

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NOKTA YÜKLEME DENEYİNDE YAPILAN HATALARIN GİDERİLMESİ İÇİN
YENİ BİR DENEY DÜZENEGİNİN TASARLANMASI**

Deniz AKBAY

**Danışman
Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ**

**DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**

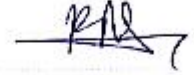


© 2018 [Deniz AKBAY]

TEZ ONAYI

Deniz AKBAY tarafından hazırlanan "Nokta Yükleme Deneyinde Yapılan Hataların Giderilmesi İçin Yeni Bir Deney Düzenine Tasarlanması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

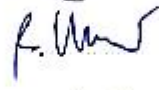
Danışman Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
Süleyman Demirel Üniversitesi



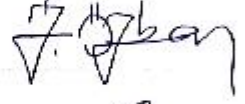
Jüri Üyesi Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Bahtıyar ÜNVER
Hacettepe Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
Selçuk Üniversitesi



Jüri Üyesi Doç. Dr. Nazmi ŞENGÜN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Deniz AKBAY



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi Deneyi.....	13
1.1.1. Çapsal deney (karot eksenine dik).....	14
1.1.2. Eksenel deney (karot eksenine paralel).....	14
1.1.3. Blok ve düzensiz örneklerle deney	14
1.1.4. Anizotrop kayaçlarda deney	17
2. KAYNAK ÖZETLERİ	20
2.1. Doktora Tez Çalışmasının Literatüre Katkısı	61
3. MATERYAL VE YÖNTEM	62
3.1. Kayaçların Temini ve Deneyler İçin Örnek Hazırlanması.....	65
3.2. Deneyler Öncesi Deney Cihazları İle İlgili Yapılan Ölçümler.....	70
3.2.1. Yük göstergesi değeri ölçümü (kalibrasyon kontrolü).....	70
3.2.2. Konik başlık ucu yüzey sertliği değeri ölçümü	72
3.2.3. Konik başlık açısı ve uç kısmının küresellik yarıçapı ölçümü.....	73
3.3. Deney Yapılan Cihazlar	74
3.4. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	75
3.4.1. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deney örneklerinin hazırlanması	75
3.4.2. Kayaçların fiziksel özellikleri	76
3.4.3. Kayaçların mekanik özellikleri.....	77
3.4.4. Kayaçların kimyasal özellikleri	78
3.4.5. Kayaçların mineralojik ve petrografik olarak incelenmesi.....	78
4. CİHAZ VE OPERATÖR KAYNAKLI HATALARIN BELİRLENMESİ, YENİ BİR DENEY CİHAZININ TASARLANMASI	79
4.1. Cihaz ve Operatör Kaynaklı Hataların Belirlenmesi.....	80
4.1.1. Yükleme hızı.....	80
4.1.2. Yenilme süresi.....	82
4.1.3. Düzenli bakımların yapılmaması.....	82
4.1.4. Farklı tip krikos sistemlerinin kullanılması	83
4.1.5. Gösterge hataları	83
4.1.6. Konik başlık geometrisi.....	87
4.1.7. Konik başlıkların eksenden sapması	89
4.1.8. Yumuşak-zayıf kayaçlarda konik başlığın örneğe batması (gömülmesi).....	89
4.1.9. Yükleme (kriko) kolu boyunun etkisi	90
4.1.10 Farklı operatörlerin etkisi	91
4.2. Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazının Tasarlanması	94

4.3. Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazının Özellikleri.....	96
4.4. Yeni Deney Cihazında Karşılaşılan Sorunlar	97
4.4.1. Eksenden sapma hatası	97
4.4.2. Konik başlıkların uç kısmının standarda uygun olmaması (küresellik yarıçaplarının 5 mm olmaması).....	99
4.4.3. Yeni cihazda deneylerin yapılması.....	99
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	101
5.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler	101
5.1.1. Gerçek yoğunluk ve birim hacim ağırlık.....	101
5.1.2. Ağırlıkça su emme, görünür ve toplam porozite	102
5.1.3. <i>P</i> -Dalga hızı	102
5.1.4. Böhme yüzey aşınma dayanımı	103
5.1.5. Schmidt çekici sertliği	104
5.1.6. Tek eksenli basınç dayanımı	104
5.1.7. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı.....	105
5.1.8. Yoğun yük altında (3 nokta) ve sabit moment altında (4 nokta) eğilme dayanımı	105
5.2. Kayaçların Kimyasal Analizi.....	106
5.3. Mineralojik ve Petrografik Analiz	106
5.3.1. Kireçtaşı-1 (K-1).....	107
5.3.2. Kireçtaşı-2 (K-2).....	107
5.3.3. Kireçtaşı-3 (K-3).....	108
5.3.4. Mermer (M)	108
5.3.5. Andezit (A)	109
5.3.6. Granit (G)	109
5.3.7. Diyabaz (D).....	110
5.4. Nokta Yükleme Dayanımı Deneyleri.....	111
5.5. Konik Başlığın Küresellik Yarıçapının (<i>r</i>) Nokta Yükleme Dayanımı Değerine Etkisinin Belirlenmesi.....	129
5.6. Yükleme (Kriko) Kolu Boyu (<i>L</i>) Etkisinin Nokta Yükleme Dayanımı Değerine Etkisinin Belirlenmesi.....	137
5.7. Konik Başlıkların Uç Kısımlarının Sertliklerinin Nokta Yükleme Dayanımı Değerine Etkisinin Belirlenmesi.....	145
5.8. Farklı Operatörlerin Nokta Yükleme Dayanımına Etkisi	150
5.9. Yükleme Hızının Nokta Yükleme Dayanımına Etkisi	152
5.10. Kesikli ve Sürekli Yüklemenin Nokta Yükleme Dayanımına Etkisi	156
5.11. Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile $I_{s(50)}$ Değerleri Arasındaki İlişkiler.....	160
5.12. Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazından Elde Edilen $I_{s(50)}$ Değerleri ile Kayaçların Bazı Mekanik Özelliklerinin Tahmini	165
5.13. Nokta Yükleme Dayanımı Değeri ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değeri Tahmini	166
5.14. Klasik Nokta Yükleme Deney Cihazından Elde Edilen Değerlerle Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazından Elde Edilen Değerlerin Tahmini.....	167
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	177
KAYNAKLAR	184
ÖZGEÇMİŞ	199

ÖZET

Doktora Tezi

NOKTA YÜKLEME DENEYİNDE YAPILAN HATALARIN GİDERİLMESİ İÇİN YENİ BİR DENEY DÜZENEGİNİN TASARLANMASI

Deniz AKBAY

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Nokta yükleme dayanım indeksi kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında, bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kaya malzemesinin dayanım parametresi olarak, en çok da basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi tasarım parametrelerinin dolaylı olarak tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Nokta yükleme dayanımı deneyi, basınç dayanımı ve çekme dayanımı deneylerine göre uygulanması daha basit, daha hızlı, daha ucuz, örnek hazırlanması daha kolay veya örnek hazırlama işlemi gerektirmeyen hem arazide hem de laboratuvarında kullanılabilen indeks bir yöntemdir.

Bu tez çalışması kapsamında 7 farklı üniversitede, 12 farklı laboratuvarında, 15 farklı nokta yükleme dayanımı deney cihazı kullanılmıştır. Nokta yükleme dayanımı deneyleri 7 farklı kayaç türü (3 sedimenter, 1 metamorfik, 3 magmatik) üzerinde aynı kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları üzerinde klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazının hataları ve sakıncaları sayısal olarak desteklenerek vurgulanmaya çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında belirlenen hataları ve sakıncaları ortadan kaldırmaya yönelik yeni bir nokta yükleme dayanımı deney cihazı tasarlanmıştır. Böylelikle daha hassas bir deney düzeneği ile belirlenen hata ve sakıncalardan arındırılmış daha gerçekçi yenilme yükleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu veriler ışığında klasik nokta yükleme deney cihazı kullanılarak elde edilmiş değerlerin ve farklı fiziksel ve mekanik özelliklerin tahmin edilmesine konu olmuş nokta yükleme dayanım indeksine bağlı görgül eşitliklerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yeni tasarlanan nokta yükleme deney cihazının kullanılmasıyla, yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde, çeşitli mühendislik yapılarında, tünel projelerinde, kaya kütle ve kazılabilirlik sınıflama sistemlerinde, tasarım parametresi olarak seçildiğinde güvenilirliği artmış bir nokta yükleme dayanım indeksinin kullanılmasına olanak sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nokta yükleme dayanım indeksi, kaya mekaniği, fiziksel ve mekanik özellikler, deney cihazı tasarımı.

2018, 201 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DESIGNING A NEW TESTING APPARATUS FOR PREVENTING THE ERRORS IN POINT LOAD INDEX TEST

Deniz AKBAY

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Point load index is used in the classification of the strength of the rocks, strength parameter of the rock materials in some rock mass classification systems, also to determine indirectly the other strength parameters such as uniaxial compressive strength and tensile strength. Point load strength is an index method that can be applied both in the field and in the laboratory which is simpler, faster, cheaper, easier to prepare the sample or does not require sample preparation and is applied according to the pressure resistance and tensile strength tests.

In this study, 15 different point load index test apparatus were used in 12 different laboratories of 7 different universities. The point load index tests were carried out on 7 different kinds of rock specimens (3 sedimentary, 1 metamorphic, 3 igneous). The errors of classic point load index test apparatus were indicated and numerically supported by using the test results obtained. And then a new point load index test apparatus was designed which could eliminate the determined errors of the present test method. Thus, more precise results were tried to be obtained by a delicate testing apparatus.

The values and empirical equations, which were obtained in the past by using classical point load index test apparatus, could be developed by the help of using a new point load index test apparatus. Thus, it would have been a more reliable point load index as a designing parameter in underground and surface mines, various engineering structures, tunnels, rock mass and excavation classification systems.

Keywords: Point load index, rock mechanics, physical and mechanical properties, test apparatus design.

2018, 201 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın fikir aşamasından son aşamasına kadar beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım kapsamında öneri ve görüşleri ile tez çalışmama kattıkları yeni bakış açıları ve karşılaştığımız zorluklarda sundukları çözüm önerileri ile verdikleri desteklerden dolayı Prof. Dr. Servet DEMİRDAĞ'a ve Doç. Dr. Nazmi ŞENGÜN'e teşekkür ederim. Tezi değerlendirmeleri, yapıcı eleştirileri ve katkılarından dolayı diğer jüri üyeleri Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER ve Prof. Dr. İhsan ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Bana laboratuvar ortamı ve ekipmanlarını kullanma imkânı sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu'na, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne, Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarı'na, Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden ve Jeoloji Mühendisliği Bölümleri ile Torbalı Meslek Yüksek Okulu'na, Hacettepe Üniversitesi Maden ve Jeoloji Mühendisliği Bölümleri'ne, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Kayaçların ince kesitlerinin hazırlanmasındaki emeğinden dolayı Dilara HİÇYILMAZ GÜZEL'e, mineralojik ve petrografik incelemelerinin yapılmasındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Deniz DEDEOĞLU YILDIZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında uygulamış olduğum deneyler için numune desteği veren Metamar Mermer Granit San. Tic. A.Ş.'ye, Granitaş Granit Sanayi ve Pazarlama A.Ş.'ye, Emre Taş ve Madencilik A.Ş.'ye ve İSTEM Isparta Taşımacılık Turizm Temizlik ve Mühendislik Hizmetleri Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederim.

Cihazın imalat aşamasındaki desteklerinden dolayı Baz Makina San. ve Dış Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederim.

OYP-5286-DR-13 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde TÜBİTAK 116R070 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, destekleyen ve yanımda olan, bu yoğun çalışma temposunda bana gösterdiği hoşgörü ve sabrından dolayı sevgili eşim Ahu AKBAY'a ve beni her zaman destekleyen değerli aileme teşekkür ederim.

Deniz AKBAY
İSPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. (a) Kaya kalite sınıflama diyagramı, (b) ve (c) genel amaçlı sınıflandırma	3
Şekil 1.2. Dayanım sınıflaması	4
Şekil 1.3. Kaya kütlesi derecesine ve dayanım indeksine dayanan kaya kütlesi kalitesi sınıflaması	4
Şekil 1.4. Granit örnekleri için $I_{s(50)}$ ve σ_c 'nin kullanıldığı dayanım sınıflaması	4
Şekil 1.5. Kaya dayanımı ve çatlak aralığına bağlı olarak kazılabilirlik tayini	5
Şekil 1.6. Kazılabilirlik sınıflama sistemi	5
Şekil 1.7. Kazı yöntemi ile $I_{s(50)}$ arasındaki ilişki	6
Şekil 1.8. Farklı kazı yöntemleri için jeolojik dayanım indeksi (GSI) ve $I_{s(50)}$ arasındaki ilişki	6
Şekil 1.9. Dünya üzerinde kullanılan bazı nokta yükleme dayanımı deney cihazları	12
Şekil 1.10. Bazı klasik (mevcut) nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının görünüşü	13
Şekil 1.11. Nokta yükleme dayanımı deneyi için gerekli örnek boyutları	13
Şekil 1.12. Geçerli ve geçersiz deneyler için yenilme şekilleri	15
Şekil 1.13. Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı indeksi $I_{s(50)}$ belirleme nomogramı	16
Şekil 1.14. Boyut düzeltme faktörü grafiği	17
Şekil 1.15. Anizotrop kayalarda yapılacak deneyler için yükleme yönleri	18
Şekil 2.1. Aşınmanın etkisini görmek için kullandıkları 3 farklı başlık	29
Şekil 2.2. Karot örneğinde meydana gelen gerilme dağılımları	44
Şekil 2.3. Nokta yükleme dayanımı ile RMR değeri grafiği	53
Şekil 3.1. Akım Şeması	64
Şekil 3.2. Plakalardan örneklerin hazırlanma şekli	66
Şekil 3.3. Çeşitli doğaltaş işleme fabrikalarından kayaların temini ve laboratuvara getirilmesi	67
Şekil 3.4. Nokta yükleme dayanımı deneyleri için örnek hazırlama işlemi	67
Şekil 3.5. 600×350×300 mm'lik plaka örneği	68
Şekil 3.6. 350×50×30 mm'lik prizmatik örnekler	68
Şekil 3.7. 50×50×30 mm'lik örnekler ve dağılımı	68
Şekil 3.8. Nokta yükleme dayanımı deneyleri için hazırlanan örneklerin genel görünümü	69
Şekil 3.9. Nokta yükleme dayanımı deneyleri için hazırlanan örnekler ve muhafaza yöntemi	69
Şekil 3.10. Deney cihazı kalibrasyon kontrolü	71
Şekil 3.11. 10 Kodlu deney cihazının göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler	72
Şekil 3.12. (a) Sertlik ölçüm cihazı, (b) konik başlık sertlik ölçümü	72
Şekil 3.13. ISRM'nin önerdiği standart konik başlık	73
Şekil 3.14. Konik başlıkların aç ve uç kısımlarının küresellik yarıçap ölçümü için hazırlanan düzenek	73

Şekil 3.15. Software yardımıyla konik başlıkların aç ve uç kısımlarının küresellik yarıçap çizimi ve ölçümü	74
Şekil 3.16. Örnek hazırlama işlemi	76
Şekil 3.17. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler	77
Şekil 3.18. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler	78
Şekil 4.1. KNY'ye ait mekanik gösterge	84
Şekil 4.2. Yoruma açık okuma değeri	85
Şekil 4.3. Sıfırdan başlamama (kalibrasyon) hatası	85
Şekil 4.4. İki kadran farklı değerleri gösteriyor olabilir	86
Şekil 4.5 Yenilme yükünü okuma konumu	86
Şekil 4.6. Yukarıya doğru ötelenmiş sabit çubuk.....	87
Şekil 4.7. ISRM tarafından önerilen konik başlık geometrisi.....	88
Şekil 4.8. Aç değeri $\alpha=60^\circ$ olan, küresellik yarıçapları farklı 2 farklı konik başlık	88
Şekil 4.9. Hindistan Standardında önerilen konik başlık geometrisi.....	88
Şekil 4.10. Konik başlıkların eksenden sapma durumu	89
Şekil 4.11. Kayacın içine batan (gömülen) konik başlıklar	90
Şekil 4.12. Farklı deney cihazlarına ait yükleme kolları.....	90
Şekil 4.13. Kuvvet ile dönme noktasının, kuvvet doğrultusuna dik uzaklığının çarpımı ile hesaplanan moment	91
Şekil 4.14. Moment etkisinin deney cihazı üzerindeki görünümü	91
Şekil 4.15. Farklı operatörler tarafından deneyin yapılması	93
Şekil 4.16. YNY'nin taslak çizimi	94
Şekil 4.17. Yeni tasarlanan nokta yükleme deney cihazı.....	96
Şekil 4.18. YNY kontrol paneli görünüşü	97
Şekil 4.19. "X 34" yazılımına ait örnek bir ekran görüntüsü	97
Şekil 4.20. Eksenden sapma hatası	98
Şekil 4.21. Eksenden sapmaya neden olan parça	98
Şekil 4.22. Eksenden sapmayı düzeltmek için yapılan yönlendirici klavuz parça	98
Şekil 5.1. K-1 kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	107
Şekil 5.2. K-2 kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	107
Şekil 5.3. K-3 kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	108
Şekil 5.4. M kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	108
Şekil 5.5. A kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	109
Şekil 5.6. G kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	110
Şekil 5.7. D kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü.....	110
Şekil 5.8. Kayaçların 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerlerinin aritmetik ortalamaları.....	113
Şekil 5.9. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	113
Şekil 5.10. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	114
Şekil 5.11. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	114
Şekil 5.12. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	115

Şekil 5.13. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	115
Şekil 5.14. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	116
Şekil 5.15. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması	116
Şekil 5.16. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	123
Şekil 5.17. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	124
Şekil 5.18. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	124
Şekil 5.19. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	125
Şekil 5.20. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	125
Şekil 5.21. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	126
Şekil 5.22. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı	126
Şekil 5.23. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	127
Şekil 5.24. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 12 no'lu cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	129
Şekil 5.25. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	130
Şekil 5.26. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	131
Şekil 5.27. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	131
Şekil 5.28. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	132
Şekil 5.29. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	132
Şekil 5.30. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	133
Şekil 5.31. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki	133
Şekil 5.32. YNY'de kullanılan farklı r (3-5-5,5 mm) değerine sahip konik başlıklar.....	135
Şekil 5.33. YNY'de denen farklı r (3-5-5,5 mm) değerleri ile $I_{s(50)}$ değerleri ve değişimi.....	136
Şekil 5.34. Eğim değerleri ve $r=5$ mm için $I_{s(50)}$ ile ilişkisi.....	136
Şekil 5.35. $I_{s(50)}$ ile $I_{s(50)ri}$ arasında belirlenen ilişki	137
Şekil 5.36. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki.....	138
Şekil 5.37. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki.....	138
Şekil 5.38. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki.....	139

Şekil 5.39. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki	139
Şekil 5.40. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki.....	140
Şekil 5.41. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki	140
Şekil 5.42. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki	141
Şekil 5.43. Farklı yükleme kolu boyları için tutuş pozisyonları.....	142
Şekil 5.44. Farklı yükleme kolu boyları ile nokta yükleme dayanımı değerleri...	143
Şekil 5.45. $I_{s(50)}$ ile $I_{s(50)_{Li}}$ arasında belirlenen ilişki	145
Şekil 5.46. K-1 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	146
Şekil 5.47. K-2 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	147
Şekil 5.48. K-3 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	147
Şekil 5.49. M kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	148
Şekil 5.50. A kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	148
Şekil 5.51. G kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	149
Şekil 5.52. D kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki	149
Şekil 5.53. Kontrol paneli üzerinde bulunan hız (potansiyometre) düğmesi.....	154
Şekil 5.54. YHK-1 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri.....	154
Şekil 5.55. YHK-2 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri.....	155
Şekil 5.56. YHT-1 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri.....	155
Şekil 5.57. YHT-2 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri.....	155
Şekil 5.58. YHM kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri.....	156
Şekil 5.59. YHA kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri.....	156
Şekil 5.60. YNY'de sürekli ve kesikli yükleme için yük-zaman grafiği.....	157
Şekil 5.61. YNY'de sürekli ve kesikli-artan hızda yükleme için yük-zaman grafiği	159
Şekil 5.62. $I_{s(50)}$ ile σ_c arasındaki ilişki	162
Şekil 5.63. $I_{s(50)}$ ile σ_t arasındaki ilişki.....	162
Şekil 5.64. $I_{s(50)}$ ile $\sigma_{e\check{g}(3)}$ arasındaki ilişki	163
Şekil 5.65. $I_{s(50)}$ ile $\sigma_{e\check{g}(4)}$ arasındaki ilişki	163
Şekil 5.66. $I_{s(50)}$ ile BYA arasındaki ilişki	164
Şekil 5.67. $I_{s(50)}$ ile V_p arasındaki ilişki.....	164
Şekil 5.68. $I_{s(50)}$ ile d_0 arasındaki ilişki	165
Şekil 5.69. $I_{s(50)}$ ile BHA arasındaki ilişki	165
Şekil 5.70. YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin tahmini için grafik yöntemi ile dönüşüm katsayısının (K) belirlenmesi	168
Şekil 5.71. Literatürde verilen farklı türdeki kayaçlar için $I_{s(50)}$ ve K abağı	175
Şekil 5.72. Literatürde verilen veriler kullanılarak elde edilen $I_{s(50)}$ ve K arasındaki ilişki.....	176

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. $I_{s(50)}$ değerinin kullanıldığı sınıflama sistemleri	6
Çizelge 1.2. Araştırmacılar tarafından nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için önerilen bazı eşitlikler	7
Çizelge 2.1. Nokta yükleme dayanımı ile basınç ve çekme dayanımı arasındaki dönüşüm katsayıları	48
Çizelge 3.1. Tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların temin edildiği bölgeler ve jeolojik kökenleri	66
Çizelge 3.2. 10 no'lu cihazın göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler	71
Çizelge 3.3. Nokta yükleme dayanımı deneyi yapılan cihazların bazı teknik özellikleri	75
Çizelge 4.1. Temin edilen konik başlıkların küresellik yarıçapları	99
Çizelge 4.2. Farklı yükleme hızlarında elde edilen yenilme süreleri	100
Çizelge 5.1. Kayaçların gerçek yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık değerleri ..	102
Çizelge 5.2. Kayaçların ağırlıkça su emme, görünür ve toplam porozite değerleri	102
Çizelge 5.3. Kayaçların P-dalga hızı değerleri	103
Çizelge 5.4. Kayaçların Böhme aşınma dayanımı değerleri	103
Çizelge 5.5. Kayaçların Schmidt çekici sertlik değerleri	104
Çizelge 5.6. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri ve dayanım sınıfları	105
Çizelge 5.7. Kayaçların Brazilian çekme dayanımları	105
Çizelge 5.8. Kayaçların 3 nokta ve 4 nokta eğilme dayanımları	106
Çizelge 5.9. Kayaçların kimyasal analiz sonuçları	106
Çizelge 5.10. 15 farklı KNY'de yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler	112
Çizelge 5.11. 7 farklı kayaç türü için yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ...	118
Çizelge 5.12. Yeni cihaz ve 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin değişim katsayıları	119
Çizelge 5.13. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	119
Çizelge 5.14. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	120
Çizelge 5.15. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	120
Çizelge 5.16. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	121
Çizelge 5.17. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	121
Çizelge 5.18. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	122
Çizelge 5.19. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	122
Çizelge 5.20. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	127
Çizelge 5.21. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 12 no'lu cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri	128
Çizelge 5.22. YNY'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ve eğim değerleri	135
Çizelge 5.23. Farklı r değerlerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile normalize edilmiş değerler	135

