of test specimen on uniaxial compressive strength of rock, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 68(4), 491-497, **2009**.
- [5] Obert, L., Duvall, W.I., *Rock Mechanics and The Design of Structures in Rock*, John Willy & Sons, London, **1967**.
- [6] Mogi, K., *Experimental Rock Mechanics*, Taylor & Francis, London, **2007**.
- [7] Tuncay, E., Tunar Özcan, N. ve Kalender, A., *Kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı üzerinde deney örneği şeklinin (boy/çap oranı) etkisinin araştırılması*. TÜBİTAK, Proje no: 109Y307, 104s. **2012**.

- [8] Tuncay, E., Tunar Özcan, N. ve Kalender, A., tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde örneğin boy/çap oranının belirlenmesi için yeni bir yaklaşım, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon, **2015**.
- [9] John, M., *The Influence of Length to Diameter Ratio on Rock Properties in Uniaxial Compression; A Contribution to Standardisation in Rock Mechanics Testing*. Rep S Afr CSIR No ME1083/5, **1972**.
- [10] American Society for Testing and Materials (ASTM) *Annual Book of ASTM Standards*, Vol: 04.08, Philadelphia, PA, USA, Pp: 978, **1994**.
- [11] American Society for Testing and Materials (ASTM) *Annual Book of ASTM Standards*, Vol: 04.08, Philadelphia, PA, USA, Pp: 1624, **2000**.
- [12] 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**.
- [13] Hoek, E., *Practical Rock Engineering*. (2007). http://www.rocscience.com/education/hoek_corner (Mart **2017**)
- [14] Coates, D.F., *Rock Mechanics Principles*, Mines Branch Monograph 874, Queen's Print, Ottawa, Canada, Pp: 280, **1965**.
- [15] Hoek, E., Brown E.T., *Underground Excavations in Rock*, *Institution of Mining and Metallurgy*, Stephen Austipn and Sons Ltd., Hertford, London, Pp: 527, **1980**.
- [16] Hudson, J.A., Harrison, J.P., *Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles*, Elsevier, Pergamon, Pp: 444, **1997**.

- [17] Lockner, D.A., *Rock Failure, Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants*, ed: Thomas JA, Vol: 3, Agu, Washington, Pp: 127- 147, **1995**.
- [18] Mogi, K., The influence of the dimensions of specimens on the rock fracture strength of rocks, *Bulletin of Earthquake Research Institute Tokyo Univ.*, 40, 175-185, **1962**.
- [19] Protodyakonov, M.M., Koifman, M.I., The scale effect in investigations of rock and coal, *Proceedings of 5th Congress International Bureau Rock Mechanics*, Leipzig, **1963**.
- [20] Hoskins, J.R., Horino, F.G., The influence of spherical head size and specimen diameter on the uniaxial compressive strength of rocks, *US Bureau of Mines Report of Investigations 7234*, pp:16, **1969**.
- [21] Bieniawski, Z.T., Propagation of Brittle Fracture in Rock, *Proceedings of 10th Symposium on Rock Mechanics*, AIME, New York, Pp: 409-427, **1972**.
- [22] Pratt, H.R., Black, A.D., Brown, W.S., Brace, W.R., The effect of specimen size on the mechanical properties of unjointed diorite, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 513-529, **1972**.
- [23] Hawkins, A.B., Aspects of Rock Strength, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57, 17-30, **1998**.

- [24] Prakoso, W.A.; Kulhawy F.H., Effects of Testing Conditions on Intact Rock Strength and Variability, *Geotechnical and Geological Engineering*, 29: 101-111, **2011**.
- [25] American Society for Testing and Materials, Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications (D5731). Annual Book of Standards 04.08, ASTM, Philadelphia, **2008a**.
- [26] American Society for Testing and Materials, Standard practices for preparing rock core as cylindrical test specimens and verifying conformance to dimensional and shape tolerances (D454 3). Annual Book of Standards 04.08, ASTM, Philadelphia, **2008b**.
- [27] Pan, Z.P., Feng, X.T., Hudson, J.A., Study of Failure and Scale Effects in Rocks Under Uniaxial Compression Using 3D Cellular Automata, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 674-685, **2009**.
- [28] Protodyakonov, M.M., *Method of Determining The Strength of Rocks Under Uniaxial Compression*, eds: Protodyakonov M.M. et al, Mechanical properties of rocks, **1969**.
- [29] The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, (editör R. Ulusay) Springer International Publishing, Switzerland, **2014**.
- [30] Schmidt, E., *A non-destructive concrete tester*. Concrete 59 (8), 34–35, **1951**.