Çizelge 5.24. Yükleme kolu boyunun nokta yükleme dayanımına etki derecesini belirlemek için yapılan deneylerde kullanılan yeni kayaçlar	141
Çizelge 5.25. Farklı yükleme kolu tutuş pozisyonları için, 15 cm tutuş pozisyonundan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerine göre % değişim.....	143
Çizelge 5.26. Deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ve L için normalleştirilmiş $I_{s(50)}L$ değerleri.....	145
Çizelge 5.27. 1 no'lu cihaz için farklı operatörler ve yeni cihaz için $I_{s(50)}$ değerleri ve değişim katsayıları	151
Çizelge 5.28. 3 no'lu cihaz için farklı operatörler ve yeni cihaz için $I_{s(50)}$ değerleri ve değişim katsayıları	151
Çizelge 5.29. YNY'deki yükleme yenilme süreleri ve yükleme hızları	153
Çizelge 5.30. Yükleme hızının nokta yükleme dayanımı değerine etki derecesini belirlemek için YNY ile yapılan deneylerde kullanılan kayaçlar	153
Çizelge 5.31. YHK-1 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri	154
Çizelge 5.32. YHK-2 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri	155
Çizelge 5.33. YHT-1 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri	155
Çizelge 5.34. YHT-2 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri	155
Çizelge 5.35. YHM kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri	156
Çizelge 5.36. YHA kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri	156
Çizelge 5.37. Kesikli yüklemenin nokta yükleme dayanımı değerine etki derecesini belirlemek için yapılan deneylerde kullanılan kayaçlar..	157
Çizelge 5.38. Sürekli ve kesikli yükleme sonucu meydana gelen değişimler	158
Çizelge 5.39. Kesikli-artan hızda yüklemenin nokta yükleme dayanımı değerine etki derecesini belirlemek için yapılan deneylerde kullanılan kayaçlar.....	159
Çizelge 5.40. Sürekli ve kesikli yükleme sonucu meydana gelen değişimler	160
Çizelge 5.41. Nokta yükleme dayanımı ile arasında ilişki belirlenen fiziksel ve mekanik özellikler ve korelasyon katsayıları.....	161
Çizelge 5.42. $I_{s(50)}$ değeri kullanılarak kayaçların bazı mekanik özelliklerin tahmini için önerilen basit eşitlikler.....	166
Çizelge 5.43. σ_c değerinin $I_{s(50)}$ değeri kullanılarak tahmini için önerilen eşitlikler.....	167
Çizelge 5.44. σ_c değerinin $I_{s(50)}$ değeri kullanılarak tahmini için önerilen dönüşüm katsayıları (K)	167
Çizelge 5.45. $I_{s(50)}$ tahmini için önerilen basit eşitlikler	168
Çizelge 5.46. Dönüşüm katsayısı ve tahmin modeli kullanılarak elde edilen ve YNY'de yapılan deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri....	169
Çizelge 5.47. K-1 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, DK kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	170
Çizelge 5.48. K-2 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, DK kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	170
Çizelge 5.49. K-3 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, DK kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	171
Çizelge 5.50. M kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, DK kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	171

Çizelge 5.51. A kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, <i>DK</i> kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	172
Çizelge 5.52. G kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, <i>DK</i> kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	172
Çizelge 5.53. D kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, <i>DK</i> kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri.....	173



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASE	Ağırlıkça su emme oranı
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society for Testing and Materials)
BHA	Birim hacim ağırlık
BIS	Hindistan Standartlar Bürosu (Bureau of Indian Standards)
BYA	Böhme aşınma dayanımı
C	Dönüştürme faktörü
d_0	Özgül ağırlık
D_e	Eşdeğer karot çapı
DK	Nokta yükleme dayanımı kullanılarak yeni nokta yükleme deney cihazından elde edilen nokta yükleme dayanımını tahmin etmek için kullanılan dönüşüm katsayısı
F	Düzeltilme faktörü
Gp	Görünür porozite
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
HRC	Rockwell sertliği
$I_{a(50)}$	Dayanım anizotropi indeksi
I_s	Nokta yükleme dayanım indeksi
$I_{s(50)}$	Düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi
$I_{s(50)L}$	Kol boyu normalleştirilmesi uygulanmış nokta yükleme dayanımı değeri, MPa
$I_{s(50)Li}$	Kol boyu, $L < 35$ cm için nokta yükleme dayanımı değeri, MPa
$I_{s(50)r}$	Küresellik yarıçapı $r = 5$ mm'ye göre normalleştirilmiş nokta yükleme dayanımı değeri, MPa
$I_{s(50)ri}$	Küresellik yarıçapı $r \neq 5$ mm ($r < 5$ mm veya $r > 5$ mm) için nokta yükleme dayanımı değeri, MPa
ISRM	International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Topluluğu)
K	Nokta yükleme dayanımı kullanılarak basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılan dönüşüm katsayısı
KNY	Klasik nokta yükleme deney cihazı
L	Deney cihazının yükleme kolu boyu, cm
m_i	Hoek - Brown yenilme ölçütündeki malzeme sabiti
r	Konik başlığın uç kısmının küresellik yarıçapı
RMR	Kaya kütle indeksi
SÇS	Schmidt çekici sertliği
TP	Toplam porozite
V_p	P-dalga hızı
YNY	Yeni nokta yükleme deney cihazı
σ_c	Tek eksenli basınç dayanımı
$\sigma_{eğ(3)}$	Üç nokta eğilme dayanımı
$\sigma_{eğ(4)}$	Dört nokta eğilme dayanımı
σ_t	Brazilian çekme dayanımı

1. GİRİŞ

Mühendislik projelerindeki yapılarda (yeraltı açıklıkları, tüneller, şevler, temeller vs.) kaya kütlesinin sınıflandırılması projelendirme, tasarım ve gerekirse iyileştirme açısından önemlidir. Bir projenin fizibilite ve ilk tasarım aşamasında kaya kütlesi ile ilgili çok az bilgi mevcuttur. Temel olarak mühendislik uygulamalarında bu bilgileri elde etmek için üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar deneysel, gözlemsel ve görgül yöntemlerdir. Deneysel yöntemler kaya mekaniği standartlarına uygun olarak yapılan kaya kütlesinin, zeminin tanımlanmasına ve korelasyonuna yarayan indeks ve mühendislik özelliklerini içeren deneylerden oluşur. Bazı deneyler için kayaç temini, hazırlanması ve deneyin yapılması maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Bu gibi durumlarda gerekli olan parametreyi kestirmek adına daha basit, daha hızlı, daha kolay, portatif ve nispeten daha ucuz olan, ayrıca örnek hazırlama işlemi de gerektirmeyen deney yöntemleri tercih edilebilir.

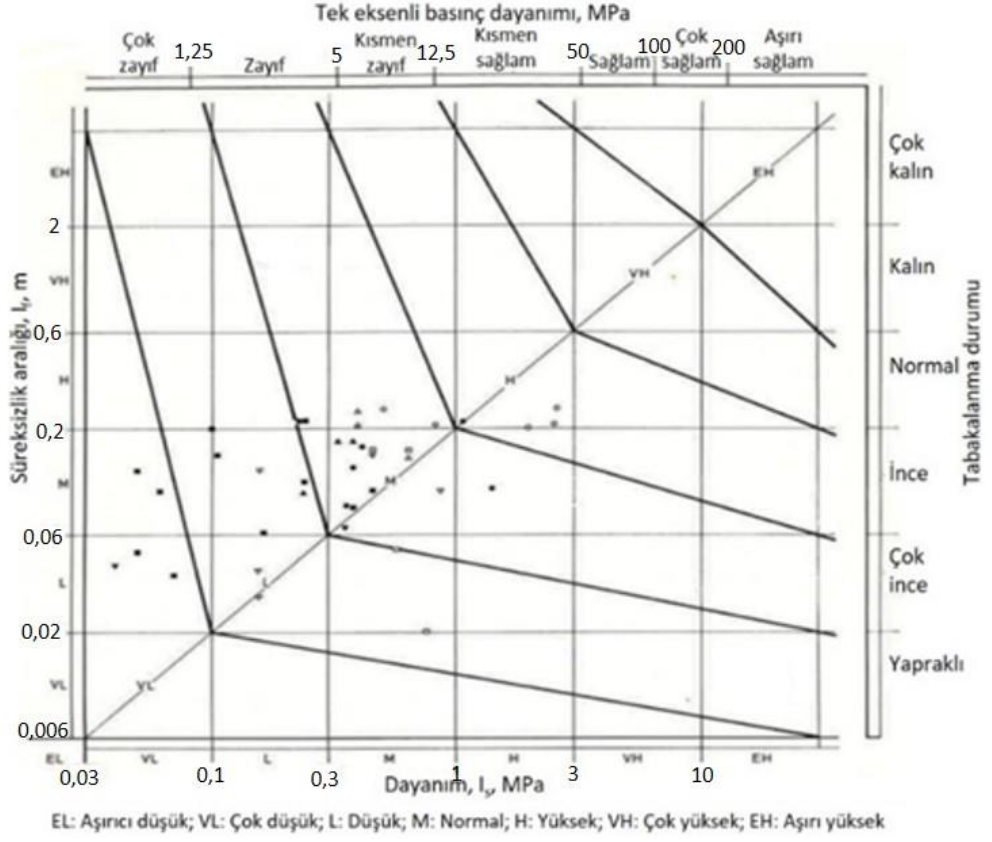
Gerçekleştirilecek olan mühendislik projelerindeki yapıların stabilitesinin sağlanması amacıyla yapılacak olan tasarımlarda kaya malzemesinin dayanım özellikleri doğru olarak tayin edilmelidir. Kaya malzemesinin dayanım özelliklerini göstermede en çok kullanılan mekanik parametreler tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ve nokta yükleme dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleridir. Bu iki parametre ayrıca birçok kaya kütlesi ve kazılabilirlik sınıflama sistemlerinde, yeraltı ve yerüstü mühendislik yapılarının, tünellerin tasarımında kullanılan yazılımlarda girdi parametresi olarak kullanılmaktadır.

$I_{s(50)}$ değerinin doğrudan kullanıldığı sınıflama sistemlerine bakıldığında çoğunlukla çok düşük dayanımdan çok yüksek dayanıma doğru 5 sınıftan oluştuğu ve “0-4 MPa” aralığında ilk 4 sınıfın dağılımının gerçekleştiği, 5. sınıfın “>4 MPa” olarak ifade edildiği görülmektedir. Bu kadar küçük değişim aralıklarının kullanıldığı ve/veya küçük değerlere sahip $I_{s(50)}$ değerlerinin tespitinde olabildiğince hassas olunması gerekmektedir.

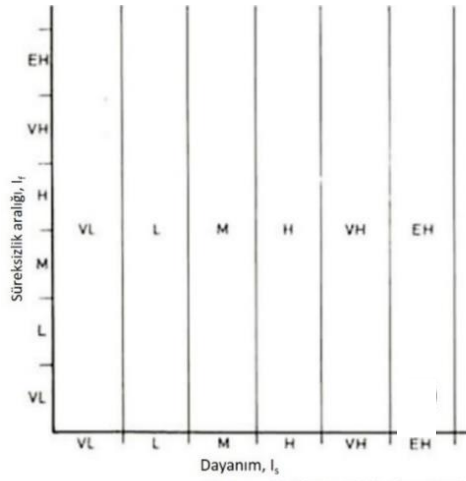
$I_{s(50)}$ değerinin kullanıldığı çok sayıda “Kazılabilirlik Sınıflama Sistemi” mevcuttur. Bunun yanında kazı yöntemini belirlemek veya kayacın dayanımını belirlemek için başka parametrelerle birlikte kullanıldığı abak ve grafikler de kullanılmıştır. Broch vd. (1971) bir kaya kalite sınıflama diyagramı ile genel amaçlı sınıflandırma için $I_{s(50)}$ değerini kullanmışlardır (Şekil 1.1). Broch ve Franklin (1972) $I_{s(50)}$ değerinin de kullanıldığı bir dayanım sınıflaması geliştirmişlerdir (Şekil 1.2). Edet ve Teme (1990) $I_{s(50)}$ değerini kullandıkları bir sınıflama abağı üzerinde çalışmışlardır (Şekil 1.3). Ghosh ve Srivastava (1991) $I_{s(50)}$ ve σ_c ’nin bir arada kullanıldığı bir dayanım sınıflaması önermişlerdir (Şekil 1.4). Franklin vd. (1971) kazı yöntemini seçmek için $I_{s(50)}$ değerinin de kullanıldığı bir abak geliştirmişlerdir (Şekil 1.5). Pettifer ve Fookes (1994) Franklin vd. (1971) önerisine benzeyen kazı yöntemini belirlemek için bir abak geliştirmişler ve bu abakta $I_{s(50)}$ değerinden de faydalanmışlardır (Şekil 1.6). Tsiambaos ve Saroglou (2010) $I_{s(50)}$ ile kazı yöntemi arasındaki ilişkiyi veren bir grafik çizmişler ve GSI ile $I_{s(50)}$ arasındaki ilişkiyi gösteren bir abak geliştirmişlerdir (Şekil 1.7, 1.8). “Kaya Mekaniği Sınıflama Sistemleri”nde ise $I_{s(50)}$ değerinin doğrudan kullanıldığı tek sistem RMR (Çizelge 1.1)’dir. Bununla birlikte sınıflama sistemlerinde en çok kullanılan parametrenin σ_c olduğu bilinmektedir. σ_c ’nin dolaylı olarak tahmin edilmesinde de en çok kullanılan parametrenin $I_{s(50)}$ olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir. Araştırmacılar σ_c ’nin $I_{s(50)}$ ile tahmin edilmesine yönelik çok sayıda çalışma yapmışlar ve 100’den fazla eşitlik önermişlerdir (Çizelge 1.2). $I_{s(50)}$ değeri 1 MPa olan bir kayacın σ_c değeri önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanacak olursa, 3 MPa ile 71 MPa arasında değişmektedir. Bu durumda $I_{s(50)}$ değeri belirlenirken yapılacak 1 MPa’lık bir hata σ_c ’nin tahmininde en basit ve en çok kullanılan Eşitlik 1.1 (Bieniawski, 1974) ile bir hesaplama yapılacak olursa 24 MPa olarak hesaplanır ki, bu da σ_c ’de 24 MPa’lık bir değişime yol açacaktır. 1 MPa’lık değil de 0,5 MPa’lık bir hata yapılacak olursa σ_c ’de 12 MPa’lık bir değişime yol açacaktır. Bunun için, $I_{s(50)}$ değeri belirlenirken kullanılan bugünkü yöntemin yerini, mevcut hatalarından ve sakıncalarından arındırılmış daha hassas ölçüm yapabilen nokta yükleme deney cihazının kullanıldığı bir yöntem almalıdır.

$$\sigma_c = 24 \times I_{s(50)} \quad (1.1)$$

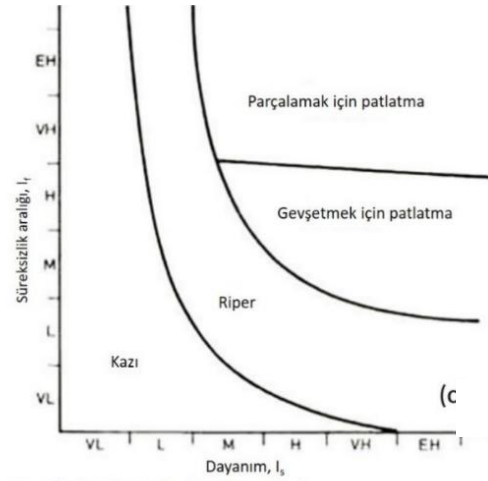
Burada, σ_c tek eksenli basınç dayanımını, $I_{s(50)}$ nokta yükleme dayanım indeksini temsil etmektedir.



(a)

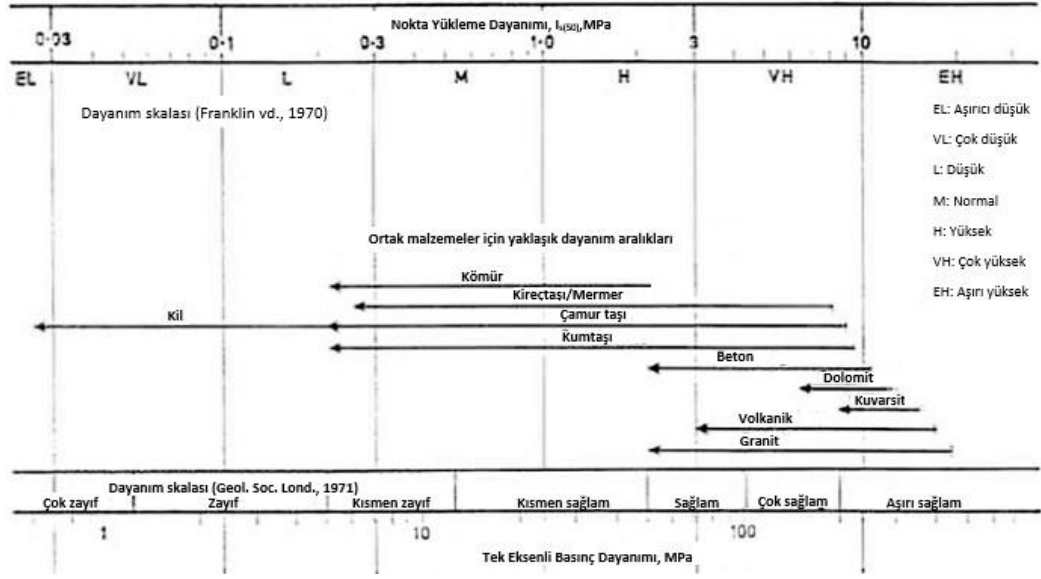


(b)

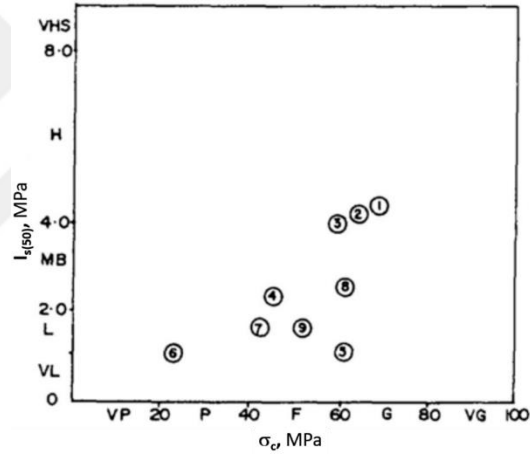


(c)

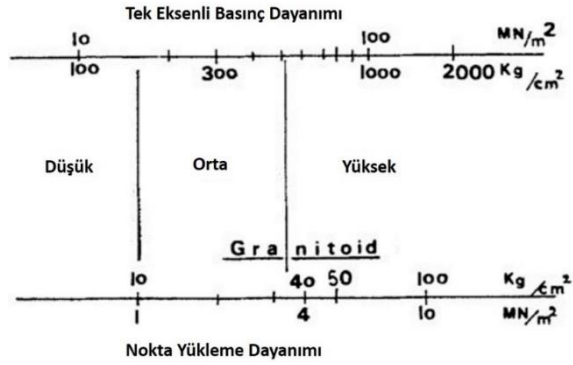
Şekil 1.1. (a) Kaya kalite sınıflama diyagramı, (b) ve (c) genel amaçlı sınıflandırma (Broch vd., 1971)



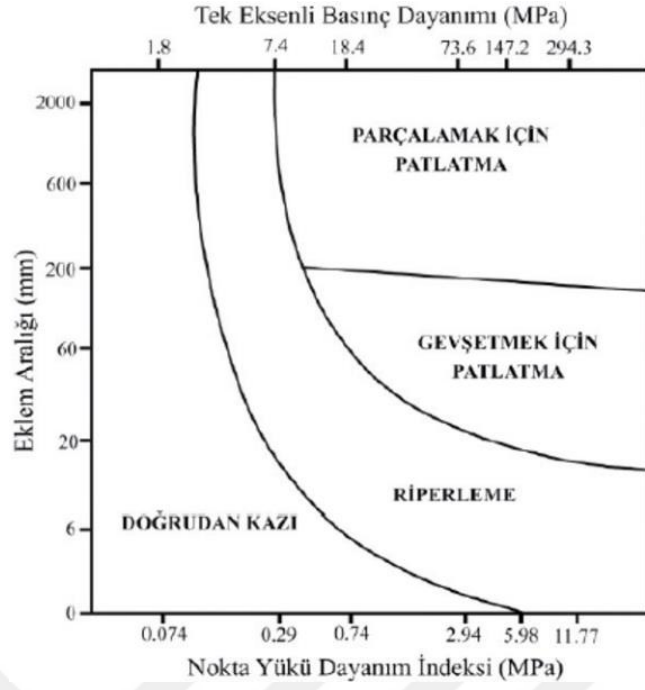
Şekil 1.2. Dayanım sınıflaması (Broch ve Franklin, 1972)



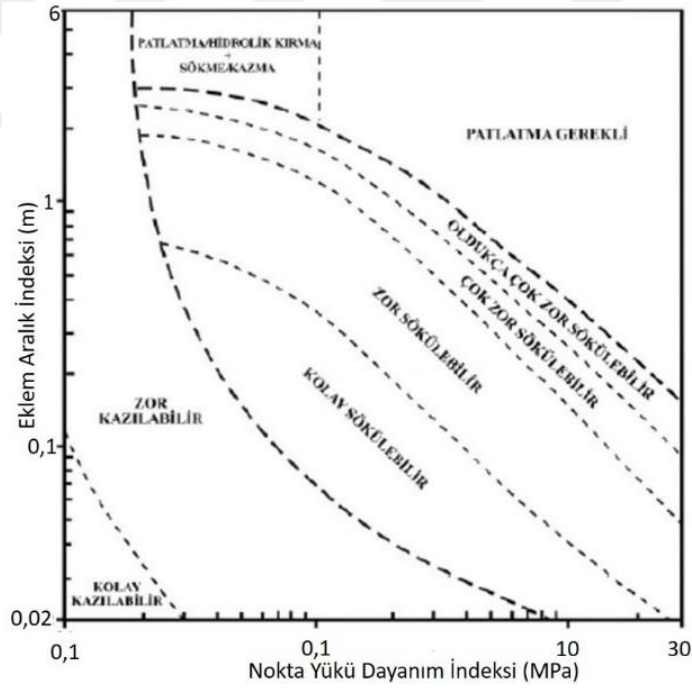
Şekil 1.3. Kaya kütlesi derecesine ve dayanım indeksine dayanan kaya kütlesi kalitesi sınıflaması (Edet ve Teme, 1990)



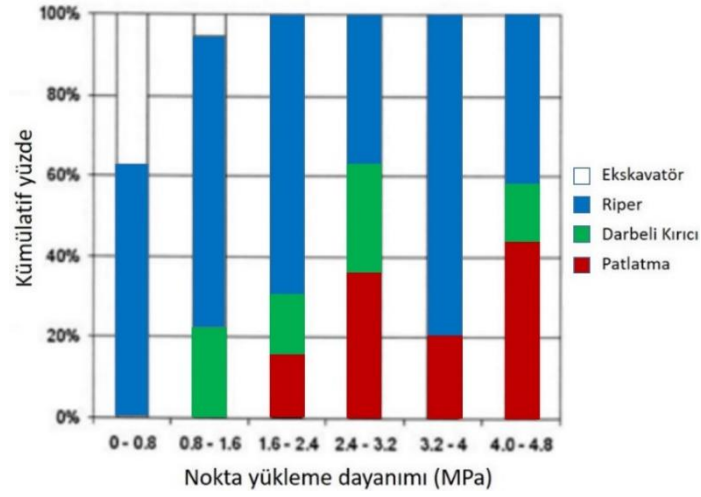
Şekil 1.4. Granit örnekleri için $I_{s(50)}$ ve σ_c 'nin kullanıldığı dayanım sınıflaması (Ghosh ve Srivastava, 1991)



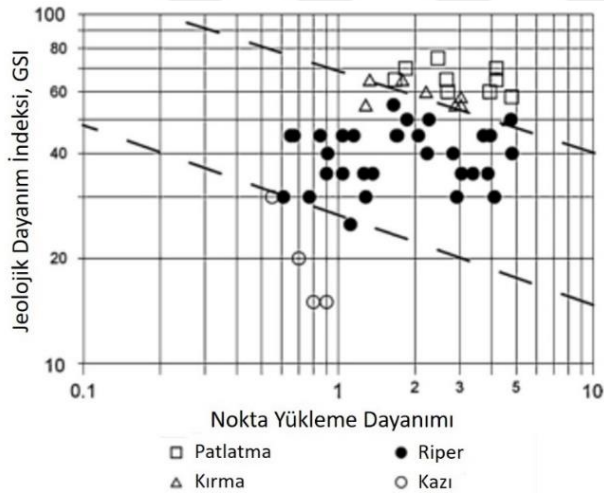
Şekil 1.5. Kaya dayanımı ve çatlak aralığına bağlı olarak kazılabilirlik tayini (Franklin vd., 1971)



Şekil 1.6. Kazılabilirlik sınıflama sistemi (Pettifer ve Fookes, 1994)



Şekil 1.7. Kazı yöntemi ile $I_{s(50)}$ arasındaki ilişki (Tsiambaos ve Saroglou, 2010)



Şekil 1.8. Farklı kazı yöntemleri için jeolojik dayanım indeksi (GSI) ve $I_{s(50)}$ arasındaki ilişki (Tsiambaos ve Saroglou, 2010)

Çizelge 1.1. $I_{s(50)}$ değerinin kullanıldığı sınıflama sistemleri

RMR'da nokta yükleme dayanım indeksi (Bieniawski, 1989)		Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Müftüoğlu, 1983)		Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Paşamehmetoğlu vd., 1988)		Kazılabilirlik Sınıflama Sistemi (Karpuz, 1990)		Dayanım Sınıflama Sistemi (Bieniawski, 1974)	
Puan	$I_{s(50)}$ (MPa)	Sınıf	$I_{s(50)}$ (MPa)	Kazı Sınıfı	$I_{s(50)}$ (MPa)	Kazı Tanımı	$I_{s(50)}$ (MPa)	Dayanım	$I_{s(50)}$ (MPa)
15	>10	V	>3,5	Çok zor	>4,4	Çok zor	>4,4	Çok yüksek	>8
12	4-10	IV	2-3,5	Zor	1,6-4,4	Zor	1,6-4,4	Yüksek	4-8
7	2-4	III	1,5-2	Orta zor	0,8-1,6	Orta zor	0,8-1,6	Normal	2-4
4	1-2	II	0,5-1,5	Orta	0,2-0,8	Orta	0,2-0,8	Düşük	1-2
σ_c tercih edilir	<1	I	<0,5	Kolay	<0,2	Kolay	<0,2	Çok düşük	<1

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı

Çizelge 1.2. Araştırmacılar tarafından nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için önerilen bazı eşitlikler

Kayaç Türü	Tahmin Modeli	Açıklama	Kaynak
Farklı kayaçlar	$\sigma_c = 15,3 \times I_{s(50)} + 16,3$	r=0,95	D'Andrea vd. (1965)
Farklı kayaçlar	$\sigma_c = 20,7 \times I_{s(50)} + 29,6$	r=0,96	Deere ve Miller (1966)
Sert kayaçlar	$\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$	r=0,88	Broch ve Franklin (1972)
Kumtaşı, kuvarsit, norit	$\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$	-	Bieniawski (1974)
Sert kayaçlar	$\sigma_c = 23 \times I_{s(50)}$	-	Bieniawski (1975)
Kireçtaşı, kumtaşı	$\sigma_c = 22 \times I_{s(50)}$	-	Carter ve Sneddon (1977)
Çamurtaşı	$\sigma_c = 38 \times I_{s(50)}$	-	Jenni ve Balissat (1979)
Kireçtaşı, dolomit	$\sigma_c = 12 \times I_{s(50)}$	-	Al-Jassar ve Hawkins (1979)
Farklı kireçtaşları	$\sigma_c = 17...30 \times I_{s(50)}$	-	Cavagnaro (1980)
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 25 \times I_{s(50)}$	-	Hassani vd. (1980)
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 29 \times I_{s(50)}$	-	Read vd. (1980)
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 16 \times I_{s(50)}$	-	Beake ve Suttcliffe (1980)
Bazalt	$\sigma_c = 20 \times I_{s(50)}$	-	Singh (1981)
Arap-Fars Körfezi'ndeki kalkarenositler	$\sigma_c = 12,2 \times I_{s(50)}$	-	Beavis vd. (1982)
Farklı kayaçlar	$\sigma_c = 18,7 \times I_{s(50)} - 13,2$	-	Forster (1983)
Şeyl	$\sigma_c = 20 \times I_{s(50)}$	-	Gunsallus ve Kulhawy (1984)
Magmatik ve sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 11,8...17,6 \times I_{s(50)}$	r=0,98-1	ISRM (1985)
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 16,5 \times I_{s(50)} + 51$	-	Das (1985)
Farklı kayaçlar	$\sigma_c = 20...25 \times I_{s(50)}$	-	Norbury (1986)
Silttaşı	$\sigma_c = 14,7 \times I_{s(50)}$	-	O'Rourke (1988)
Şey	$\sigma_c = 12,6 \times I_{s(50)}$	-	Puech vd. (1988)
Kumtaşı	$\sigma_c = 18 \times I_{s(50)}$	-	Vallejo vd. (1989)
-	$\sigma_c = 16...24 \times I_{s(50)}$	-	Jermy and Bell (1991)
Sedimanter kayaç	$\sigma_c = 21,8 \times I_{s(50)} + 43,2$	-	Tsidzi (1991)
Arap-Fars Körfezi'ndeki kalkarenositler	$\sigma_c = 3,1 \times I_{s(50)}$	-	
Şeyl	$\sigma_c = 12,5 \times I_{s(50)}$	-	
Kumtaşı	$\sigma_c = 17,4 \times I_{s(50)}$	-	
-	$\sigma_c = 8,6...16 \times I_{s(50)}$	-	
Kumtaşı	$\sigma_c = 14,1 \times I_{s(50)}$	-	
-	$\sigma_c = 14...82 \times I_{s(50)}$	-	

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanım indeksi

Çizelge 1.2. Araştırmacılar tarafından nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için önerilen bazı eşitlikler (Devam)

Kayaç Türü	Tahmin Modeli	Açıklama	Kaynak
Granit	$\sigma_c = 16 \times I_{s(50)}$	r=0,75	Ghosh ve Srivastava (1991)
-	$\sigma_c = 25,67 \times I_{s(50)}^{0,57}$	-	Grasso vd. (1992)
-	$\sigma_c = 9,3 \times I_{s(50)} + 20,04$	-	
Kuarsit	$\sigma_c = 23,37 \times I_{s(50)}$	r=0,98	Singh ve Sing (1993)
Kumtaşı	$\sigma_c = 19 \times I_{s(50)} + 12,7$	-	Ulusay vd. (1994)
Granit ve tüf	$\sigma_c = 12,5 \times I_{s(50)}$	r=0,85	Chau ve Wong (1996)
Kumtaşı	$\sigma_c = 23,3 \times I_{s(50)}$	Doygun	Smith (1997)
Hindistan kireçtaşı	$\sigma_c = 23 \times I_{s(50)}$	Doygun	
Farklı biyohermal kireçtaşları	$\sigma_c = 27,2 \times I_{s(50)}$	Kuru	
	$\sigma_c = 13,2 \times I_{s(50)}$	-	
	$\sigma_c = 14,8 \times I_{s(50)}$	-	
	$\sigma_c = 15 \times I_{s(50)}$	-	
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 7...68 \times I_{s(50)}$	-	Hawkins (1998)
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 20 \times I_{s(50)}$	-	Rusnak (1998)
Granit	$\sigma_c = 3,86 \times I_{s(50)}^{2+5,65 \times I_{s(50)}}$	-	Tuğrul ve Zarif (1999)
	$\sigma_c = 3,86 \times I_{s(50)}$	r=0,98	
Şeyl, silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı	$\sigma_c = 21 \times I_{s(50)}$	-	Rusnak ve Mark (2000)
Farklı kayaçlar	$\sigma_c = 8,41 \times I_{s(50)} + 9,51$	r=0,85	Kahraman (2001)
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 23,62 \times I_{s(50)} - 2,69$	r=0,93	
Innsbruck kuvars fillit (tabakalanmaya dik)	$\sigma_c = 19,9 \times I_{s(50)}$	-	Thuro ve Plinninger (2001)
Tüm kayaçlar	$\sigma_c = 18,71 \times I_{s(50)}$	-	
Sert kayaçlar	$\sigma_c = 24,4 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} > 4$ MPa	Quane ve Russel (2003)
Zayıf kayaçlar	$\sigma_c = 3,86 \times I_{s(50)}^2 + 5,651 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} < 5$ MPa	
Kireçtaşı, marl, kumtaşı	$\sigma_c = 7,3 \times I_{s(50)}^{1,71}$	r=0,91	Tsiambaos ve Sabatakakis (2004)
	$\sigma_c = 23 \times I_{s(50)}$	r=0,87	
Kireçtaşı	$\sigma_c = 13 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} < 2$ MPa, r=0,67	
Marl	$\sigma_c = 20 \times I_{s(50)}$	$2 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 5 \text{ MPa}$, r=0,63	
Kumtaşı	$\sigma_c = 28 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} > 5 \text{ MPa}$, r=0,74	
Tebeşir taşı	$\sigma_c = 8...18 \times I_{s(50)}$	-	Palchik ve Hatzor (2004)
Tüf	$\sigma_c = 22 \times I_{s(50)} + 49$	$\sigma_c = 80,4-208$ MPa	Kim vd. (2004)

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanım indeksi

Çizelge 1.2. Araştırmacılar tarafından nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için önerilen bazı eşitlikler (Devam)

Kayaç Türü	Tahmin Modeli	Açıklama	Kaynak
Magmatik, sedimanter, metamorfik kayalar	$\sigma_c = 10,91 \times I_{s(50)} + 27,41$	r=78	Kahraman vd. (2005)
	$\sigma_c = 24,83 \times I_{s(50)} - 39,64$	Gözeneklilik <%1, r=0,85	
	$\sigma_c = 10,22 \times I_{s(50)} + 24,31$	Gözeneklilik >%1, r=0,87	
Magmatik, sedimanter, metamorfik kayalar	$\sigma_c = 9,081 \times I_{s(50)} + 39,32$	r=0,85	Fener vd. (2005)
-	$\sigma_c = 12,25 \times I_{s(50)}^{1,59}$	-	Santi (2006) (Smith (1997)'den geliştirilmiştir)
Sedimanter kayalar	$\sigma_c = 7,3 \times I_{s(50)}^{1,71}$	$I_{s(50)} > 3,5$ MPa ve $\sigma_c = 2,1-254$ MPa	Min ve Moon (2006)
-	$\sigma_c = 18...21 \times I_{s(50)}$	r=0,96-0,98	Basu ve Aydın (2006)
Kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, dolomit, marl	$\sigma_c = 11,076 \times I_{s(50)}$	r=0,94	Akram ve Bakar (2007)
	$\sigma_c = 22,792 \times I_{s(50)} + 13,295$	r=0,94	
Kumtaşı, silttaşı	$\sigma_c = 13,4 \times I_{s(50)}$	r=0,94	Agustawijaya (2007)
Gnays	$\sigma_c = 16,656 \times I_{s(50)} + 21,7$	$\sigma_c = 29-209,3$ MPa	Cha vd. (2007)
-	$\sigma_c = 12,23 \times I_{s(50)} + 1,75$	$I_{s(50)} < 1$ MPa	Kassim ve Mohammad (2007)
-	$\sigma_c = 14,45 \times I_{s(50)} + 0,096$	$I_{s(50)} > 1$ MPa	
Tüm kayalar	$\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$	-	ASTM (2008)
Kumtaşı, kireçtaşı, beton	$\sigma_c = 8,66 \times I_{s(50)} + 10,85$	r=0,87	Çobanoğlu ve Çelik (2008)
Farklı kayalar	$\sigma_c = 100 \times \ln(I_{s(50)}) + 13,9$	r=0,99	Kılıç ve Teymen (2008)
-	$\sigma_c = 13 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} < 2$ MPa, r=0,70	Sabatakakis vd. (2009)
-	$\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} = 2-5$ MPa, r=0,60	
-	$\sigma_c = 28 \times I_{s(50)}$	$I_{s(50)} > 5$ Mpa, r=0,73	
Serpantin	$\sigma_c = 17,81 \times I_{s(50)}^{1,06}$	r=0,91	Diamantis vd. (2009)
	$\sigma_c = 16,45 \times e^{0,391 \times I_{s(50)}}$	r=0,89	
	$\sigma_c = 21,54 \times I_{s(50)} - 6,02$	r=0,86	
	$\sigma_c = 19,79 \times I_{s(50)}$	r=0,86	
-	$\sigma_c = 10,58 \times I_{s(50)}^{1,14}$	-	Tziallas vd. (2009)
-	$\sigma_c = 14,49 \times I_{s(50)}$	-	
Konglomera	$\sigma_c = 5,4 \times I_{s(50)}$	-	Elkateb (2009)
Kumtaşı	$\sigma_c = 6,2 \times I_{s(50)}$	-	
Silttaşı	$\sigma_c = 8,6 \times I_{s(50)}$	-	
Kireçtaşı	$\sigma_c = 6,5 \times I_{s(50)}$	-	

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanım indeksi

Çizelge 1.2. Araştırmacılar tarafından nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için önerilen bazı eşitlikler (Devam)

Kayaç Türü	Tahmin Modeli	Açıklama	Kaynak
Granitik kayaçlar	$\sigma_c = 10,92 \times I_{s(50)} + 24,2$	r=0,75	Kahraman ve Günaydın (2009)
Magmatik kayaçlar	$\sigma_c = 8,20 \times I_{s(50)} + 36,43$	r=0,82	
Sedimanter kayaçlar	$\sigma_c = 18,45 \times I_{s(50)} - 13,63$	r=0,88	
Metamorfik kayaçlar	$\sigma_c = 29,77 \times I_{s(50)} - 51,49$	r=0,88	
Şistli kayaçlar	$\sigma_c = 11,03 \times I_{s(50)} + 37,66$	r=0,86	Basu ve Kamran (2010)
Kireçtaşı	$\sigma_c = 21,691 \times I_{s(50)}$	r=0,55	Tahir vd. (2011)
Alçıtaşı	$\sigma_c = 5,557 \times I_{s(50)} + 23,68$	r=0,96	Heidari vd. (2012)
Magmatik, sedimanter, metamorfik kayaçlar	$\sigma_c = 21,398 \times I_{s(50)} - 0,6553$	r=0,98	Karaman ve Kesimal (2012)
	$\sigma_c = 20,418 \times I_{s(50)} - 5,1459$	r=0,94	
Farklı kayaçlar	$\sigma_c = 16,4 \times I_{s(50)}$	r=0,96	Kohno ve Maeda (2012)
Kore Imgye bölgesi kireçtaşı	$\sigma_c = 26 \times I_{s(50)}$	-	Kim vd. (2012)
Kuarsit-A	$\sigma_c = 22,8 \times I_{s(50)}$	r=0,99	Singh vd. (2012)
Kuarsit-B	$\sigma_c = 22,2 \times I_{s(50)}$	r=0,88	
Kondalit	$\sigma_c = 15,8 \times I_{s(50)}$	r=0,95	
Kumtaşı	$\sigma_c = 21,9 \times I_{s(50)}$	r=0,94	
Şeyl	$\sigma_c = 14,4 \times I_{s(50)}$	r=0,91	
Gabro	$\sigma_c = 23,3 \times I_{s(50)}$	r=0,98	
Amfibolit	$\sigma_c = 23,5 \times I_{s(50)}$	r=0,99	
Epidiyorit	$\sigma_c = 21 \times I_{s(50)}$	r=0,98	
Kireçtaşı	$\sigma_c = 22,3 \times I_{s(50)}$	r=0,82	
Dolomit	$\sigma_c = 22,7 \times I_{s(50)}$	r=0,91	
Kaya tuzu	$\sigma_c = 16,1 \times I_{s(50)}$	r=0,84	
-	$\sigma_c = 11,218 \times I_{s(50)} + 4,008$		Basu vd. (2013)
Meta-silttaşı, meta-kumtaşı	$\sigma_c = 5,575 \times I_{s(50)} + 21,92$	r=0,96	Li ve Wong (2013)
	$\sigma_c = 7,557 \times I_{s(50)} + 23,68$	r=0,97	
	$\sigma_c = 3,495 \times I_{s(50)} + 24,84$	r=0,94	
Meta-silttaşı	$\sigma_c = 19,83 \times I_{s(50)}$	-	
Meta-kumtaşı	$\sigma_c = 21,27 \times I_{s(50)}$	-	
Granit	$\sigma_c = 10,9 \times I_{s(50)} + 49,03$	r=0,89	Mishra ve Basu (2013)
Şist	$\sigma_c = 11,21 \times I_{s(50)} + 4,008$	r=0,92	
Kumtaşı	$\sigma_c = 12,95 \times I_{s(50)} - 5,19$	r=0,92	
Granit, şist, kumtaşı	$\sigma_c = 14,63 \times I_{s(50)}$	r=0,94	
Kireçtaşı, marl, kumtaşı	$\sigma_c = 23 \times I_{s(50)}$	r=0,87	Salah vd. (2014)
Kireçtaşı	$\sigma_c = 13 \times I_{s(50)}$	r=0,67	
Marl	$\sigma_c = 20 \times I_{s(50)}$	r=0,63	
Kumtaşı	$\sigma_c = 28 \times I_{s(50)}$	r=0,74	
σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanım indeksi			

Çizelge 1.2. Araştırmacılar tarafından nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için önerilen bazı eşitlikler (Devam)

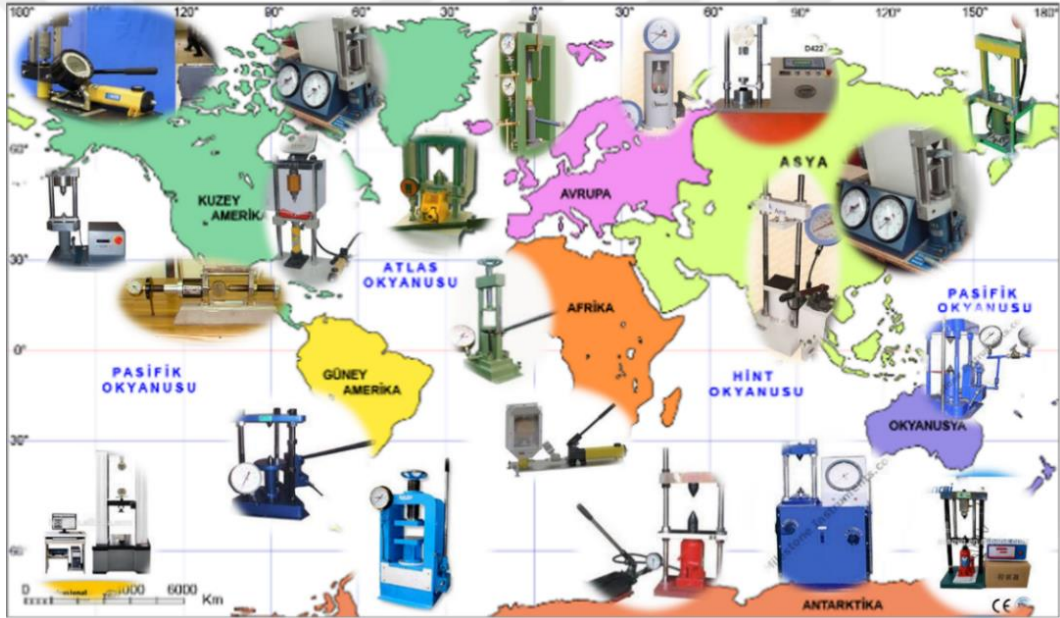
Kayaç Türü	Tahmin Modeli	Açıklama	Kaynak
Beton	$\sigma_c = 37,5 \times I_{s(50)} - 55,4$	r=0,92	Selçuk ve Gökçe (2015)
Kireçtaşı	$\sigma_c = 49,89 \times I_{s(50)}^{0,55}$	r=0,95	Sheshde ve Cheshomi (2015)
Kumtaşı	$\sigma_c = 11,613 \times I_{s(50)} + 18,478$	r=0,72	Armaghani vd. (2016)
Granit	$\sigma_c = 15,939 \times I_{s(50)} + 37,235$	r=0,91	Fakir vd. (2017)
Konglomera	$\sigma_c = 11,473 \times I_{s(50)}$ $\sigma_c = 16 \times I_{s(50)} - 2,87 \times I_{s(50)}^2$	r=0,97 r=0,99	Minaeian ve Ahangari (2017)
σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanım indeksi			

Çalışmada kullanılan kayaçlar orta dayanım ve sağlam sınıfta yer almaktadır. Bu $I_{s(50)}$ değerlerinde % 10-15'lik değişim kayacın dayanım değeri sınır/geçiş değerine çok yakın değilse sınıf değişimine neden olmayabilir ama özellikle zayıf ve çok zayıf kayaçlarda ($I_{s(50)} < 2$ MPa) bu oranlardaki değişimler sınıf değişimine neden olacaktır. Bu nedenle bu tez çalışmasında önerildiği şekilde sabit yükleme hızında ve operatör etkisi olmadan $I_{s(50)}$ değerlerinin belirlenmesi zayıf/çok zayıf kayaç grupları için çok daha önemlidir. Çalışmaya başlamadan önce kayaç seçimi yapılırken zayıf kayaçlar da (tuf, kumtaşı vb.) temin edilmiş fakat bu kayaçlar üzerinde deney yapılırken yük göstergelerinde herhangi bir yük değeri okunamamış, konik başlıklar kayaçlara gömülmüş ve yenilme gerçekleşmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan kayaçlar orta dayanım sınıfı ve sağlam sınıfta yer almalarına rağmen deney yöntemi ve sonuçlar açısından önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Zayıf/çok zayıf kayaçlarda bu farklılığın daha da belirgin ve etki derecesinin daha da yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Örneğin Şekil 1.1'de 0,3 MPa'nın altında 2 dayanım sınıfı, Şekil 1.2'de ise 0,3 MPa'nın altında 3 dayanım sınıfı yer almaktadır; hatta 0-3 MPa aralığında 5 sınıf yer almaktadır. Şekil 1.5'e bakıldığında ise aynı eklem aralığına sahip bir kayaç için 0-3 MPa aralığında kazı tipi 3 farklı şekilde değişmektedir (doğrudan kazı, ripperleme ve gevşetmek için patlatma). Şekil 1.6'da da benzer bir durum söz konusudur.