- [31] Goudie, A.S., *The Schmidt Hammer in geomorphological research*, Progress in Physical Geography, 30, 6, pp. 703–718, **2006**.
- [32] Aufmuth, R.E., A systematic determination of engineering criteria for rocks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 11, 235–245, **1973**.
- [33] Dearman , WR., Irfan TY., Assesment of the degree of weathering in granite using petrographic and physical index tests. In: *Proceeding of the international symposium on deterioration and protection of stone monuments*. Paris: Unesco; P.1-35 (paper 2.3), **1978**.
- [34] Beverly, B.E., Schoenwolf, D.A., Brierly, G.S., Correlations of rock index values with engineering properties and the classification of intact rock, **1979**.
- [35] Kidybinski, A., *Method of investigation, estimation and classification of roofs in the USA for the selection of suitable mechanized support for long walls*. Project No. 14-01-0001- 1450. Central Mining Institute, Katowice, Poland. 25 pp, **1980**.
- [36] Singh, R.N., Hassani, F.P., Elkington, P.A. S., The application of strength and deformation index testing to the stability assessment of coal measures excavations. *Proc. 24th US Symposium On Rock Mechanics* Texas A and M Univ. AEG, Balkema, Rotterdam, pp. 599–609, **1983**.
- [37] O' Rourke, J.E., Rock index properties for geoengineering in underground development. *Mining Engineering*, 106– 110, **1989**.

- [38] Sachpazis, C.I., Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 42, 75– 83, **1990**.
- [39] Xu, S., Grasso, P., and Mahtab, A., Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. *6th Int. IA. EG Congress*, Balkema, Rotterdam 511. – 519, **1990**.
- [40] Kahraman, S., *Basınç direnci tahmininde Schmidt ve nokta yük indeksi kullanmanın güvenilirliği*. In: Korkmaz, S., ve Akçay, M. (Eds.), K.T.U. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, vol. 30. Yıl Sempozyumu. Bildiriler Kitabı, Trabzon, pp. 362– 369, **1996**.
- [41] Yasar, E., Erdoğan, Y., Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods. *Engineering Geology* 71, 281–288, **2004**.
- [42] Aydın,A., Basu, A., The Schmidt hammer in rock material characterization, *Engineering Geology*,81, pp.1–14, **2005**.
- [43] Aydın, A., ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: revised version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46:627–634, **2009**.
- [44] 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**.
- [45] Tuğrul A., Zarif IH., Corelation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology* 51:303-17, **1999**.

- [46] 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**.
- [47] Broch, E., and Franklin, J.A., The point load strength test. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 9, 669-697, **1972**.
- [48] 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, **1965**.
- [49] Bieniawski, Z.T., The point load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*. 9, s1-11. **1975**.
- [50] Brook, N., The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 2., pp. 61-70. **1985**.
- [51] 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*, 1989, pp.461-468, **1989**.
- [52] Ghosh, D.K. and Srivstava, M., Point load strength. An indeks classification of rock material. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 44, 233, **1991**.

- [53] Ulusay, R., Tureli, K. and I der, M.H., Prediction of Engineering properties of a selected Litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology*. 38, 135-157, **1994**.
- [54] Rusnak, J. Ve Mark, C., 1998. *Using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock*. National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh, PA, **1998**.
- [55] Sabatakakis, N., Koukis, G. ,Tsiambaos, G., Papanakli, S., Index properties and variation Controlled by microstructure for sedimentary rocks, *Engineering geology*, 97, 80-90, **2008**.
- [56] Topal, T., Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler, Teknik not, *Jeoloji Mühendisliği* (24), pp. 73-86, **2000**.
- [57] Kahraman, S., Gunaydın, O., The effect of rock classes on the relation between uniaxial compressive strength and point load. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68, 345-353, **2009**.
- [58] Schrier van der, J.S., The block punch index test. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 38, 121-126, **1988**.
- [59] Gökçeoğlu, C., Killi, yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, **1997**.
- [60] Ulusay, R., Gokceoglu, C., The modified block punch index test. *Can. Geotech. J.* 34,991–1001, **1997**.

- [61] Ulusay, R. and Gökçeoglu, C., An experimental study on the size effect in block punch index test and its general usefulness. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 35 (4/5), 628-629 (In: NARMS" 98- ISRM International Symposium), June3-5, Cancun, Mexico, **1998**.
- [62] Sülükçü S., Disk makaslama indeks deneyinde boyut etkisinin ve yenilme mekanizmasının araştırılması ve deneyin diğer indeks deneyleriyle karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, **2001**.
- [63] Sülükçü, S., Ulusay, R.,2001. Evaluation of the block punch index test with particular reference to the size effect, failure mechanism and its effectiveness in predicting rock strength. *Int J Rock Mech Min Sci* 38(8),1091–1111, **2001**.
- [64] Ulusay, R., Gokceoglu, C., Sulukcu, S., Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38 (8),1113-1119, **2001**.
- [65] Sönmez, H., Tunusluoğlu, C., New consideration on The block punch index for prediction of uniaxial compressive strength of rock material. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45 1007–1014, **2008**.
- [66] Okada, S., Izumiya, Y., Iizuka, Y., Horiuchi, S., The estimation of soft rock strength around a tunnel by needle penetration test. *Journal of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* 33 (2), 35–38 (in Japanese), **1985**.