Nokta yükleme dayanımı basınç dayanımına göre uygulanması daha basit, daha hızlı, daha ucuz, örnek hazırlanması daha kolay veya örnek hazırlama işlemi gerektirmeyen hem arazide hem de laboratuvarda kullanılabilen bir yöntemdir. Fakat bu

avantajlarının yanında $I_{s(50)}$ belirlenirken, uygulamada mevcut cihazdan ve operatörden kaynaklı bazı hatalarla karşılaşmaktadır.

Dünyada nokta yükleme deney cihazı pazarlayan çok sayıda yerli ve yabancı firma olmakla birlikte bunların çok azı üretici konumundadır. Ayrıca farklı tasarımlara sahip 100'den fazla nokta yükleme deney cihazı da mevcuttur. Bunlar, genel ölçüm tekniği ilkelerine bağlı kalınmış, tasarım olarak da birbirine çok benzeyen; hidrolik sistem, hidrolik sistemin duruş pozisyonu (yatay veya dikey), yükleme (kriko) kolu, gösterge (mekanik veya dijital), örnek yeri (sabitlenmeli veya serbest) gibi küçük farklılıklarla birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Dünya üzerinde kullanılan bazı nokta yükleme dayanımı deney cihazları

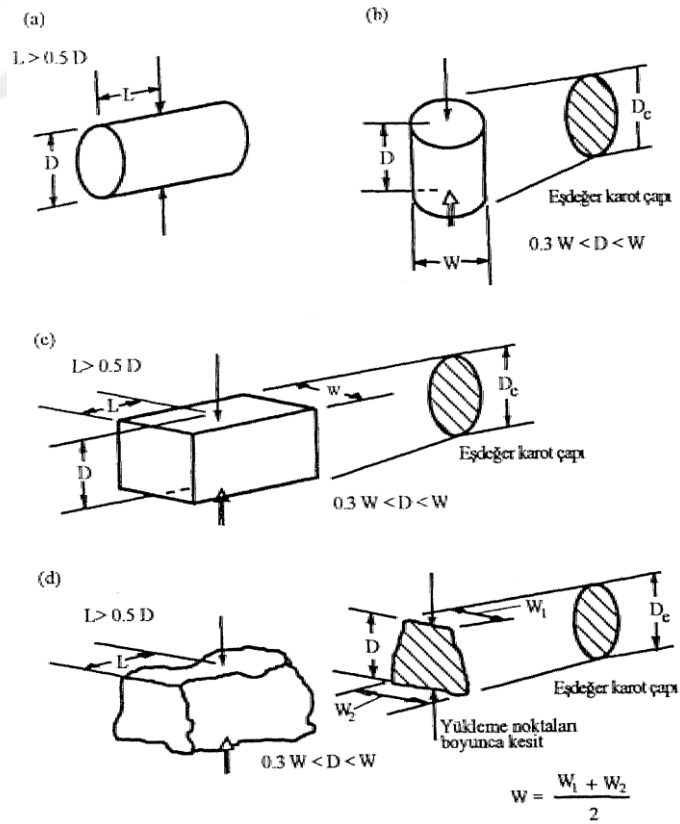
Şu an yaygın olarak kullanılan nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının tamamı yükleme sistemi, yük göstergesi ve konik başlıklardan oluşmaktadır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Bazı klasik (mevcut) nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının görünüşü

1.1. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi Deneyi

Nokta yükleme dayanım indeksi deneyinde karot örnekler (çapsal ve eksenel deneyler için), kesilmiş blok örnekler veya düzensiz boyutlu örnekler kullanılabilir. Deney tiplerine göre gerekli olan örnek boyutları Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11. Nokta yükleme dayanımı deneyi için gerekli (a) çapsal; (b) eksenel; (c) blok ve (d) düzensiz örnek boyutları (ISRM, 1985; 2007)

1.1.1. Çapsal deney (karot eksenine dik)

Bu deney için karot örneği uzunluğunun çapına oranı (L/D) 1'den büyük olması gerekmektedir. Boyutları ölçülen ve konik başlıklar arasına karot eksenine dik yönde yerleştirilen kayaç örneği belirli bir süre içerisinde (10-60 s) kırılır ve yenilme yükü yük göstergesinden okunur. Kayacın yenildiği yük kaydedilir. Deney örneği heterojen ve anizotrop ise deney 10 kez tekrarlanır. En büyük ve en küçük 2'ser değer atılır. Kalan 6 değer aritmetik ortalaması alınır.

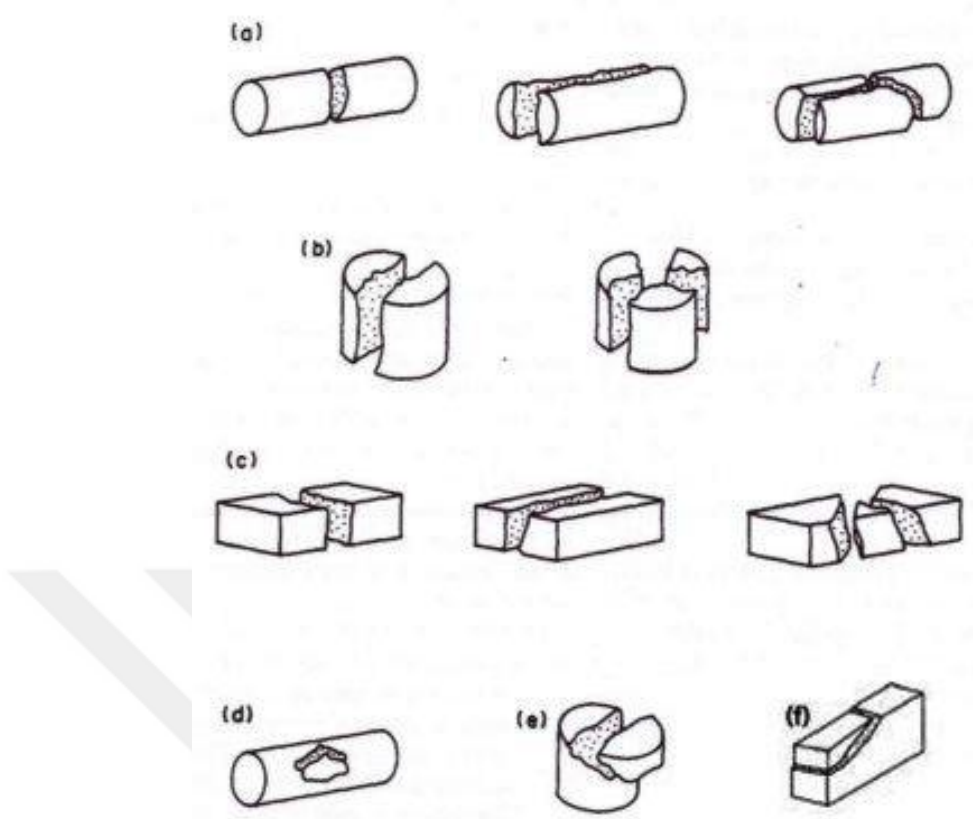
1.1.2. Eksenel deney (karot eksenine paralel)

Bu deneyde karot uzunluğunun çapına oranı (L/D) 0,3-1 arasında olmalıdır. Boyutları ölçülen ve konik başlıklar arasına karot eksenine paralel yönde yerleştirilen kayaç örneği belirli bir süre içerisinde (10-60 s) kırılır ve yenilme yükü yük göstergesinden okunur. Kayacın yenildiği yük kaydedilir. Deney örneği heterojen ve anizotrop ise deney 10 kez tekrarlanır. En büyük ve en küçük 2'ser değer atılır. Kalan 6 değer aritmetik ortalaması alınır.

1.1.3. Blok ve düzensiz örneklerle deney

Bu deneyde 50 mm $\pm$ 35 mm boyutundaki örnekler kullanılmalıdır. Blok ve düzensiz örneklerde kalınlığın genişliğe oranı (D/W) 0,3-1 arasında olmalıdır. Kayacın kenarından yükleme noktasına kadar olan uzunluk ise en az kalınlığın yarısı kadar olmalıdır. Boyutları ölçülen ve konik başlıklar arasına yerleştirilen kayaç örneği belirli bir süre içerisinde (10-60 s) kırılır ve yenilme yükü yük göstergesinden okunur. Kayacın yenildiği yük kaydedilir. Deney örneği heterojen ve anizotrop ise deney 10 kez tekrarlanır. En büyük ve en küçük 2'ser değer atılır. Kalan 6 değer aritmetik ortalaması alınır.

ISRM (1985; 2007) tarafından deneyin geçerli olabilmesi veya geçersiz sayılması gerektiği yenilme tipleri Şekil 1.12'de verilmiştir. Özellikle yenilme yüzeyinin hiçbir yükleme noktasından geçmemesi yenilmenin geçersiz sayılması için yeterlidir.



Şekil 1.12. Geçerli ve geçersiz deneyler için yenilme şekilleri: (a) çapsal deney için geçerli, (b) eksenel deney için geçerli, (c) blok örnekler için geçerli, (d) çapsal deney için geçersiz, (e) eksenel deney için geçersiz, (d) blok örnekler için geçersiz (ISRM, 1985; 2007)

Deney tamamlandıktan sonra öncelikle düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı Eşitlik 1.2 ile hesaplanır:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (1.2)$$

Burada, I_s düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (MPa), P yenilme yükü (kN, kgf vs.), D_e ise eşdeğer karot çapıdır (mm). Eşdeğer karot çapı çapsal örnekler için Eşitlik 1.3 ile hesaplanmaktadır:

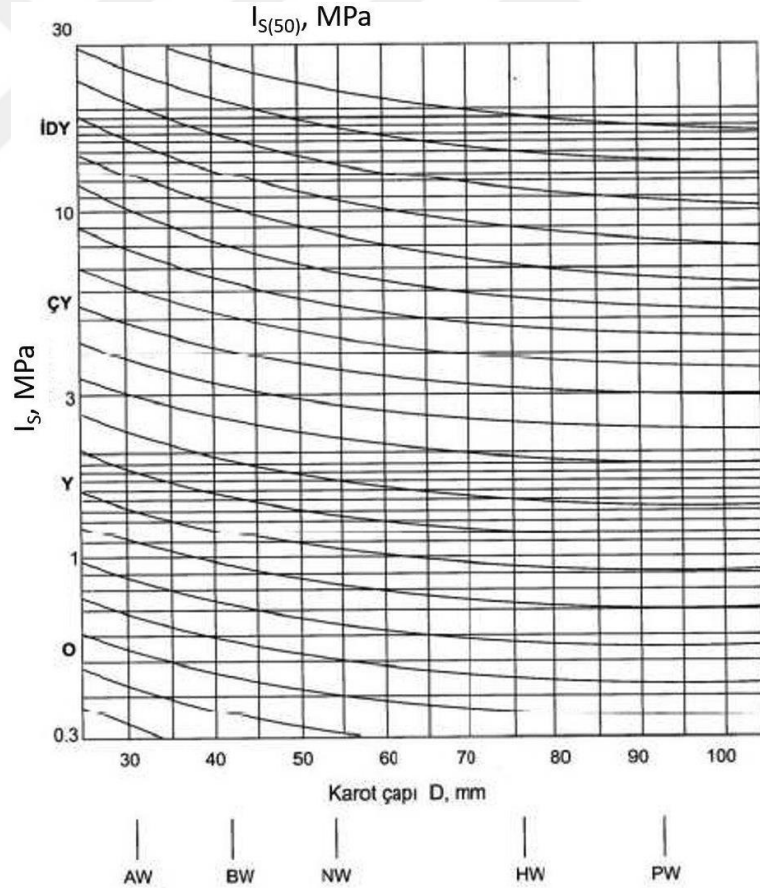
$$D_e^2 = D^2 \quad (1.3)$$

Burada, D_e eşdeğer karot çapı (mm) ve D ise karot çapıdır (mm). Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde ise Eşitlik 1.4 ile hesaplanmaktadır:

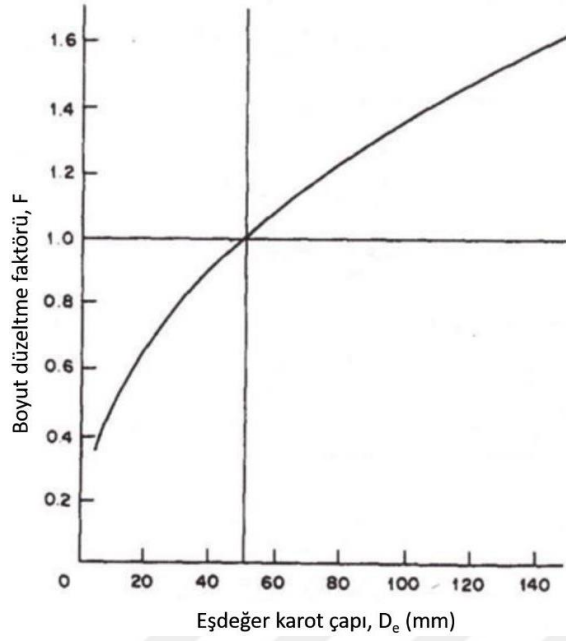
$$D_e^2 = \frac{4 \times A}{\pi} \quad (1.4)$$

Burada, D_e eşdeğer karot çapı (mm), A ise konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanıdır.

I_s değeri; çapsal deneyde D 'nin, diğer deney türlerinde ise D_e 'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle I_s değerinin standart bir karot çapına ($D = 50$ mm) göre düzeltilmesi gerekir. Bu amaçla hazırlanmış monogram (Şekil 1.13) ya da grafik (Şekil 1.14) kullanılarak düzeltilmiş $I_{s(50)}$ değeri belirlenir.



Şekil 1.13. Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı indeksi $I_{s(50)}$ belirleme nomogramı (Brock ve Franklin, 1972) (O: Orta; Y: Yüksek; ÇY: Çok yüksek; İDY: İleri derecede yüksek)



Şekil 1.14. Boyut düzeltme faktörü grafiği (ISRM, 1985; 2007)

Nomogram yoksa düzeltme faktörü Eşitlik 1.5 ile, düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı ise Eşitlik 1.6 ile hesaplanmaktadır:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (1.5)$$

$$I_{s(50)} = I_s \times F \quad (1.6)$$

Burada, $I_{s(50)}$ düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı (MPa), F düzeltme faktörü, I_s düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı, D_e eşdeğer çaptır (mm).

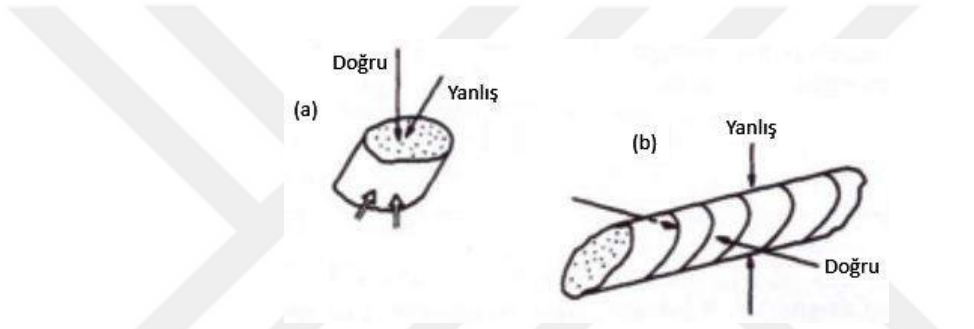
1.1.4. Anizotrop kayaçlarda deney

Kayaç örneği şeyl ya da laminalı, şistozite yüzeyleri içeren veya gözle ayırt edilemeyecek ölçüde anizotropiye sahip bir kayaç ise en yüksek ve en düşük dayanım değerlerinin belirlenebilmesi için anizotropi düzlemlerine hem dik hem de paralel yönde deney yapılmalıdır.

Anizotropi gösteren örnekler sondajdan alınmış karot örnekleri ise bir dizi çapsal deney yapıldıktan sonra, bu deney sırasında örneklerin parçalanması sonucunda elde edilen daha küçük örnekler üzerinde eksenel deneyler yapılabilir.

En iyi sonuçlar karot eksenine zayıflık düzlemine dik olduğu durumlarda elde edilir. Dolayısıyla mümkün olduğu takdirde karotlar bu yönde alınmalıdır. Karot eksenine ile zayıflık düzleminin normali arasındaki açı tercihen 30°'yi aşmamalıdır.

En yüksek dayanım yönündeki nokta yükleme dayanımı belirlenirken yüklemenin zayıflık düzlemine dik olacak şekilde uygulanmasına dikkat edilmelidir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Anizotrop kayaçlarda yapılacak deneyler için yükleme yönleri (ISRM, 1985; 2007)

Dayanım anizotropisi indeksi ($I_{a(50)}$), zayıflık düzlemine dik ve paralel yönde ölçülen $I_{s(50)}$ değerlerinin oranı olup, $I_{a(50)} = 1$ koşulu kayacın izotrop; $I_{a(50)} > 1$ ise anizotrop olduğunu gösterir (Eşitlik 1.6):

$$I_{a(50)} = \frac{I_{s(50)}(\text{dik yönde})}{I_{s(50)}(\text{paralel yönde})} \quad (1.6)$$

Bu tez çalışmasında, farklı klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarında aynı kayaç örnekleri üzerinde aynı kişi (operatör) tarafından nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar (farklılıklar ve/veya benzerlikler) irdelenmiş ve klasik nokta yükleme deney cihazının (KNY) gerek cihazdan kaynaklı ve gerekse de deneyi uygulayan operatörden kaynaklı hataları ve sakıncaları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde yukarıda bahsi geçen KNY'nın

hataları ve sakıncaları sayısal olarak da ifade edilerek vurgulanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla andezit, bazalt, granit, mermer ve kireçtaşı gibi farklı dayanım değerlerine sahip kayalar belirlenerek aynı geometrik boyutlarda örnekler hazırlanmıştır. Kayalardaki anizotropi özelliğini de dikkate alarak aynı yükleme düzleminde olabildiği şekilde numune seçimi ve laboratuvarında örnek hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada amaç anizotropi özelliğinin etkisini minimum seviyeye indirmektir. Daha sonra mevcut KNY’nda yapılan deneyler sonucunda belirlenen hataları ve sakıncaları giderici modifikasyonlar uygulanarak, yeni bir nokta yükleme deney cihazı tasarlanıp imal ettirilmiş ve yeni nokta yükleme deney cihazı (YNY) üzerinde aynı kaya örnekleri üzerinde aynı kişi (operatör) tarafından deneyler tekrarlanmıştır. Böylelikle daha hassas bir deney sistemiyle gerçeğe daha yakın değerler, operatör hatasından arındırılmış ve sabit yükleme hızıyla yenilme yükleri elde edilebilmiştir. Aynı kayaya ait örneklerin KNY ve YNY kullanılarak elde edilen deney sonuçları karşılaştırılarak değerlendirmeleri yapılmıştır. KNY’ndan kaynaklı hataların ne kadarının önlenemediği tartışılarak ISRM tarafından (1985; 2007) önerilen nokta yükleme dayanımı deneyi içeriği irdelenerek mevcut deney metodolojisi tekrar değerlendirilmiştir. Bu veriler ışığında KNY kullanılarak elde edilmiş ve farklı fiziksel ve mekanik özelliklerin kestirimine de konu olmuş, nokta yükleme dayanımına bağlı görgül eşitliklerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde, çeşitli mühendislik yapılarında, tünellerde, kaya kütle ve kazılabilirlik sınıflama sistemlerinde tasarım parametresi olarak kullanıldığında güvenilirliği artmış bir nokta yükleme dayanım indeksi değeri elde etmek için çalışmalar yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde nokta yükleme dayanımı ve kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ile arasındaki ilişkileri inceleyen çok sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Fakat bu tez önerisi kapsamında çalışılması planlanan konuyla ilgili literatürde benzer 2 farklı çalışmaya rastlanılmıştır. Topal (2000) nokta yükleme dayanımı deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan ve cihazdan kaynaklı problemlere değinen, Aston vd. (1991) nokta yükleme dayanımı deneyinde kullanılan başlıkların aşınma ve kopma sonucu eskimesinin dayanım değerine ne kadar bir etkisinin olduğunu araştıran çalışmalar yapmışlardır. Bunun dışında birçok araştırmacı nokta yükleme dayanım indeksini, kayaçların tek eksenli basınç dayanımları (σ_c) ve çekme dayanımlarının (σ_t) dolaylı olarak belirlenmesinde, kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında, kayaç anizotropisinin saptanmasında, RMR kaya kütlesi sınıflamasında, tünel açma makinası hızının tahmininde, kayaçların kazılabilirlik açısından sınıflandırılmasında ve kayaçların dış etkilere karşı dayanıklılığı ile ilgili çeşitli çalışmalarda kullanmışlardır.

D'Andrea vd. (1965), "basınç dayanımının diğer kaya özellikleri ile tahmini" isimli bir rapor hazırlamışlardır. İki yıllık bir veri toplama sürecinin ardından çok geniş bir basınç dayanımı değer aralığına sahip kayaçlar üzerinde basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, özgül ağırlık, boyuna dalga hızı, kesme (makaslama) hızı, rijitlik modülü, Young modülü ve Poisson oranı değerleri için regresyon analizleri yapmışlardır. Değerlendirme sonucunda nokta yükleme dayanımının tek başına basınç dayanımını tahmin etmede güvenilir şekilde yeterli olabileceğini vurgulamışlardır. Basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanım indeksi arasında doğrusal ve kuvvetli bir ilişki ($r=0,95$) belirlemişlerdir.

Hiramatsu ve Oka (1966), iki yükleme başlığı arasına konulup sıkıştırılan şekilsiz bir örnekte meydana gelen gerilmeleri teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çekme dayanımının, deneyden elde edilen kırılma yükünün yükleme başlıkları arasındaki alana bölünmesiyle bulunan değerinin 0,9 katı olduğunu belirlemişlerdir.

Reichmut (1967), gevrek malzemelerin çekme dayanımını belirlemek için 3 farklı yöntemden bahsetmiştir. Doğrudan çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve nokta yükleme dayanımını gevrek kayaçların dayanımını belirlemek için kullanmıştır. Nokta yükleme dayanımından elde ettiği değerleri düzeltme katsayıları ile modifiye ederek sabit bir çekme dayanımı elde etmiştir.

Franklin vd. (1971), kayaçların jeolojik olarak değerlendirilmesi üzerine saha çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada temel deneyler ve gözlemler, kayaç karotiyerden çıkarıldıktan sonra olabildiğince hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Jeolojik, kırık-çatlak yapısı ve dayanım olmak üzere 3 başlık altında değerlendirmeler yapmışlardır. O güne kadar arazide dayanım belirlemek için geleneksel olarak çekiç kullanılırken veya araziden elde edilen numuneler laboratuvara götürülüp, orada karmaşık cihazlar yardımıyla dayanımları belirlenirken, Franklin vd. (1971) bu noktada arazide örnek hazırlamaya ihtiyaç olmadan hızlı ve güvenilir bir şekilde kayaçların dayanımını belirlemeye yardımcı olacak bir cihaza ihtiyaç duymuşlardır. Imperial College tarafından günümüzde de kullanılan tasarıma sahip olan seyyar nokta yükleme deney cihazı geliştirilmiştir. Cihaz hidrolik bir yükleme kolu, başlıklar, kayacın kalınlığını ölçen derecelendirilmiş bir ölçek ve uygulanan yükü gösteren bir göstergeden oluşmaktadır. Buna benzer düzensiz örnekler üzerindeki çalışmalar o dönemde ABD, Rusya ve bazı Avrupa ülkelerinde de yapılmaya başlanmıştır (çekme dayanımı vs.). Nokta yükleme deneyinin bazı önemli avantajlarını vurgulamışlardır:

- 1)** Örnek çok düşük yüklerde kırıldığı için düşük kapasiteli bir cihaz yeterli olmaktadır.
- 2)** Kayaç karotiyerden çıkarıldığı gibi doğrudan kullanılabilir, hatta kırılmış numuneler bile kullanılabilir.
- 3)** Kayacın iç kısmındaki çatlaklar ve başlıkların temas yüzeylerinin nasıl olduğu çok önemli değildir.

Karotlara uyguladıkları çapsal ve eksenel deneyler sonucunda çapsal deneyde boy/çap (L/D) oranı 1'e doğru yaklaştıkça nokta yükleme dayanımının da doğrusal bir şekilde arttığını, 1'den sonra çok anlamlı olmamakla birlikte çok değişmediğini, eksenel deneyde ise kalınlık/çap (L/D) oranı azaldıkça nokta yükleme dayanımının da

azaldığını belirlemişlerdir. Bu yüzden eksenel deneylerden elde edilen değerlerin boyut ve şekil etkisi bakımından düzeltilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Broch ve Franklin (1972), kayaçları dayanımlarına göre sınıflandırmak için indeks niteliğinde bir test yöntemi tanımlamışlardır. Yöntemde taşınabilir bir deney cihazı kullanılmaktadır. Yöntemde numuneler karotiyerden çıkarıldıkları şekilde veya şekilsiz parçalar olarak kullanılabilir. Nokta yükleme dayanım indeksi, deney örneği belirlenen boyut sınırı içerisinde olması halinde ve gerekli düzeltme yapılarak elde edilmektedir. Özellikle çapsal deneyden elde edilen sonuçların, tek eksenli basınç dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlarla yakından ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Mevcut test yöntemini, şekil ve boyut etkisi, anizotropi ve su içeriğinin dayanımı nasıl etkilediği açısından incelemişler ve standart bir test yöntemi önermişlerdir. Dolerit ve kumtaşı üzerinde 38 mm'lik karotlar kullanarak ve L/D oranlarını değiştirerek çapsal deneyler uygulamışlardır. L/D oranı 0,5'i aştıktan sonra nokta yükleme dayanımının bu orandan ve yüzey koşullarından etkilenmediğini, 0,5'e kadar doğrusala yakın bir ilişki olduğunu belirlemişler ve bir boyut düzeltme işlemi uygulanması gerektiğini önermişlerdir. Aynı bloktan hazırlanmış örnekler üzerinde 5 farklı kayaç türü için 5 farklı çapta (15,5-76 mm) her bir çap için 16'şar deney yapmışlardır. Küçük çaplarda (12,5–25 mm) değişimin yüksek olduğunu, çap büyüdükçe bu değişimin daha yumuşak olduğunu belirlemişlerdir. Nokta yükleme dayanımının standart bir çap değerine (50 mm için) düzeltilmesini önermişlerdir. O günün şartlarında arazide en çok elde edilen çap değerlerinin ortasında bir değer olan 50 mm'yi standart çap değeri olarak belirlemişlerdir. Eksenel yükleme için de 38-54 mm çaplarında karotlardan 6 farklı L/D oranı için örnekler hazırlamışlardır. Deneyler sonucunda eksenel yükleme için L/D oranını 1,1 olarak önermişlerdir. Çalışma sonunda çapsal yükleme yapıldığında örneklerin dayanım değerlerinin eksenel yüklemedekine göre şekil ve boyut etkisinden daha az etkilendiği, değişimin daha makul olduğunu belirlemişlerdir. Bu yüzden dayanım için bir sınıflama yapılacaksa çapsal deneyi, anizotropinin dayanıma etkisi araştırılırsa eksenel deneyi önermişlerdir. Anizotropinin tespiti için örnekleme ve deney yükleme koşullarını belirlemişlerdir. Prizmatik örnekler için L/D oranını 1–1,4 arasında, şekilsiz örnekler için 1 olarak önermişlerdir. Şekilsiz örneklerde D=50 mm'ye ne kadar yakın olursa o

kadar güvenilir sonuçlar alınacağını söylemişlerdir. Son olarak da nokta yükleme dayanımının basınç dayanımına göre avantajlarının aşağıdaki şekilde sıralanabileceğini söylemişlerdir:

- 1) Düşük yüklerde yenilme gerçekleştiği için küçük ve seyyar bir deney cihazı yeterlidir.
- 2) Karot veya şekilsiz numuneler direk elde edildikleri şekilleriyle kullanılabilir.
- 3) Daha ekonomik olduğu için daha fazla deney yapılabilir.
- 4) Hassas kırılğan numuneler üzerinde deneyler yapılabilir.
- 5) Elde edilen değerlerin saçılımı basınç dayanımından elde edilenlere göre daha küçüktür.
- 6) Anizotropinin dayanıma etkisini ölçmek daha basittir.

Kumtaşı kullanarak L/D oranı 2 olan örnekler çapsal nokta yükleme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulamışlardır. Sonuçlara baktıklarında nokta yükleme deneyinde elde edilen sonuçların standart sapması 3,7 iken, basınç dayanımından elde edilen sonuçların standart sapması 18,8 olarak hesaplanmıştır. Nokta yükleme dayanımı ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemek için de 38 mm çapındaki örnekler kullanılarak deneyler yapmışlar ve nokta yükleme dayanımı değerlerini 50 mm çaptaki örnek için düzelttikten sonra aralarında 0,88'lik bir korelasyon katsayısı hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda son olarak nokta yükleme dayanımı için bugün de hala kullanılan deney yöntemini ve basınç dayanımının tahmini için $\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$ eşitliğini önermişlerdir.

Geological Society Engineering Group (1972), hazırladıkları bir raporda basınç dayanımı tahmininde nokta yükleme dayanımından elde edilen değerlerin bir dönüşüm katsayısı ($K=16$) ile çarpılarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Guidicini vd. (1973), 7 farklı türdeki kayaç üzerinde deneyler yapmışlardır. Literatüre benzer şekilde nokta yükleme dayanımının basınç ve çekme dayanımını tahmin etmede boyut düzeltmesi yapılarak kullanılabilir olduğunu söylemişlerdir.

Bieniawski (1974), arazide 4 farklı kayaça ait (kumtaşı, kuvarsit, zayıf norit, sağlam norit) karot örnekleri üzerinde deneyler yapmıştır. Elde ettiği nokta yükleme dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve Broch ve Franklin (1972) ve D'Andrea vd. (1965) ile benzer sonuçlar bulmuştur. Basınç dayanımının tahmini için $\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$ eşitliğini önermiştir. 3 farklı çapta (21,5-42-54 mm) deneyler yaparak boyut etkisini incelemiştir. Araziden elde ettiği nokta yükleme dayanımı değerlerini kullanarak elde ettiği basınç dayanımı değerlerini yenilme kriterlerini hesaplamada kullanmış ve doğruluğu yüksek sonuçlar bulmuştur. Aynı zamanda nokta yükleme dayanımının Broch ve Franklin (1972) ile benzer avantajları olduğunu söylemiştir.

Bieniawski (1975), yaptığı çalışmada karot örnekleri ve düzensiz örnekler üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri yaparak basınç dayanımı ile arasındaki ilişkiyi ve 21,5-42-54 mm çapındaki örnekler deneyler uygulayarak boyut etkisini incelemiştir. Jeoteknik uygulamalarda nokta yükleme dayanımının pratik olarak kullanılabileceğini söylemiştir.

Pells (1975), 14 farklı kayaç üzerinde nokta yükleme ve basınç dayanımı deneyleri yapmıştır. Mevcut önerilen eşitlikleri kullanarak ($\sigma_c=24 \times I_{s(50)}$) basınç dayanımını tahmin etmiş ve ölçülen ile tahmin edilen basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bulduğu deneysel ve teorik basınç dayanımı değerleri için hata oranlarını hesaplamıştır. Bazı kayaçlar için hata payını % 20'nin altında, bazı kayaçlar için de % 20'nin üzerinde hesaplamış ve kullanılan eşitliğin güvenilirliğini araştırmıştır.

Brook (1977), düzensiz örnekler kullanarak nokta yükleme, sıkıştırma, darbe ve sertlik deneyleri gerçekleştirmiş, elde ettiği sonuçları hassas bir şekilde değerlendirmiş ve birbirleriyle ilişkilerini incelemiştir. Yaptığı değerlendirme sonucunda nokta yükleme dayanımının madenlerin tasarımında kullanışlı bir ölçek olabileceğini söylemiştir.

Botsen (1977), taşınabilir nokta yükleme deney cihazını, deneyin uygulanışını ve avantajlarını anlattığı bir çalışma yapmıştır.

Wijk vd. (1978), granit kullanarak yaptıkları çalışmada, basınç dayanımının örnek hacminden bağımsız olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, nokta yükleme dayanımı deneyleri yaparak elde ettikleri değerlerden çekme dayanımını dolaylı olarak belirlemişler ve örnek hacmi arttıkça dayanım değerinin de düştüğünü belirlemişlerdir. Elde ettikleri bu sonuçları teorik olarak da incelemişler ve tek eksenli basınç dayanımının kayacı oluşturan taneler içindeki en zayıf bağın değeri olduğunu söylemişlerdir.

Al-Jassar ve Hawkins (1979), 3 farklı boyuttaki küp ve karot örneklerine nokta yükleme dayanımı deneyleri uygulamışlar, D (çap=kalınlık) arttıkça nokta yükleme dayanımı değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca bu değerler ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişler ve dönüşüm katsayısının 10-29 arasında değiştiğini vurgulamışlardır.

Brook (1980), farklı kireçtaşı ve kumtaşı örnekleri üzerinde şekil ve boyut etkisini belirlemek için bazı testler yapmış ve kesit alanı üzerinde durmuştur. Broch ve Franklin (1972)'nin önerdiği 50 mm çapa göre düzeltme faktörünün tabakalı kayalarda uygulanmasının zor olduğunu savunmuştur. Mevcut çalışmalardaki sonuçları değerlendirerek farklı boyutlardaki rijit, sağlam kayalarda nokta yükleme dayanımının sabit olduğunu varsayarak, deformasyonun sadece yükleme noktalarına çok yakın yerlerde olduğunu söylemiştir ve en küçük kesit alan ve uygulanan yük arasında bir bağıntı önermiştir. Bu bağıntıdan elde ettiği en küçük alanlarla yenilme yükleri arasındaki ilişkileri incelemiş ve kuvvetli ilişkiler belirlemiştir. Sabit bir çaptansa sabit bir kesit alanı olması gerektiğini söylemiş ve 500 mm² kesit alanı seçerek bunun için yeni bir eşitlik önermiştir. Bu eşitliği kullanarak hesapladığı nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve kuvvetli doğrusal bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin de $\sigma_c = 12,5 \times T_{(500)}$ şeklinde olduğunu önermiştir. Brook (1980), eşitlikte 12,5 çarpanına ulaşırken Bieniaswki'nin kullandığı 15 farklı kayacın, D'Adrea'nın kullandığı 49 farklı kayacın, kendisinin kullandığı 40'tan fazla kayacın deney sonuçlarını harmanlamıştır. Sonuç olarak deneyin 25 mm çapındaki örnekler üzerinde yapılmasını, eksenel yüklemelerde kalınlığın 20 mm olmasını, daha büyük çaplarda örneklerde 50 mm düzeltmesinin uygulanmasını

önermiş ve tek eksenli basınç dayanımı tahmininde hata payının % 10'nun altında kaldığını belirtmiştir.

Wijk (1980), çekme dayanımının nokta yükleme dayanımı ile tahminini teorik olarak açıklayan bir çalışma yapmıştır. Teorik olarak elde edilen kayacın dayanımının, örneğin şekline bağlı olduğu sonucunun pleksiglas ve kayalardan elde edilen deneysel sonuçlarla da uyumlu olduğunu belirlemiştir.

Hassani vd. (1980), ulusal bir projenin parçası olan çalışmalarında Minnesota Üniversitesinin kampüsünde gerçek ölçekte (30 m × 15 m × 2,6 m) yüzeye yakın bir yerden açılan test açıklığında ölçümler yapmışlardır. Nokta yükleme deney cihazının portatif olması, örnek hazırlama gerektirmemesi, farklı şekil ve boyutta örnekler üzerinde deney yapılabilmesinin avantajlarından faydalanarak yerinde ölçümler yapmışlardır.

Greminger (1982), 4 farklı kayaç türü (2 farklı gnays, kumtaşı, sleyt) üzerinde anizotropinin şekil ve boyut etkisine bağlı olarak nokta yükleme dayanımını nasıl etkilediğini belirlemek için deneyler yapmıştır. Etkinin anizotropinin derecesine ve yükleme konumuna bağlı olarak değiştiğini, değişimin (<1 MPa) indeks bir deney için kabul edilebilir olduğunu söylemiştir. Mümkün olduğu durumlarda 50 mm çapında örnekler kullanılmasını, olmadığı durumlarda $1 \leq L/D \leq 3$ şartını sağlayan minimum 30 mm çapında örnekler kullanılmasını önermiştir. Anizotropi oranının >1,1 olması durumunda hata oranının çok yükseldiğini, bulunan değerlerin basınç dayanımı değeriyle birlikte kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Forster (1983), nokta yükleme dayanımı için 3 temel problem (anizotropik kayalarda çapsal deney, eksenel deney için örnek geometrisi, $\sigma_c/I_{s(50)}$ ilişkisi) belirlemiştir. 7 farklı türdeki kayaç üzerinde farklı boy/çap oranlarındaki örneklerde deneyler yapmış ve önceki çalışmalara benzer sonuçlar elde etmiştir. Eksenel deney için $0,5 < L/D < 1$ ve $D > 30$ mm olması gerektiğini söylemiş ve eksenel deney için $D < 50$ mm ve $D > 50$ mm durumları için 2 farklı eşitlik önermiştir. Doğru $\sigma_c/I_{s(50)}$ oranını belirlemek için

minimum 20 eksenel deney ve 5 basınç dayanımı deneyi yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Broch (1983), yaptığı çalışmada kayacın anizotropisini belirlemek için kayalardan birbirine dik farklı yönlerde karotlar alıp deneyler yapmak gerektiğini fakat nokta yükleme dayanımı kullanılacak olursa tek bir karota önce çapsal deney daha sonra kalan parçalara eksenel deney uygulayarak tek bir örnekten anizotropinin belirlenebileceğini söylemiştir. Deneyleri 33 farklı kayaç üzerinde yapmıştır. Örnekler hazırlanırken, karot alınırken, zayıflık düzlemine en fazla 30° açıyla kesilmesi gerektiğini önermiştir. Çapsal deneyde ISRM (1973)'in önerdiği yöntemin kullanılması gerektiğini ve eksenel deneyde $0,5 D < L < D$ olması gerektiğini söylemiştir.

Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Topluluğu (International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering – ISRM), 1985 yılında mevcut deney yöntemini güncellemiştir. Deney cihazı, başlık geometrisi, örnek geometrisi, geçerli kırılma modları daha detaylı bir şekilde anlatılmış, eşdeğer karot çapı tanımlanmış ve açıklanmıştır.

Abbs (1985), yaptığı çalışmada $\sigma_c/I_{s(50)}$ oranının 16-24 arasında değiştiğini belirlemiştir. Deney cihazının hafif ve basit olmasından dolayı çok sayıda arazi çalışması yapmıştır. Zayıf ve gözenekli kireçtaşlarında $\sigma_c/I_{s(50)}$ oranının 3,7'ye kadar düştüğünü fakat bu oranının 2,7 ile 8,8 arasında değişmesinden dolayı zayıf kireçtaşlarında bu orana sadık kalmanın uygun olmayacağını söylemiştir.

Brook (1985), yaptığı çalışmada bugüne kadar olan boyut ve şekil düzeltme faktörlerini bir arada toplamış ve bir değerlendirme yapmıştır. Eşdeğer çap ifadesini kullanmış ve tanımlamıştır. Kayaçların $I_{s(50)}$ ve eğilme dayanımı (σ_{eg}) arasında anlamlı bir ilişki bulmuş ve aralarındaki oranın 3 olduğunu belirlemiştir.

Türk ve Dearman (1985), çalışmalarında çapları 12,5 mm ile 50 mm arasında değişen 66 adet şekilsiz dolerit ve çapları 15 mm ile 40 mm arasında değişen çok sayıda karot ve farklı kalınlıktaki prizmatik örnekler üzerinde yapılmış deney sonuçlarını

değerlendirmişlerdir. Farklı çap değerleri ile nokta yükleme dayanımı değerlerinin log-log grafiği çizildiğinde doğrusal bir ilişki olduğunu görmüşlerdir. Her 3 farklı geometride örnek kullanılarak elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğunu belirlemişler ve nokta yükleme dayanımı belirlenirken 3 geometrinin de uygulanabileceğini söylemişlerdir.

Norbury (1986), ISRM (1985)'in önerdiği standardı özetlemiş ve yöntemin 12 yılın sonunda artık kabul edildiğini, sadece eksenel yöntemde anizotropiden dolayı bazı zorluklarla karşılaşıldığını söylemiştir. Şekil ve boyut etkisi için yapılan çalışmalar arttıkça bir revizyon olabileceğini belirtmiştir. Aynı sahanın 2 farklı bölgesi için yaptıkları çalışmada dönüşüm katsayılarını (K) ilki için 13-50 arasında, ikincisi için de 3-80 arasında belirlemiştir.

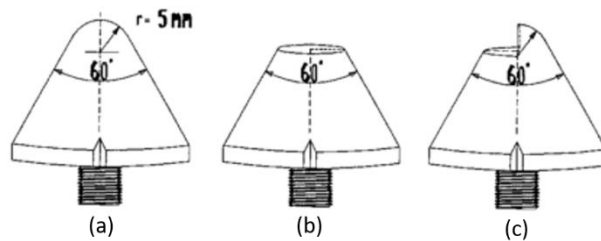
Vallejo vd. (1989), basınç dayanımını tahmin etmek için nokta yükleme dayanımı ile arasındaki ilişkileri araştıran bir çalışma yapmışlardır. En çok kullanılan ve kabul görmüş olan $\sigma_c = 24 \times I_{s(50)}$ eşitliğini yani 24 olan dönüşüm katsayısını test edebilmek için Appalachian bölgesine ait olan şeyl ve kumtaşı örnekleri üzerinde çalışmalar yapmışlar ve dönüşüm katsayısını şeyl için 12,5, kumtaşı için 17,4 olarak belirlemişlerdir.

Edet ve Teme (1990), şekilsiz Nijerya kireçtaşı örneklerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmışlar ve şekil ve boyut etkisini incelemişlerdir. Deere ve Miller (1966), Turk ve Dearman (1985) tarafından önerilen kaya sınıflama sistemlerinde küçük modifikasyonlar uygulamışlardır. Araziden elde edilen sonuçların Nijerya kireçtaşı için doğrudan sınıflama sistemlerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kaya kalitesinin belirlenebilmesi için nokta yükleme dayanımının kullanıldığı bir diyagram önermişlerdir.

Cargill ve Shakoore (1990), 8 adet kumtaşı, 3 adet kireçtaşı, dolomit, mermer, siyenit ve gnays kayaçlarını kullanarak yaptıkları çalışmada tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, Los Angeles aşınma dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Nokta yükleme

dayanımı ve Schmidt çekici sertliği ile güçlü doğrusal bir ilişki belirlemişler fakat sertlik değerinin kayacın cinsine bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Nokta yükleme dayanımı ile aşınma dayanımı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasında anlamlı bir ilişki olmadığını belirlemişlerdir.

Aston vd. (1991), nokta yükleme dayanımında kullanılan başlıkların aşınma ve kopma sonucu eskimesinin dayanım değerine ne kadar bir etkisi olduğunu araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Bunun için orta sertlikte bir kumtaşını temsil edecek çimentodan yapay örnekler imal etmişlerdir. Dört farklı geometrik şekilde (düzeltilmiş ve düzeltilmemiş silindirik ve prizmatik) örnekler hazırlamışlardır. Aşınmanın etkisini görmek için yükleme başlığını temas yüzeyi orijinal halinden 16 kat daha fazla olacak şekilde aşındırmışlar, parça kopma etkisini görmek için de başlığın % 50'lik kısmını almışlardır (Şekil 2.1). Deneylerden elde ettikleri sonuçlara 54 mm çap için düzeltme uygulamışlardır. Çekme dayanımı tahmini için elde edilen sonuçları 2,78 ile basınç dayanımı tahmini için de 29,24 ile (Hassani et al., 1980) ve (Bieniawski, 1975) 2,28 ve 24 ile çarpmışlardır ve hesapladıkları sonuçları karşılaştırmışlardır. Orijinal uç ile aşınmış uç ve parça koparılmış uç kullanılarak elde edilen sonuçları incelediklerinde aşınmış uçtan elde edilen değer 1,38 kat daha fazla, parça koparılmış uçtan elde edilen değer ise 0,70 oranında daha az olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonunda 2 soru sormuşlardır. (1) Uçtaki ne kadarlık aşınma kabul edilebilir? (2) Deney sonuçlarındaki gerekli/yeterli doğruluk nedir?



Şekil 2.1. Aşınmanın etkisini görmek için kullandıkları 3 farklı başlık (a) orijinal başlık, (b) temas yüzeyi orijinal halinden 16 kat daha fazla olacak şekilde aşındırılmış başlık, (c) % 50'lik kısmı alınmış başlık (Aston vd., 1991)

Ghosh ve Srivastava (1991), anizotropisi ve yapraklanması gözle görülen, çapları 30-56 mm arasında değişen, 22 granit numunesi üzerinde nokta yükleme dayanımı, tek

eksenli basınç dayanımı ve Schmidt çekici sertlik deneyleri yapmışlardır. Başlıklar arasındaki mesafe azaldıkça yenilme yükünün ve düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımının da azaldığını belirlemişlerdir. Örnek boyutu için kalınlığının 40-50 mm arasında alınmasını önermişler, bunun dışındaki boyutlarda saçılımın çok fazla olduğunu söylemişlerdir. Tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için dönüşüm katsayısını 16 olarak belirlemişlerdir. Tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında güçlü ilişkiler belirlemişler ve Broch ve Franklin (1972)'in sınıflamasından esinlenerek bir dayanım sınıflaması yapmışlardır.