- [67] Takahashi, K., Noto, K., Yokokawa, I., Strength characteristics of Kobe Formation in Akashi Strata (No. 1). *Proc. of 10th Japan National Conf. on Geotech. Eng. The Japanese Geotechnical Society*, pp. 1231–1232 (in Japanese), **1988**.
- [68] Yamaguchi, Y., Ogawa, N., Kawasaki, M., Nakamura, A., Evaluation of seepage failure resistance potential of dam foundation with simplified tests. *Journal of the Japan Society of Engineering Geology* 38 (3), 130–144, **1997**.
- [69] Yamaguchi, Y., Nakamura, Y., Nakamura M., Hakoishi, N., Yamaya M., Kato Y., Verification of design strength of soft rock foundation by needle penetration testing. *Journal of Japanese Society of Engineering Geology* 46 (1), 20-27, **2005**.
- [70] Naoto, U., Yoshitake, E., Hidehiro, O., Norihiko, M., Strength evaluation of deep mixing soil-cement by needle penetration test. *Journal of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* 52 (7), 23–25 (in Japanese), **2004**.
- [71] Uchida N., Etoh Y., Ono H., Miura N., Strength evaluation of deep mixing soil- cement by needle penetration test. *Journal of Japan Sociality Soil Mechanics Found Engineering* 52(7):23-25 (in Japanese), **2004**.
- [72] Maruto Co. Ltd., *Penetrometer for Soft Rock: Model SH-70 Instruction Manual*. Tokyo, Japan, **2006**.

- [73] Ergüler, Z.A., Ulusay, R., Estimation of uniaxial compressive strength of clay-bearing weak rocks using needle penetration resistance. *Proceedings of 11th Congress on Int Soc Rock Mechanics*, Lisbon, vol. 1, 265–268, **2007**.
- [74] Ergüler, Z.A., Ulusay, R., Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* 46, 355–370, **2009**.
- [75] Ngan-Tillard, D.J.M., Verwaal, W., Mulder, A., Engin, H.K., Ulusay, R., Application of the needle penetration test to a calcarenite, Maastricht, the Netherlands. *Engineering Geology* 123, 214–424, **2011**.
- [76] Aydan, Ö., The inference of physico-mechanical properties of soft rocks and the evaluation of the effect of water content and weathering on their mechanical properties from needle penetration tests. Symposium of ARMA, Chicago, Paper No. **2012**.
- [77] Ulusay R. and Ergüler Z.A. Needle penetration test: Evaluation of its performance and possible uses in predicting strength of weak and soft rocks. *Engineering Geology* 149-150, 47-56, **2012**.
- [78] Aydan Ö., Ulusay R., Geomechanical evaluation of Derinkuyu Antique underground city and its implications in geoen지니어ing, *Rock Mechanic Rock Engineering*, 46:731-754, **2013**.
- [79] Ulusay R., Aydan Ö., Ergüler Z.A., Ngan-Tillard D.J.M., Seiki T., Verwaal W., Sasaki Y., and Sato A. ISRM Suggested method for the needle penetration test. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 1073-1085, **2014**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Aylin FİDAN ÜZGÜN

Doğum Yeri: Meriç/ Edirne

Medeni Hali: Evli

E-posta: aylin_fidan@windowslive.com

Adresi: Gayret Mah. Ahmet Hamdi Sokak No:2/9 Yenimahalle

Eğitim

Lisans: Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü (2017-)

Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü (2012-2016)

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2006-2012)

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2013-2017)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce (İyi)

İş Deneyimi

Yenimahalle Belediye Başkanlığı – Jeoloji Mühendisi (2012 –)

ASIA Gold Mining – Jeoloji Mühendisi (2011-2012)

Jeoloji Mühendisleri Odası İzmir Şubesi – Halkla İlişkiler (2010-2011)

Deneyim Alanları

Mühendislik jeolojisi, kaya ve zemin mekaniği

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
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 01/06/2017

Tez Başlığı / Konusu: TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMININ FARKLI BOY KAP
ORANLARINDAKİ ÖZNEKLERDEN BELİRLENMESİ YAKLAŞIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 76 sayfalık kısmına ilişkin, 01/06/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1 'tür.

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 Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'mı 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.

Tarih ve İmza
01.06.2017

Adı Soyadı: Aylin Fidan Üzgeçen
Öğrenci No: 110129870
Anabilim Dalı: JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
Programı: UYGULAMALI JEOLOJİ
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Ergün Tuncay

Doç. Dr. Ergün Tuncay

(Unvan, Ad Soyad, İmza)