Panek ve Fanon (1992), 3 farklı sert kayaç türü (demirli oluşum, metadiyabaz, bazalt) üzerinde, çapı yaklaşık 250 mm'ye kadar çıkan (çoğunlukla 28-51-145 mm çapında) şekilsiz 500'den fazla örnek üzerinde, arazide portatif bir deney cihazı üzerinde deneyler yapmışlar ve şekil etkisini incelemişlerdir. Ayrıca araziden elde ettikleri numunelere basınç ve çekme dayanımı deneyleri uygulayarak önerdikleri farklı eşitlikler yardımıyla dayanımlarını belirlemişlerdir.

Grasso vd. (1992), yaptıkları çalışmada indeks testlerin kaya özelliklerini tahmin etmede çok kullanışlı ve pratik olduğunu fakat bununla birlikte her birinin dikkat edilmesi gereken kendine has problemleri olduğunu vurgulamışlardır. Kaya özelliğini tahmin etmede yapılacak bir hatanın kayacın jeomekanik sınıflamasından çok tahkimat tasarımı, kazıcı ekipman seçimi gibi durumlar için daha çok önem arz ettiğini ifade etmişlerdir. Orta dayanıma sahip bir kayaç için kazıcı ekipman seçiminde meydana gelebilecek % 20-40 arasında bir hatanın, ekipman işletme, bakım onarım, üretim vb. için harcanan giderler ve zaman açısından bir felaketle sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla kireçtaşı üzerinde nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, sismik hız deneyleri yaparak basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır.

Singh ve Singh (1993), 10 farklı bölgeden kuvarsit numuneleri alarak, 54 mm çapında örnekler hazırlayıp, bu örnekler üzerinde nokta yükleme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Basınç dayanımını tahmin etmek için dönüşüm katsayısını 23,37 olarak belirlemişlerdir.

Abdallah (1993), 4 farklı kayaç türü (granit, kireçtaşı, 2 farklı kumtaşı) için farklı kalınlıklarda şekilsiz ($D=10-80$ mm) ve karot ($D=10-100$ mm) örnekleri üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımının kalınlığı 10 mm'nin altında olan örneklerde yapılan deneylerde çok hassas bir şekilde değiştiğini, kalınlığı 70 mm'nin üstünde olan örneklerde ise herhangi bir değişiklik olmadığını, boyut etkisinden bağımsız olduğunu belirlemişlerdir. Bunun sonucunda da $10 \text{ mm} < D < 70 \text{ mm}$ olmasını önermişlerdir (Burada D başlıklar arasındaki mesafeyi temsil etmektedir).

Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society for Testing and Materials – ASTM), 1995 yılında mevcut deney yöntemini değerlendirmiştir. Deney cihazı, başlık geometrisi, örnek geometrisi, geçerli kırılma modları daha detaylı bir şekilde anlatılmış, eşdeğer karot çapı tanımlanmış ve açıklanmıştır. Konik başlıkların uç kısmının yine sertleştirilmiş çelikten veya ISRM (1985)'ten farklı olarak belli bir Rockwell sertlik (HRC 58) değerinde olması önerilmiştir.

Aggistalis vd. (1996), bazalt ve gabro kullanarak yaptıkları çalışmada nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, Young modülü ve mineralojik özellikleri ile basınç dayanımı arasında çoklu regresyon analizleri yapmışlardır. Analizler sonucunda yüksek sayılabilecek (0,54-0,89) korelasyon katsayıları elde etmişlerdir.

Chau ve Wong (1996), yaptıkları teorik çalışmayı, granit ve tüf örnekleri üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalarla destekleyerek basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Teorik eşitliklerinde dönüşüm katsayısını 14,9, yaptıkları deneysel çalışma sonucunda 12,5 olarak belirlemişlerdir. Broch ve Franklin (1972)'in önerdiği dönüşüm katsayısını (24) güvensiz bulmuşlar ve doğrudan kullanılmasının uygun olmadığını savunmuşlardır.

Smith (1997), yaptığı çalışmada deniz dibinden elde edilen numunelerden 54 mm çapında örnekler hazırlayarak nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmış ve zayıf, doymuş deniz dibi kayalarında güvenilir sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Basınç

dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında ise bu tür kayaçlar için zayıf bir ilişki olduğunu görmüştür.

Hoek ve Brown (1997), kayaçların dayanımını belirlemek için laboratuvar çalışmaları ile destekledikleri saha çalışmaları yapmışlardır. Basınç dayanımının deneysel olarak belirlenemediği durumlar için nokta yükleme dayanımının da yer aldığı bir tablo önermişler fakat 25 MPa altında basınç dayanımına sahip kayaçlar için nokta yükleme dayanımının çok güvenilir olmayan sonuçlar verdiğini tablonun altına not düşmüşlerdir.

Butenuth (1997), farklı zamanlarda yapmış olduğu çalışmalardaki verileri bir araya toplamış ve nokta yükleme dayanımı ve çekme dayanımı değerlerinden doğrudan çekme dayanımı değerini tahmin etmeye çalışmıştır. Tahmin ettiği değerlerle de doğrudan çekme dayanımı deneyinden elde etmiş olduğu değerlerle arasındaki ilişkiyi incelemiş ve aralarında doğrusal ilişkiler olduğunu görmüştür. Ayrıca, doğrudan çekme dayanımı değerinin örnek boyutundan bağımsız olduğunu, nokta yükleme dayanımının boyut etkisine bağlı olduğunu belirlemiştir.

Vervoort ve De Wit (1997), kaya mekaniği özellikleri ile deniz dibi madenciliğini açıklayan parametreler arasındaki ilişkileri inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Dolomitik kireçtaşı, kalkarenit ve örtü toprağından oluşan kaya birimi üzerinde deneyler yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, kaya kalite göstergesi ve çatlak indeksi değerlerini belirlemişlerdir. İki üretim parametresini (hacimsel kazı oranı ve aşınma oranı) araştırmışlardır. Kaya mekaniği özellikleri ile aşınma indeksi arasında anlamlı bir ilişki olduğunu, hacimsel kazı oranı ile anlamlı bir ilişki olmadığını belirlemişlerdir.

Bowden vd. (1998), nokta yükleme dayanımı deneyinin kayaçların tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapılamadığı durumlarda (dayanımı düşük olan, kolay parçalanan, ufalanan) tek eksenli basınç dayanımı değerini tahmin etmek için kullanılan bir indeks deney olduğunu yinelemişlerdir. Zayıf kayaçlarda (<25 MPa) dönüşüm katsayısının 10-20 arasında olduğunu vurgulamışlardır. Basınç dayanımları

<5 MPa olan kayaçlar için ise genellikle 10'un altında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında da zayıf kireçtaşı ve diğer kayaçların nokta yükleme dayanımı değerlerinin yayınlanmış ve yayınlanmamış değerlerini bir araya getirerek incelemişlerdir. İlk defa operatör hatasından söz etmişler ve dikkate almışlardır. ISRM'in önerilerine katı bir şekilde bağlı kalınması halinde elde edilen sonuçların kullanışlı olabileceğini savunmuşlardır. Yaptıkları değerlendirmeler sonucunda dönüşüm katsayısının (K) maksimum 20 olduğunu, genel bir eğilimin görülmediğini, düşük dayanım değerleri için değişkenliğin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca dayanımı 3-8 MPa arasında değişen kayaçlar için hassas değerler verdiğini, çok kullanışlı bir indeks deney yöntemi olduğunu belirlemişler ve Bieniawski'nin (1975) 25 MPa'nın altında kullanılmasının uygun olmadığı tezinin doğru olmadığını kanıtladıklarını söylemişlerdir. Kullandıkları cihazın kalibrasyonunu bir yük hücresi yardımıyla kontrol etmişler ve hata payının % 1'in altında olduğunu belirlemişlerdir. Başka bir açıdan birinci elden kullandıkları 2 farklı cihaz arasında elde edilen sonuçlar arasında % 25'lik bir fark belirlemişlerdir. Kayaçların basınç dayanımının nokta yükleme dayanım indeksi kullanılarak belirlenmesinde sadece tek bir dönüşüm katsayısının kullanılmasının uygun olmadığını savunmuşlardır.

Chau (1998), yaptığı çalışmada çekme gerilmesinde örnekte oluşan gerilme dağılımlarını nokta yükleme dayanımı deneyi ile belirlemeye çalışmıştır. Deneyde başlıkların örneğe temas ettiği yerdeki gerilme dağılımlarını analitik olarak Fourier açılımı yardımıyla çözmüştür. Örneklerin ortasında meydana gelen çekme gerilmesinin Poisson oranıyla orantılı olarak azaldığını, $2L/D < 1$ için arttığını, $2L/D > 1$ için kabaca sabit kaldığını vurgulamıştır. Uyguladığı modelin deneysel olarak mermer, granit ve tüf üzerinde elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu görmüştür. Deney örneğinin merkezinde belirlediği çekme gerilmesinin Wijk (1980)'in formülündeki 3 katı olduğunu belirlemiş ve deneysel çalışmalarla dayı iyi kıyaslanabileceğini söylemiştir. Nokta yükleme dayanımı için deneysel olarak belirlenen şekil etkisini teorisi ile desteklemiştir.

Hindistan Standartlar Bürosu (Bureau of Indian Standards - BIS) (1998)'nin önerdikleri method nerdeyse birebir ISRM ve ASTM ile benzerlik göstermektedir.

Karot ve şekilsiz örnekler için ayrı 2 eşitlik önermişler ve basınç dayanımının tahmininde karot örnekleri kullanılarak bulunan nokta yükleme dayanımı değerleri için dönüşüm katsayısını 22 olarak belirtmişler, şekilsiz örnekler kullanılarak bulunan nokta yükleme dayanımı değerleri için dönüşüm katsayısını ise 15 olarak belirtmişlerdir.

Hawkins (1998), kayaların dayanımı üzerine yaptığı çalışmada tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı üzerinde çok sayıda (farklı boyutlarda, doygun-kuru vb.) çalışmadaki verileri kullanmıştır. Basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı ile arasındaki ilişkileri incelemiştir. Boyutları 30-50-70 mm olan küp örnekler ve L/D oranı 2 olan 30-50-76 mm çapındaki karot örneklerine nokta yükleme dayanımı deneyi uygulamış ve elde ettiği sonuçların basınç dayanımı ile ilişkisini incelemiştir. Karot örneklerinden elde edilen sonuçlar için dönüşüm katsayısını sırasıyla 20, 23 ve 29 olarak, küp örnekler için ise 10, 15 ve 23 olarak belirlemiştir. Doygun ve kuru basınç dayanımı değerleri ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkileri incelemiş ve dönüşüm katsayılarını belirlemiştir. Kuru verilerle hesapladığı dönüşüm katsayılarının doygun verilerle hesapladıklarının 1,5 katı olduğunu belirlemiştir. Karot ve küp örnekler üzerinde yaptığı deneylerde kalınlık arttıkça nokta yükleme dayanımı değerinin azaldığını belirlemiştir. Eksenel deneyler için de L/D oranı büyüdükçe nokta yükleme dayanımı değerinin azaldığını belirlemiştir. Nokta yükleme dayanımı değeri <2, 2-5, >5 MPa için dönüşüm katsayılarını sırasıyla kuru basınç dayanımı değerleri için 10, 16 ve 24; doygun basınç dayanımı değerleri için ise 15, 20 ve 25 olarak belirlemiştir.

Wei vd. (1999) yaptıkları çalışmada, nokta yükleme dayanımı esnasında oluşan gerilme dağılımlarını çözümlemek için yeni bir analitik çözümleme yapmışlardır. Deney esnasında yüklemenin uygulandığı eksene paralel kayacın orta bölgesinde belirli bir zonda ($z/h=0,9$) çekme gerilmesi oluştuğunu ifade etmişlerdir. En büyük çekme gerilmesi ile Poission oranı arasında ters, Young modülü ile doğrusal bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Sabit L/D oranı için en geniş kayacın en düşük nokta yükleme dayanımına sahip olduğunu, sabit çap değeri için de en ince örneğin en düşük nokta yükleme dayanımına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Örneklerin şekil ve

boyut etkisi teorilerini alçıya benzer bir malzeme üzerinde yaptıkları deneylerle desteklemişlerdir.

Bearman (1999) yaptığı çalışmada, önerilen örnek geometrisine uyulduğu takdirde nokta yükleme dayanımının Mod-I kırılma tokluğunu tahmin etmede kullanılabileceğini ifade etmiştir. Kırılma tokluğunun tahmininde karot ve düzensiz örnekler için ayrı ayrı eşitlikler önermiştir. ISRM tarafından deney metodolojisi ve dayanım anizotropisinin detaylı bir şekilde açıklandığını söylemiş, anizotropi indeksinin hem nokta yükleme dayanımı hem de kırılma tokluğu için hesaplanabileceğini ifade etmiştir.

Romana (1999) yaptığı çalışmada, kendisinin arazi sondaj loglarından elde ettiği ve yayınlardan derlediği verilerle basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiş, dönüşüm katsayısını kireçtaşı için geniş bir aralıkta 14,5-27, kumtaşı için 12-24, silttaşı ve kiltası için 10-15, tebeşir ve gözenekli kireçtaşı için 5-10 arasında değiştiğini belirlemiştir.

Tuğrul ve Zarif (1999), granitik kayalar üzerinde yaptıkları çalışmada granitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile mineralojik ve dokusal özelliklerini incelemişlerdir. Nokta yükleme ile basınç dayanımı değerleri arasında yüksek bir ilişki olduğunu ($r=0,98$), dönüşüm katsayısının da 15,25 olduğunu belirlemişlerdir.

Topal (2000) yaptığı çalışmada, tecrübe ve gözlemlerine dayanan nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan, cihaz ve operatör kaynaklı problemleri tanımlamıştır. Konik başlıklar, yağ kaçırma, gösterge hatası, yıllık bakım, örnek kalınlığını belirten ölçek hatası, yanlış cihaz tasarımını cihazdan kaynaklı olarak; kırılma süresi, konik başlıklar arasındaki mesafe, geçersiz deney, deney örneği elde etme yöntemini de operatör kaynaklı olarak tanımlamıştır. Konik başlıkların uç kısmının olması gerekenden daha küt olması durumunda, kırılma süresinin çok kısa (3-6 sn) olması durumunda gerekenden daha yüksek yenilme yükleri elde edildiğini gözlemlemiştir. Yağ kaçırma ve göstergelerin kalibre olmaması durumlarında yanlış değerler okunduğunu ifade etmiştir. Tüf örnekleri üzerinde deneyler yaparak 10,4-19,6 arasında değişen dönüşüm katsayıları belirlemiştir. Literatürdeki aksine tüf ve tebeşir gibi zayıf kayalarda tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı

arasında anlamlı ilişkiler olduğunu söylemiş bu tip zayıf kayalar için de nokta yükleme dayanımının kullanılabileceğini önermiştir.

Rusnak ve Mark (2000) yaptıkları çalışmada, 908 adet kaya birimi için 10000 örneğin deney verilerini incelemişlerdir. Basınç dayanımı ve nokta yükleme deneyi sonuçları için regresyon analizleri yapmışlardır. Kayalar genel kategorilere ayrılmış ve dönüşüm katsayıları bu kategoriler için belirlenmiştir. Genel olarak da dönüşüm katsayısı (K) olarak 21'i önermişler ve her kaya çeşidi için kullanılabılır olduğunu vurgulamışlardır. Hem basınç dayanımı hem de nokta yükleme dayanımı testinin sağlam kayaların sınıflandırılmasında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Thuro ve Plinninger (2001), boyut düzeltme etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, nokta yükleme dayanımı deneyi testleri yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları logaritmik regresyon analizi yöntemiyle bir boyut düzeltme faktörü belirlemişlerdir. Daha önceki sonuçları incelediklerinde aynı boyuttaki örnekler için çapsal deney sonuçlarından elde edilen nokta yükleme dayanımı sonuçlarının eksenel deney sonunda elde edilen sonuçlardan %30 daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Çapları 30 ile 70 mm arasında değişen örnekler üzerinde deneyler yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları logaritmik regresyon analizini kullanarak boyut etkisini ve tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Tek bir deney sonucu için tahmin modelinin uygun olduğunu, fakat farklı cihazlarda veya farklı kayalar üzerinde deney gerçekleştirildiğinde tahmin modelinin tahmin yeteneğinin düştüğünü ifade etmişlerdir. Boyut düzeltme faktörünün uygulayıcılar için her zaman bir soru işareti olacağını vurgulamışlardır.

Look ve Griffiths (2001), 4 farklı kaya (fillit, tuf, arjilit, kuvarsit) üzerinde yaptıkları nokta yükleme dayanımı deneylerinde zayıf kayalarda eksenel deneyden elde edilen değerlerin çapsal deneyden elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Hem eksenel hem de çapsal deneylerden elde ettikleri sonuçlarla basınç dayanımı değerini karşılaştırmışlardır. Değerlendirmeyi hem tüm kayaların dâhil olduğu hem de her kaya için ayrı ayrı yapmışlardır. Dönüşüm katsayısını fillit için 5, kuvarsit için 6, arjilit için 8, tuf için 18 ve genel tüm kayalar için de 11 olarak

belirlemişler ve Broch ve Franklin (1972)'nin dönüşüm katsayısının (24) her kayaç için uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

Kahraman (2001) literatürdeki yayınlardan derlediği 48 farklı kayaca ait verilerin tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, sismik hız ve darbe dayanımı değerleri ile arasındaki ilişkileri incelemiştir. Analiz yöntemi olarak en küçük kareler yöntemini kullanmıştır. Yaptığı değerlendirmede basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında güçlü doğrusal ilişkiler belirlemiştir. Darbe dayanımı ile basınç dayanımı arasında ise bir ilişki olmadığını vurgulamıştır. Darbe dayanımı hariç, incelediği kayaç özellikleri ile basınç dayanımını tahmin etmek için görgül eşitlikler önermiş fakat diğer araştırmacıların farklı kayaç türleri için farklı eşitlikler önerdiğinin göz önünde bulundurulması gereken bir detay olduğunu ifade etmiştir.

Chau ve Wei (2001) yaptıkları çalışmada, karot örneğinde çapsal nokta yükleme dayanımı deneyi esnasında oluşan gerilmeleri yeni bir analitik yöntemle analiz etmişlerdir. Gerilmelerin yoğun olduğunu bölgeyi çapsal ve eksenel nokta yükleme dayanımında olduğu gibi yükleme yapılan noktalar olarak belirlemişlerdir. En büyük çekme gerilmesinin Poisson oranı ve yükleme başlıklarının temas ettiği alan arttıkça azaldığını, örneğin çapı arttıkça da arttığını belirlemişlerdir. Uzun silindir örneklerde ($L/D > 7$) çevresel gerilmenin baskın olduğunu, küçük örneklerde ise ($L/D < 4$) eksenel gerilmelerin daha yoğun olduğunu görmüşlerdir. Normal gerilme ($\sigma_{\theta\theta}$ ve σ_{zz}) değerlerinin yakınlığı $L/D=4$ olduğunda örneğin 3 parçaya ayrılmasını, $D/L > 0,5$ olduğunda 2 parçaya ayrılmasını açıklıyor. Analitik çözümlerindeki boyut ve şekil etkisinin, yaptıkları deneysel çalışmalarla uyumlu olduğunu söylemişlerdir. $L/D=0,7$ olduğunda şekil etkisinin ihmal edilebileceğini ifade etmişlerdir. Büyük çap değerlerine sahip numunelerin nokta yükleme dayanımı deneyinde kullanılmamasını önermişlerdir.

Wei ve Chau (2002) enine izotropik silindirik bir örnek üzerinde eksenel nokta yükleme dayanımı deneyinde örneğin içerisinde meydana gelen gerilmeleri analitik olarak çözmüşlerdir. İki farklı çözümleme yapmışlardır. Numerik sonuçlar gerilme

dağılımının anizotropinin derecesine bağlı olmadığını, gerilme dağılımlarının büyüklüğünün etkilendiğini belirtmişlerdir. Daha önceki çalışmalara paralel olarak en büyük çekme gerilmesinin Young modülü ile arttığını, Poisson oranı ve kesme modülü ile de azaldığını belirtmişlerdir. Eğer anizotropi derecesi ihmal edilirse, Young modülü >1 için veya Poisson oranı <1 veya kesme modülü <1 durumları için nokta yükleme dayanımının olduğundan daha yüksek tahmin edileceğini vurgulamışlardır.

Yenice (2002) yaptığı çalışmada, ELİ Soma Işıklar ve Eynez, GLİ Tunçbilek ve SLİ Seyitömer açık ocaklarından alınan tortul kayaçların (kireçtaşı, marn) tek eksenli basınç dayanımları ile bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiş ve elde ettiği sonuçları istatistiksel olarak değerlendirmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile diğer fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Özellikle, tek eksenli basınç dayanımının tahmininde en çok kullanılan nokta yükü dayanım indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasında yüksek korelasyon katsayısına (0,95) sahip bir ilişki elde etmiştir. Bu ilişki kullanılarak kayaçların tek eksenli basınç dayanımları, nokta yükleme dayanım indeksi ile güvenilir bir şekilde belirlenebileceğini ifade etmiştir.

Quane ve Russell (2003) yaptıkları çalışmada kuyu açma işlemlerinde haritalama ve işaretleme yapabilmek için, yardımcı bir elemana, kullanacakları bir kaya dayanım parametresine ihtiyaç duymuşlardır. Nokta yükleme dayanımı hızlı, basit ve ucuz bir yöntem olarak öne çıkmıştır. İgnimbirit içinde yaptıkları kuyu açma işlemlerinden elde ettikleri örneklerle deneyler yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı deneylerinden elde ettikleri değerleri basınç dayanımını tahmin etmek için kullanmışlar ve nokta yükleme dayanımı >4 için (Eşitlik 2.1) ve <5 için (Eşitlik 2.2) 2 farklı görgül eşitlik önermişlerdir.

$$\sigma_c = 24,4 \times I_{s(50)} \quad (2.1)$$

$$\sigma_c = 3,86 \times I_{s(50)}^2 + 5,651 \times I_{s(50)} \quad (2.2)$$

Burada σ_c tek eksenli basınç dayanımını, $I_{s(50)}$ nokta yükleme dayanım indeksini temsil etmektedir.

Başarır vd. (2004), basit deney yöntemlerini kullanarak basınç dayanımını tahmin etmek için basit regresyon analizleri yapmışlardır. Bu amaçla, Ankara Bağlum bölgesine ait dasit kayacından hazırlanan 42 mm çapında silindirik örnekler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve sismik hız deneyleri uygulamışlardır. Elde ettikleri verilerle basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi basit regresyon analizi ile incelemişlerdir. Dasit için basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve sismik hız ile aralarında çok kuvvetli ilişkiler olmadığını, fakat ilk mühendislik projeleri için yeterli sonuçlar olduğunu ifade etmişlerdir.

Palchik ve Hatzor (2004), porozite ile çekme dayanımı ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çekme dayanımını belirlerken nokta yükleme dayanımını da kullanmışlardır. Nokta yükleme dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile porozite arasında ters bir ilişki olduğunu, nokta yükleme dayanımı ile porozite arasında yüksek bir korelasyon ($r=0,92$) ilişkisi olduğunu belirlemişler ve bunun ifadesi için de bir eşitlik önermişlerdir. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi de incelemişler ve dönüşüm katsayısının sabit olamayacağını, kendilerinin 8 ile 18 arasında değişen bir oran hesapladıklarını ifade etmişlerdir.

Tsiambaos ve Sabatakakis (2004), arazide sondaj loglarından elde ettikleri 188 adet örnek üzerinde nokta yükleme dayanımı, basınç dayanımı ve üç eksenli basınç dayanımı deneyleri yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir. Nokta yükleme dayanımı değerleri <2 MPa için dönüşüm katsayısını 13, 2-5 MPa için 20, >5 MPa için de 28 olarak belirlemişlerdir.

Fener vd. (2005), basınç dayanımını dolaylı olarak tahmin etmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında 6 magmatik, 3 metamorfik, 2 sedimanter kayaç üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda elde ettikleri nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici

sertliği ve darbe dayanımı verilerini basınç dayanımını tahmin etmek için kullanmışlardır. Elde ettikleri bağıntıları da literatürdeki mevcut bağıntılarla kıyaslamışlardır. Nokta yükleme dayanımı deneylerini 38 mm çapındaki L/D oranı 1,2 olan silindirik örnekler üzerinde gerçekleştirmişler, her örnek için deneyi en az 6 kez tekrarlamışlardır. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,85$, Schmidt çekici sertliği ile $r=0,88$, darbe dayanımı ile $r=0,88$ olan ilişkiler elde etmişlerdir. Bu 3 özellik için de tahmin edilen basınç dayanımı değerleri ile deneysel basınç değerleri arasındaki ilişkiyi de grafiklerle incelemişlerdir. Dağılımın grafiğın köşegeni etrafında olduğunu belirlemişlerdir. Elde ettikleri eşitlikleri diğer araştırmacıların önerdiği eşitliklerle kıyaslamışlar ve uyumlu olmadığını görmüşlerdir. Bu uyumsuzluğun farklı kayaçların mikro ölçekte farklı dokusal yapıya sahip olmaları ve deney koşullarının farklı olmasından kaynaklandığını söylemişlerdir.

Kahraman vd. (2005), 38 farklı kayaç çeşidi (11 magmatik, 9 metamorfik, 18 sedimanter) üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Basınç dayanımı deneyini L/D oranı 2 olan 38 mm çapındaki örnekler üzerinde her bir kayaç çeşidi için en az 5 kez tekrarlanmıştır. Nokta yükleme dayanımı çapsal olarak L/D oranı 1,2 olan örnekler üzerinde en az 6 kez tekrarlamışlardır. Farklı kayaçlar için basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiye baktıklarında anlamlı bir ilişki ($r=0,78$) olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada kullandıkları kayaçları gözenek oranları $<1\%$ ve $>1\%$ olarak 2 gruba ayırdıklarında ve tekrar incelediklerinde daha anlamlı ve yüksek korelasyona sahip ($<1\%$ için $r=0,84$ ve $>1\%$ için $r=0,87$) ilişkiler elde etmişlerdir.

Basu ve Aydın (2006) yaptıkları çalışmada, nokta yükleme dayanımının güvenilirliği açısından yükleme başlıklarının örneğe batmasının bir problem olduğunu fakat literatürde buna çok değinilmediğini ifade etmişlerdir. Deneyleri 83 mm çapındaki 40 çeşit granit örneği üzerinde çapsal ve eksenel olarak gerçekleştirmişlerdir. Deney düzeneğinde 0,19 saniyede bir veri alan ve 0,05 mm hassasiyete sahip bir lazer ölçüm cihazı kullanmışlardır. Deney başlangıcından örnek kırılıncaya kadar geçen süre boyunca ölçüm almışlar, yumuşak ve dayanımı düşük kayaçların aksine sert ve dayanımı yüksek kayaçlarda konik başlığın ucunun batma oranının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Nokta yükleme dayanımını belirlerken D için önce örneğin

kalınlığını ölçmüşler daha sonra örneğin kırıldığı anda konik başlıklar arasındaki mesafeyi ölçerek 2 farklı nokta yükleme dayanımı hesaplamışlardır. Eşitlikte D yerine örneğin kırıldığı anda konik başlıklar arasındaki mesafeyi koydukları nokta yükleme dayanımı değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasında daha anlamlı bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Kahraman ve Günaydın (2007), agregaların aşınma dayanımını tahmin etmek için bir çalışma yapmışlar ve bu çalışmada 9 adet magmatik, 11 adet metamorfik ve 15 adet sedimanter kayaç üzerinde Los Angeles aşınma dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve Schmidt çekici sertlik deneyleri yapmışlardır. Aşınma dayanımının test edilen özellikler ile arasındaki ilişkiyi incelediklerinde nokta yükleme dayanımı ile aşınma dayanımı arasında $r=0,72$ korelasyon katsayılı bir ilişki belirlemişlerdir. Çalışmadaki kayaçları poroziteleri $<1\%$ ve $>1\%$ olmak üzere ayrı ayrı incelediklerinde poroziteleri $<1\%$ için $r=0,81$ ve $>1\%$ için $r=0,77$ olarak belirlemişlerdir (nokta yükleme dayanımı deneylerini 38 mm çapındaki L/D oranı 0,5 olan örnekler üzerinde gerçekleştirmişlerdir).

Akram ve Bakar (2007), 9 çeşit kayaçtan hazırlanan (kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, dolomit, marn) 200 örnek üzerinde basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı deneyleri 54-42-30 mm çapındaki örneklerle çapsal olarak uygulanmıştır. Tek eksenli basınç dayanımına karşılık nokta yükleme dayanımı verilerinin grafiğini çizdirdiklerinde 2 farklı grup kayaç olduğunu görmüşlerdir. Karşılaştırmayı bu 2 grup için farklı farklı yaptıklarında korelasyon katsayıları yüksek ($r=0,88$) ilişkiler olduğunu, dönüşüm katsayılarını da sırasıyla yaklaşık olarak 22 ve 11 olarak belirlemişlerdir.

Çobanoğlu ve Çelik (2008) kumtaşı, kireçtaşı ve beton ile farklı çaplarda (21-30-42-48-54 mm) 150 örnek üzerinde tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı, P -dalga hızı ve Schmidt çekici sertliği arasındaki ilişkileri örnek boyutunun etkisi ile birlikte inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneylerini, kuru örneklerde nokta yükleme dayanımı deneyinde konik başlıkların temas noktalarında gevrek kırılma meydana geldiği için, doygun

örnekler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. En iyi ilişkiyi nokta yükleme dayanımı değerleri arasında belirlemişlerdir. Tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımında kullandıkları farklı çaplardaki örneklerden elde ettikleri değerler arasındaki ilişkileri inceledikleri bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonunda D=21 mm için $r=0,82$, D=30 mm için $r=0,93$, D=42 mm için $r=0,94$, D=48 mm için $r=0,95$ ve D=54 mm için $r=0,89$ korelasyon katsayılı ilişkiler elde etmişlerdir. Bu veriler ışığında ideal çap olarak da 48 mm'yi önermişlerdir.

Sönmez ve Osman (2008), nokta yükleme dayanımını basınç dayanımını tahmin etmek için kullandıkları bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında literatürde farklı kayalar üzerinde yapılmış deneylere ait sonuçları derleyerek bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Kaya malzemesinin türünü de dikkate alan, Hoek ve Brown yenilme ölçütündeki malzeme sabiti (m_i)'ni kullandıkları, görgül bir eşitlik önermişlerdir (Eşitlik 2.3). Nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasında $r=0,75$ 'lik bir ilişki belirlemişlerdir. Önerdikleri eşitliğin farklı türdeki kaya malzemeleri kullanılarak yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

$$\sigma_c = C \times I_{s(50)} \quad (2.3)$$

Burada, σ_c tek eksenli basınç dayanımı, C dönüştürme faktörü ($C=3,3m_i^{0,665}$), $I_{s(50)}$ nokta yükü dayanım indeksi and m_i Hoek - Brown yenilme ölçütündeki malzeme sabitidir.

Kezhi vd. (2009), tünel açma makinesinin performansını tahmin etmek için bir çalışma yapmışlardır. Tünel açma makinesi çalışırken topladıkları verilerle makinenin çalıştığı kaya biriminden aldıkları örneklerle uyguladıkları nokta yükleme dayanımı verileri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. İki farklı tabaka için de makinenin performansının baskı kuvveti ve kaya dayanımı arttıkça azaldığını belirlemişler ve bir eşitlik önermişlerdir (Eşitlik 2.4).

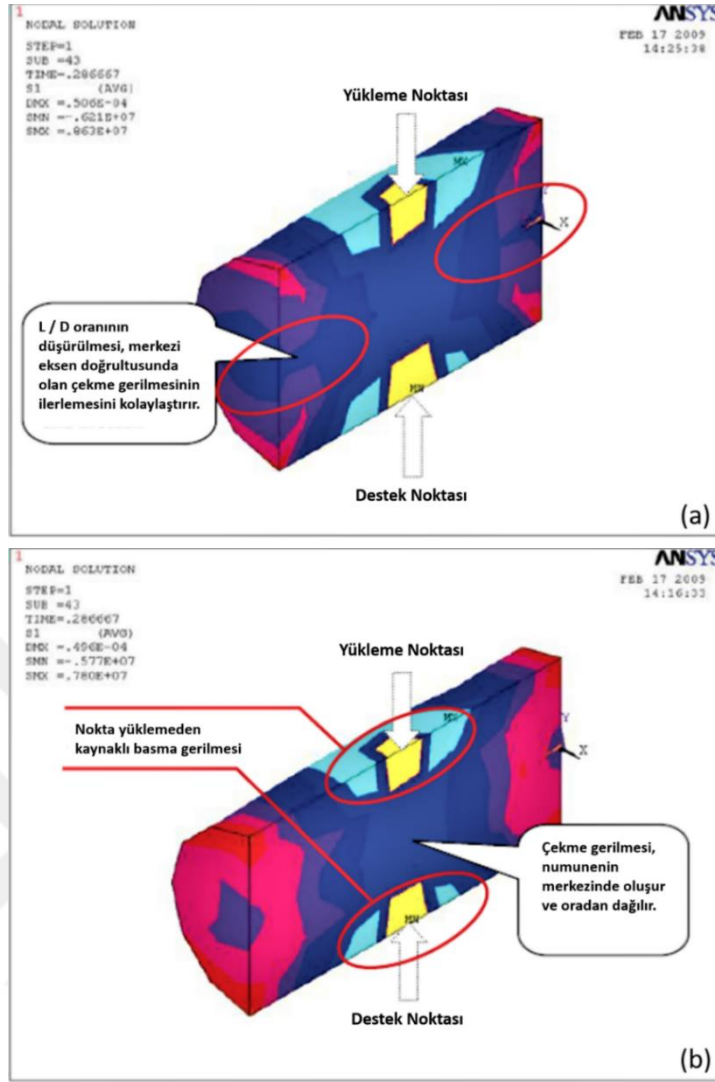
$$\ln(PR) = \ln k + \beta \ln F - \gamma \ln I_s \quad (2.4)$$

Burada ***PR*** tünellerleme oranı, ***k*** katsayı, ***F*** kesici baskı kuvveti, ***I_s*** kayacın nokta yükleme dayanımı, ***β*** kesici baskı kuvveti sabiti, ***γ*** nokta yükleme dayanımı sabitidir.

Binal (2009), 264 örnek üzerinde ignimbiritlerin mekanik özelliklerini tahmin etmek için nokta yükleme dayanımı, sismik hız değerleri ve bazı fiziksel özelliklerini kullandığı bir çalışma yapmıştır. Elde ettiği sonuçları, istatistiksel ve yapay zekâ yöntemlerini kullanarak bir model oluşturmak için kullanmıştır. Nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki dönüşüm katsayısını 9, ilişki derecesini de $r=0,81$ olarak belirlemiştir.

Zacoeb ve Ishibasi (2009), beton binalardan 100 mm çapında veya en büyük tane boyutunun 3 katı büyüklüğünde çapa sahip karot örnekleri almışlardır. Basınç dayanımı deneylerini çapı 100 ve 125 mm, L/D oranı 2 olan örneklerle, nokta yükleme dayanımını çapı 35 ve 50 mm olan L/D oranı da 1,5 ve 2 olan örneklerle uygulamışlardır. Sonlu elemanlar analizi (ANSYS) ile nokta yükleme dayanımı esnasında örneğin içinde meydana gelen gerilmeleri analiz etmişlerdir. Betonun Poisson oranını 0,18 ve elastik modülünü 24 MPa kabul etmişlerdir ve Analizleri 2 farklı L/D oranı (1,5–2) için yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları Şekil 2.2’de vermişlerdir. Şekillerden anlaşılacağı gibi L/D oranı düştükçe örneğin merkezinde aksenal doğrultuda bir çekme gerilmesi oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca yaptıkları istatistiksel değerlendirmeler sonucunda yeni bir boyut düzeltme faktörü önermişlerdir (Eşitlik 2.5). Nokta yükleme deneyi için uygun çapı 50 mm olarak ve L/D oranını da 2 olarak önermişlerdir. Nokta yükleme dayanımı ve basınç dayanımı arasında doğrusal ve çok güçlü bir ilişki ($r \approx 1$) belirlemişlerdir.

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{(0,53)} \quad (2.5)$$



Şekil 2.2. Karot örneğinde meydana gelen gerilme dağılımları (a) L/D= 1,5; (b) L/D= 2,0 (Zacoeb ve Ishibasi, 2009)

Sundara (2009) yaptığı tez çalışmasında, granit ve kireçtaşının nokta yükleme dayanımından basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmıştır. Her bir örnek için 15 örnek üzerinde deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışmasında doğal kaya maddesinin davranışından beklenildiği şekilde bu 2 özellik arasında net bir ilişki olmadığını ifade etmiştir. Böyle bir analiz için çok sayıda örnek üzerinde deney yapılırsa elde edilecek sonuçların daha anlamlı ve güvenilir olacağını söylemiştir.

Russell ve Wood (2009), kırılğan küresel yüzeyler için nokta yükleme deneyi ve dayanım parametrelerini inceledikleri bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında nokta yükleme dayanımı, basınç dayanımı ve şekil değiştirme testlerinin yapılamadığı

durumlarda teorik olarak bu parametreleri açıklamayı amaçlamışlardır. Nokta yükleme dayanımı deneyinde yükleme başlıklarının düz bir alana ve küresel bir alana temas ettiklerinde oluşan yenilme kriterlerini çözümlemişlerdir. Nokta yükleme dayanımı deneyinin çekme dayanımındansa basma dayanımı tahmini için daha güvenilir olduğunu söylemişlerdir.

Diamantis vd. (2009), serpantin örnekleri üzerinde basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı testleri yapmışlar ve birim hacim ağırlık, gözeneklilik ve sismik hız (P ve S dalgası) ile aralarındaki ilişkileri incelemişlerdir. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,86$ korelasyon katsayılı bir ilişki ve dönüşüm katsayısını da serpantin için yaklaşık 20 olarak belirlemişlerdir.

Kahraman ve Günaydın (2009) 17 magmatik, 16 metamorfik ve 19 sedimanter kayaç üzerinde kaya sınıflarının basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki üzerine etkisini incelemişlerdir. Genel olarak 3 farklı kaya türünün de dahil olduğu değerlendirmelerinde dağılımın çok fazla olduğu anlamlı bir korelasyon olmadığını görmüşler fakat değerlendirmeyi daraltıp her kayaç için ayrı ayrı yaptıklarında dağılımın daraldığını ve korelasyon katsayısının güçlendiğini belirlemişlerdir.

Tsiambaos ve Saroglu (2010) Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) abağından faydalanarak kaya kütlesinin kazılabilirliğinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı ≥ 3 MPa ve < 3 MPa için 2 adet GSI abağı önermişlerdir. GSI değeri 65'den büyük ve $I_{s(50)} \geq 3$ MPa için, GSI değeri 60'dan büyük ve $I_{s(50)} < 3$ MPa için patlatma gerektiğini, GSI değeri 20-45 arasındaysa ve $I_{s(50)} \geq 3$ MPa için, GSI değeri 25-55 arasındaysa ve $I_{s(50)} < 3$ MPa için ripperlemenin yeterli olacağını söylemişlerdir.

Basu ve Kamran (2010), şistli kayaçlar üzerinde nokta yükleme dayanımını kullanarak tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için bir çalışma yapmışlardır. Şistli kayaçlardan hazırladıkları 19 ve 15 örnekten oluşan 2 grup üzerinde deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Zayıf düzlemleri 22° ile 56° derece arasında değişen 54 mm çapındaki 19 örneğe eksenel olarak nokta yükleme dayanımı deneyleri uygulamışlar ve zayıf düzlemler ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişler ve

anlamalı bir ilişki olmadığını görmüşlerdir. Zayıflık düzlemlerinin açıları 13° ile 28° derece arasında değişen 54 mm çapındaki 15 örneğe eksenel olarak nokta yükleme dayanımı deneyleri uygulamışlar ve aynı örneğin devamından hazırlanmış olan örneklerle de tek eksenli basınç dayanımı deneyleri uygulayarak nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonunda oluşan kırılma modlarını incelemişler ve birbirine benzer şekilde kırıldığını görmüşlerdir. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,86$ korelasyon katsayılı bir ilişki belirlemişler ve bir eşitlik önermişlerdir (Eşitlik 2.6).

$$\sigma_c = 11,103 \times I_{s(50)} + 37,659 \quad (2.6)$$

Burada σ_c tek eksenli basınç dayanımını, $I_{s(50)}$ nokta yükleme dayanım indeksini temsil etmektedir.

Jabbar (2011), 15 farklı kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı ve sismik hız arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,85$ korelasyon katsayılı bir ilişki ve dönüşüm katsayısını da 10,02 olarak belirlemiştir.

Palasssi (2011), L/D oranı 2 olan 54 mm ve 38 mm çapındaki 2 farklı mermer türü ile 56 mm çapındaki beton örnekler üzerinde yanal basıncın nokta yükleme dayanımına etkisini inceleyen bir çalışma yapmıştır. Gohareh mermeri için 0-5-20-40 kN, Sirjan mermeri için 0-2,5-5-10-20-30 kN ve beton örnekleri için 1-2,5-5-10-20-40 kN değişen yanal yükler altında çapsal nokta yükleme dayanımı deneyleri uygulamıştır. Belli bir limit değere kadar yanal yük örneklerdeki gözenekleri ve mikro çatlakları kapattığı için nokta yükleme dayanım değeri artmış fakat bu limit değerden sonra yanal kuvvet arttıkça sebep olduğu yeni çatlaklardan dolayı nokta yükleme dayanımı değerinin azaldığını gözlemlemiştir. Bir diğer etki de yanal yükün örnek üzerinde nokta yükleme dayanımındakine benzer şekilde yükleme başlıklarının ekseninde bir çekme gerilmesi meydana getirmesi olduğunu ifade etmiştir.

Demir (2011), beton ve alçıdan hazırladığı, tek eksenli basınç dayanımı 2 ile 52 MPa arasında değişen sentetik malzemeler üzerinde farklı L/D oranlarında nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmıştır. Boy/çap oranları 1-2-3-4 olacak şekilde hazırlanmış toplam 280 örnek üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyinde L/D oranının etkisini incelenmiştir. Elde ettiği sonuçlarda L/D oranı 1 ile 4 arasında değişen gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığını ifade etmiştir. L/D oranı 2 olan örneklerle tek eksenli basınç dayanımı deneyleri uygulamış, nokta yükleme dayanımı değerleri ile tek ek değerleri arasındaki dönüşüm (K) katsayısı ile σ_c/σ_t değerleri arasında $r=0,95$ korelasyon katsayılı bir ilişki bulmuş ve dönüşüm katsayısının σ_c/σ_t tarafından kontrol edildiği sonucuna varmıştır. Basınç dayanımı için dönüşüm katsayısının 5-19 arasında değiştiğini ve nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasında $r=0,95$ korelasyonlu bir ilişki olduğunu, çekme dayanımı için dönüşüm katsayısının 1,5-3 arasında değiştiğini ve nokta yükleme dayanımı ile çekme dayanımı arasında $r=0,98$ korelasyonlu bir ilişki olduğunu belirlemiştir. Örneklerin basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerlerini kullanarak kohezyon ve içsel sürtünme açılarını hesaplamış, nokta yükleme dayanımı ile kohezyon değeri arasında oldukça anlamlı ($r=0,98$) ilişkiler elde etmiştir.

Kohno ve Maeda (2012), hidrotermal altere olmuş yumuşak kayalarda nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Dayanımı 25 MPa'nın altında olan kayalar için basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki dönüşüm katsayısını (K) kuru örnekler için 16,4 ($r=0,95$), doymuş örnekler için 16,5 ($r=0,95$) olarak belirlemişlerdir. Belirledikleri ilişkilerin korelasyonlarının yüksek olduğunu, bu dönüşüm katsayılarının dayanımı 25 MPa altında olan numuneler için uygun olduğunu vurgulamışlardır.

Heidari vd. (2012), alçı taşı için nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı ve çekme dayanımının tahmin edilmesini araştırmışlardır. 40 farklı bloktan her bir deney yöntemi için 15'er adet (eksenel, çapsal ve şekilsiz) örnek hazırlamışlardır. Deneyleri 56,71 mm çapındaki hem kuru hem de doymuş örneklerle uygulamışlardır. Nokta yükleme dayanımı ile basınç ve çekme dayanımı arasındaki dönüşüm katsayılarını (K) hem kuru hem doymuş örnekler için belirlemişlerdir (Çizelge 2.1). Basınç dayanımı için

en iyi ilişkiyi çapsal deney sonuçlarında elde ederlerken, çekme dayanımı için en düşük ilişkiyi yine çapsal deney sonuçlarında elde etmişlerdir. Çapsal deney için farklı L/D oranlarında örnekler hazırlayıp hem kuru hem doymun örnekler üzerinde deneyler yapmışlar, L/D oranına göre nokta yükleme dayanımının değiştiğini görmüşlerdir.

Çizelge 2.1. Nokta yükleme dayanımı ile basınç ve çekme dayanımı arasındaki dönüşüm katsayıları (Heidari vd., 2012)

	Basınç Dayanımı				Çekme Dayanımı			
	Kuru		Doymun		Kuru		Doymun	
	K	r	K	r	K	r	K	r
Çapsal Deney	27,7	0,97	22,3	0,97	3,95	0,93	3,98	0,88
Eksenel Deney	17,14	0,96	15,9	0,96	2,45	0,96	2,84	0,94
Şekilsiz Örnek	14,65	0,94	17,33	0,95	2,1	0,97	3,1	0,93
K: Dönüşüm katsayısı; r: Korelasyon katsayısı								

Gürocak vd. (2012), 24 farklı lokasyona ait 512 örnek üzerinde çekme dayanımı ile nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici ve birim hacim ağırlık özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Basit doğrusal regresyon analizi ($r=0,69-0,90$), çoklu regresyon analizi ($r=0,91$), radyal temelli sinir ağırları analizi ($r=0,93$), çok katmanlı algılayıcı sinir ağı ($r=0,95$) ile yaptıkları analizler sonucunda farklı tahmin modelleri oluşturmuşlardır.

Singh vd. (2012) 10 farklı kayaçtan (kuvarsit, kumtaşı, amfibolit, gabro, kondalit, epidiorit, kireçtaşı, dolomit, şeyl, kaya tuzu) hazırladıkları 54 mm çapındaki örnekler üzerinde deneyler yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Basınç dayanımı değerinin gerçekte olduğundan düşük ya da yüksek olarak tahmin edilmesinin önüne geçmek için her kayaç çeşidi için farklı dönüşüm katsayıları (K) kullanılmasını önermişlerdir. Çalışmada kullandıkları sert kayaçlar için 21-24, yumuşak kayaçlar için 14-16 arasında dönüşüm katsayılarının (K) kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Fener ve İnce (2012), granitlerdeki ortoklaz fenokristal boyutunun nokta yükleme dayanımını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Deneyleri L/D oranı 1,2 olan 42 mm çapındaki 117 örnek üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Yükü çapsal olarak uyguladıkları

deneylerde meydana gelen kırılmaların ortoklaz fenokristalleri boyunca olduğunu görmüşlerdir. Ortoklaz fenokristal oranı ile nokta yükleme dayanımı arasında negatif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir ($r=0,85$).

Karaman ve Kesimal (2012), kayaçların tek eksenli basınç dayanımının tahmininde nokta yükleme dayanımının ve porozitenin etkisini incelemek için 9 farklı kayaç türü (3 magmatik, 2 metamorfik, 4 sedimanter) üzerinde deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Nokta yükleme dayanımı deneylerinde 54,7 mm çapındaki, L/D oranları çapsal deney için 1,1-1,2 olan, eksenel deney için 0,5-0,55 olan örnekler kullanmışlardır. Nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasında güçlü doğrusal ilişkiler elde etmişlerdir. Eksenel yükleme için korelasyon katsayısını $r=0,94$, çapsal yükleme için $r=0,98$ olarak elde etmişlerdir. Görünür porozitenin % 15'ten % 24'e çıkması durumunda biyomikritik kireçtaşları için dönüşüm katsayısının 24'den 11'e düştüğünü belirlemişlerdir. Görünür porozitenin % 1'in altında olduğu kayaçlar için basınç dayanımını tahmin etmede güvenilir olmadığını söylemişlerdir.

Altındağ (2012), sedimanter kayaçların *P*-dalga hızları ile bazı mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmasında 97 örnek üzerinde ölçümler yapmıştır. *P*-dalga hızının basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Elastik modül, gevreklik ile olan ilişkisini incelemiş, basit regresyon ve çoklu regresyon analizleri sonucu elde ettiği yüksek korelasyona sahip görgül eşitlikler yardımıyla ölçülmüş ve tahmin edilmiş basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Nokta yükleme dayanımı ile *P*-dalga hızı arasında $r=0,70$ korelasyon katsayısına sahip bir ilişki olduğunu belirlemiştir.

Yaralı ve Soyer (2013), kayaçların delinebilirlik oranı indeksi (DRI)'nin mekanik özelliklerle arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında 32 farklı kayaç türünde yaptıkları deneylerden elde ettikleri sonuçlar üzerinde DRI-basınç dayanımı ($r=0,84$), DRI-çekme dayanımı ($r=0,74$), DRI-Schmidt çekici sertliği ($r=0,88$), DRI-Shore sertliği ($r=0,80$), DRI-çapsal nokta yükleme dayanımı ($r=0,84$), DRI-eksenel nokta yükleme dayanımı ($r=0,88$) arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. İncelenen mekanik özelliklerin kayaçların delinebilirliğinin tahmininde

kullanılabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca bahsedilen yöntemler için örnek hazırlama işleminin çok zahmetli olmamasının bir avantaj olabileceğini belirtmişlerdir.

Li ve Wong (2013), meta-silttaşı ve meta-kumtaşı üzerinde yaptıkları çalışmada nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Nokta yükleme dayanımı deneylerini 50 mm çapında, boyları çapsal deneyler için 80-100 mm arasında, eksenel deneyler için 40-50 mm arasında değişen tabakalanmaya paralel alınmış 118 karot örneği üzerinde uygulamışlardır. Nokta yükleme dayanımı değerlerinin 9,38-12,84 MPa arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Kırılma şeklinin nokta yükleme dayanımı üzerinde etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir. Meta-silttaşı ve meta-kumtaşı basınç dayanımı tahmini için dönüşüm katsayısının (K) 20-21 arasında, çekme dayanımı için 0,62-0,96 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Basu vd. (2013) granit, şist ve kumtaşı üzerinde basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanımı altında yenilme kriterlerini incelemişlerdir. Çapları 47-58 mm değişen karot numunelerinden basınç dayanımı için $L/D=2$ olan, Brazilian çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanımı için $L/D=0,5$ olan örnekler hazırlamışlardır. Her numune ve deney yöntemi için kırılma modlarını çizmişler ve belirlemişlerdir. Her 3 deney yönteminde de granit ve kumtaşı beklenen modlarda kırılırken, şistin tabakalanmaya paralel şekilde kırılma modları sergilediğini görmüşlerdir.

Mishra ve Basu (2013) yaptıkları çalışmada, 3 farklı kayaç türü üzerinde makaslama indeksi (block punch index), nokta yükleme dayanımı, Schmidt sertlik çekici, P -dalga hızı ve görünür porozite-yoğunluk deneyleri uygulayarak basınç dayanımını tahmin etmek için bir model oluşturmaya çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçları regresyon analizi ve bulanık (fuzzy) çıkarım sistemi ile incelemişler ve tahmin modelleri oluşturmuşlardır. En iyi tahmin modelini nokta yükleme dayanımı ile belirlemişler ve bu çalışmadan elde edilen sonuçların benzer kayaçlar için kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Yesiloğlu-Gültekin vd. (2013) yaptıkları çalışmada, granitik kayalarda basınç dayanımını tahmin etmek için çoklu regresyon, yapay sinir ağları ve uyarlamalı sinirsel bulanık mantık yöntemlerinden faydalanmışlardır. Basınç dayanımını tahmin eden en iyi modeli oluşturmak için çekme dayanımı, makaslama indeksi (block punch index), nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği, *P*-dalga hızı değerlerini kullanmışlardır.

Heidari vd. (2013), granitik kayalar için yeni bir bozunma sınıflaması üzerine granodiyorit ve granit örnekleri üzerinde deneyler yapmışlardır. Porozite ile *P*-dalga hızı, nokta yükleme dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve dayanımı koruma indeksi (strength retention index) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları istatistiksel olarak değerlendirmişler, basit ve çoklu regresyon analizleri yapmışlardır.

JahanGer ve Ahmed (2013) kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, tebeşir ve kireçtaşı gibi tek eksenli basınç dayanımı düşük kayalarla nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Basınç dayanımını tahmin etmek için dönüşüm katsayısını kil için 5,28, kireçtaşı için 5,65-11,18 arasında, kumtaşı için 1,52 olarak elde etmişlerdir. Basınç dayanımı 27,5 MPa'ın altında kalan kayalar için dönüşüm katsayısını 6 olarak önermişlerdir.

Saliu ve Shehu (2014), Nijerya (Obajana ve Ewekoro) kireçtaşlarının kazı yöntemini belirlemeye yönelik bir saha çalışması yapmışlardır. Araziden topladıkları örnekler üzerinde basınç dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve yoğunluk deneyleri yapmışlardır. İnceledikleri örneklerin nokta yükleme dayanımlarını Broch ve Franklin (1972)'nin önerdiği eşitliği kullanarak hesaplamışlardır. Elde ettikleri nokta yükleme dayanımı değerini kaya kazılabilirlik sınıflamaları için verilen abaklarda ve grafiklerde yerine koyarak, araştırma yaptıkları kayalar için uygun kazı yöntemini önermişlerdir.

Galvan vd. (2014), kireçtaşları için nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Sahadan elde ettikleri kireçtaşı örnekleri üzerinde 255 adet nokta yükleme dayanımı, 45 adet tek eksenli basınç dayanımı deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya konu olan kireçtaşları için

dönüşüm katsayısını 12-26 arasında ($r=0,91-0,99$) belirlemişlerdir. Nokta yükleme dayanımı belirlenirken kaycın nem içeriğinin göz ardı edilemeyecek bir parametre olduğunu vurgulamışlardır.

Khanlari vd. (2014), tabakalı kireçtaşlarında dayanım anizotropisi ve kırılma modlarını incelemek için 2 farklı kireçtaşı üzerinde tabakalanmaya dik, paralel, 15° , 30° , 45° ve 60° açılarla karot örnekleri hazırlamışlardır. Hazırladıkları örnekler üzerinde basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri yenilme yüklerinin ve kırılma modlarının tabakalanma açıları ile ilişkilerini incelemişlerdir. Dayanım anizotropisi ve kırılma modlarının kayacın tabaka yapısına ve yüklemenin konumuna bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Basınç dayanımı anizotropi oranının nokta yükleme dayanımı anizotropi oranına göre daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Tabakalanmanın sayısı arttıkça anizotropi oranının da arttığını ifade etmişlerdir. Basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasında en güçlü ilişkiyi ($r=0,91$) Brazilian çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasında belirlemişlerdir.

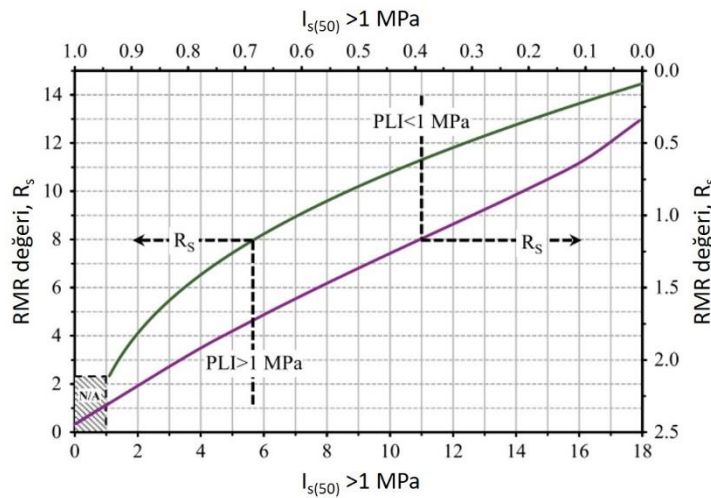
Kahraman (2014), 32 farklı bölgeden temin ettiği piroklastik kayalar için nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Örneklere kuru ve doymun halde olarak basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneyleri uygulamıştır. Nokta yükleme dayanımı deneyini 38 mm çapındaki L/D oranı 1,2 olan örnekler üzerinde çapsal olarak ve her kayaç için en az 7 defa tekrarlamak suretiyle uygulamıştır. Elde ettiği sonuçları istatistiksel olarak değerlendirmiştir. Önerdiği çok sayıdaki tahmin modelinden sadece ikisinin daha önceki çalışmalarda elde edilenlere benzer olduğunu vurgulamıştır. Bu farklılığın farklı deney yöntemleri uygulanarak, farklı numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olmasından kaynaklanabileceğini söylemiştir. Önerdiği tahmin modellerinin farklı bölgelerdeki proklastik kayalar için de kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Salah vd. (2014), Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki sedimanter kayalardan elde ettiği 419 örnek üzerinde nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı ve basınç dayanımı

arasında $r=0,82$ 'ik bir ilişki belirlemişlerdir. Çalışmada kullandıkları kayaçları dayanımlarına göre ve çeşitlerine göre sınıflandırıp basınç dayanımları ile nokta yükleme dayanımları arasındaki ilişkileri incelediklerinde çok zayıf kayaçlar için $r=0,66-0,74$ arasında değişen, zayıf ve sağlam kayaçlar için ise $r=0,83-0,89$ arasında değişen ilişkiler elde etmişlerdir.

Azimian vd. (2014), marn için basınç dayanımı ile P -dalga hızı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. 40 farklı bloktan 54 mm çapında örnekler hazırlamışlardır. Elde ettikleri sonuçları istatistiksel olarak değerlendirdiklerinde basınç dayanımı ve P -dalga hızı ile $r=0,95$ 'lik, nokta yükleme dayanımı ile $r=0,96$ 'lık bir ilişki belirlemişlerdir. Yaptıkları çoklu regresyon analizleri sonucunda da $r=0,97$ 'lik bir görgül eşitlik önermişlerdir.

Karaman vd. (2015a), literatürde bulunan 490 farklı kayaca ait basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı verilerini kullanarak bir değerlendirme yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı değerlerini <1 MPa ve >1 MPa olmak üzere 2 dayanım sınıfına ayırmışlardır. Bu verileri kullanarak yaptıkları regresyon analizleri sonucunda 2 farklı dayanım abağı geliştirmişler ve bunu tek abakta birleştirmişlerdir. Geliştirdikleri abağın RMR'da dayanım puanının hesaplanmasında kullanılabileceğini söylemişlerdir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Nokta yükleme dayanımı ile RMR değeri grafiği (Karaman vd., 2015a)

Karaman vd. (2015b), Trabzon'da bir tünel gzerghı boyunca 37 farklı noktadan temin ettikleri kayaçlar (magmatik, metamorfik, sedimanter) zerinde yaptıkları çalışmada Schmidt çekici sertliği ve nokta yükleme dayanımı değerleri ile dolaylı olarak basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerlerini tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları regresyon analizleriyle değerlendirmişlerdir. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,92$ 'lik, Schmidt çekici sertliği arasında $r=0,84$ 'lk, çekme dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,90$ 'lık, Schmidt çekici sertliği arasında $r=0,85$ 'lik doğrusal ilişkiler belirlemişlerdir.

Momeni vd. (2015), granitik kayaçların bozunma sınıflaması üzerine yeni bir çalışma yapmışlardır. Fiziksel ve mekanik bozunmanın granitik kayaçlar üzerinde güçlü olumsuz etkileri olduğunu belirlemişlerdir. Belirtilen bozunma sınıflamasına mineralojik özelliklerin doğrudan etkisi olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmaya konu sınıflama sistemi için bozunma oranı ile basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, P -dalga hızı ve su emme özelliği arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. En anlamlı ilişkiyi bozunma oranı ile basınç dayanımının verdiğini söylemişlerdir.

Kaya ve Karaman (2015), nokta yükleme dayanımından basınç dayanımını tahmin etmek için dayanım dönüşüm katsayısını (K) kullanmışlardır. Bunun için yayınlanmış çalışmalardan derledikleri 410 farklı kayaca ait ve kendilerinin 80 farklı (magmatik, metamorfik, sedimanter) kayaçtan hazırladıkları 54,7 mm çapındaki örnekler üzerinde belirledikleri dönüşüm katsayılarından (K) faydalanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları regresyon analizleri ve grafik yaklaşımı yardımıyla analiz etmişlerdir. Kayaçların tümü için genel tek bir dönüşüm katsayısı (K) olamayacağını vurgulamışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda dönüşüm katsayısını (K) farklı kayaçlar için 12,98 ile 18,55 arasında değişen oranlar şeklinde hesaplamışlardır. Kayaçları farklı özelliklerine göre gruplandırıp ayrı ayrı dönüşüm katsayıları (K) nermişlerdir. Dönüşüm katsayısını (K) piroklastik kayaçlar için 12,98, volkanik kayaçlar için 17,68, pltonik kayaçlar için 15,32, kimyasal sedimanter kayaçlar için 18,55, klastik sedimanter kayaçlar için 13,51, yapraklı metamorfik kayaçlar için 14,26, yapraklanma göstermeyen metamorfik kayaçlar için 16,64 olarak belirlemişlerdir.

Elhakim (2015), zayıf Dubai kalkerli kumtaşlarını kullanarak yaptığı çalışmada basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Nokta yükleme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve aralarında $r=0,80$ 'lik bir korelasyon katsayısı belirlemiştir. Nokta yükleme dayanımını kullanarak basınç dayanımını tahmin etmek için bir eşitlik önermiştir.

Liang vd. (2015), basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Farklı görgül eşitliklerin geçerliliğini test etmek için 8 farklı kayaktan (piroksenit, griotte, granit, kumtaşı, dolomit, skarn, kuvarsit ve şeyl) hazırladıkları 147 örnek üzerinde deneyler yapmışlardır. Ölçüm sonuçları ile tahmin modellerini kullanarak elde ettikleri sonuçları hata yüzdelerini hesaplayarak test etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları incelediklerinde herhangi bir tahmin modelinin pratikte çok kullanışlı olmadığını, kullanılacak olursa da sert ve yumuşak kayalar için ayrı tahmin modelleri kullanılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

Raj ve Pedram (2015), doğrudan ve dolaylı olarak kayaların dayanımını belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bunun için 6 farklı bazalt ve 4 farklı riolit örneği üzerinde Brazilian çekme dayanımı, basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, makaslama indeksi ve Schmidt çekici sertliği deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları istatistiksel (doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleri ile) olarak incelemişler ve basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında 8,6 ile 29 arasında değişen bir oran belirlemişlerdir.

Selçuk ve Gökçe (2015), beton örnekleri üzerinde nokta yükleme dayanımını kullanarak basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. İki farklı dayanıma sahip kireçtaşı ufalayarak elde ettikleri agregaları beton numunesi hazırlamak için kullanmışlardır. Farklı su/çimento oranlarına sahip örnekler hazırlamışlardır. Nokta yükleme dayanımını 50 mm enindeki küp örnekler üzerinde, basınç dayanımı deneyini de 100 mm çapındaki silindirik örnekler üzerinde uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçları regresyon analizleri yardımıyla incelemişler ve basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında yüksek korelasyon ($r=0,92$)

katsayısına sahip ilişkiler elde etmişlerdir. Basınç dayanımını tahmin etmek için basit bir görgül eşitlik önermişlerdir.

Sheshde ve Cheshomi (2015), 2 farklı kireçtaşı ve kumtaşı üzerinde basınç dayanımını tahmin edebilmek için yeni bir yöntem üzerinde araştırma yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımına çok benzeyen bu yöntemde 3, 4 ve 5 mm boyutlarında 3 farklı küp ve çapı 1 mm olan silindirik örnekler üzerinde deneyler yapmışlar, yöntemin adına da *Modifiye Edilmiş Nokta Yükleme Dayanımı* (MPLI) demişlerdir. Basınç dayanımı ile MPLI arasında $r=0,95$ 'lık bir ilişki belirlemişlerdir. Tahmin edilen basınç dayanımı değerleri ile ölçülen basınç dayanımı değerleri arasında % 89'luk bir uyum olduğunu görmüşlerdir.

Kotsanis vd. (2016) fillit, şist ve kuvarsit üzerinde yaptıkları çalışmada nokta yükleme dayanımı ile bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin ilişkisini incelemek için 42 mm çapında 68 adet örnek hazırlamışlardır. *P*-dalga hızı ile nokta yükleme dayanımı arasında güçlü ($r=0,91$) doğrusal ilişkiler olduğunu söylemişlerdir.

Masoumi vd. (2016), basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı için boyut etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Basınç dayanımı için çapı 19 ile 146 mm arasında değişen, nokta yükleme dayanımı için çapı 19 ile 65 mm arasında değişen kumtaşı örnekleri üzerinde çapsal; çapı 19 ile 96 mm arasında değişen kumtaşı örnekleri üzerinde ise eksenel deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucu elde ettikleri verileri *Boyut Etkisi Kuralı* ve *Fraktal Çatlak Boyut Etkisi Kuralı* ile incelemişler ve ikisinin birleştirilmiş hali olan *Birleştirilmiş Boyut Etkisi Kuralı*'nı önererek analiz etmişlerdir. Geleneksel tahmin yöntemlerinin aksine, yeni yöntemden elde ettikleri sonuca göre boyutlar büyüdükçe nokta yükleme dayanımının da büyüdüğünü söylemişlerdir.

Jamshidi vd. (2016), traverten örnekleri üzerinde *P*-dalga hızı ve Scmidth çekici sertliğini mekanik özelliklerle tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı ile *P*-dalga hızı arasında $r=0,96$ korelasyon katsayılı, Schmidt çekici sertliği arasında $r=0,81$ korelasyon katsayılı ilişkiler belirlemişlerdir.

Alitalesh vd. (2016), şeyl ve marl taşı üzerinde basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Hem basınç dayanımı hem de nokta yükleme dayanımı için 34 örnek (8 şeyl, 26 marl taşı) üzerinde deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Literatürden elde ettikleri tahmin modellerinde, elde ettikleri deney sonuçlarını yerlerine koyarak basınç dayanımını tahmin etmişlerdir. Genel olarak şeylden elde ettikleri sonuç daha iyi iken, marldan ise sadece sedimanter kayalar için özellikle de silt için önerilen tahmin modellerinde iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Zhang vd. (2016) yaptıkları çalışmada, nokta yükleme dayanımı ile kuvars-mika-şist için dayanım anizotropisi belirlemişlerdir. Numuneleri bir galeri girişinden itibaren farklı noktalardan temin etmişlerdir. Örnekleri 2 farklı, tabakalara dik ve paralel olacak şekilde hazırlamışlar, nokta yükleme dayanımı deneyini de 2 farklı yönde uygulamışlardır. Nokta yükleme dayanımı deneyi sonucunda 21 farklı kırılma modu görmüşlerdir. Giriş kısmından uzaklaştıkça bozunma derecesinin düşmesine paralel olarak nokta yükleme dayanımının arttığını belirlemişlerdir. En yüksek bozunma derecesinin galeri girişinden 88 m uzaklıkta olduğunu belirlemişlerdir.

Koohmishi ve Palassi (2016,) farklı tane boyutundaki (19–25 mm, 25–37,5 mm, 37,5–50 mm, 50–62,5 mm) ve şekillerdeki (altı yüzlü, beş yüzlü, dörtyüzlü) demiryolu balast malzemesinin dayanımını belirlemek için nokta yükleme dayanımını kullanmışlardır. Bunun için bazalt, marl, dolomit ve trakit kayaları üzerinde deneyler yapmışlardır. Örnek boyutu arttıkça nokta yükleme dayanımı değerinin arttığını, fark edilir ve anlamlı bir artış olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca nokta yükleme dayanımı değeri arttıkça kırılma şeklinde 2 parçadan 3 parçaya doğru geçiş olduğunu belirtmişlerdir.

Armaghani vd. (2016), farklı tahmin modelleri ile basınç dayanımını tahmin etmek için kumtaşı üzerinde deneyler yapmışlardır. Çalışmalarında 108 örnek üzerinde basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, *P*-dalga hızı ve Schmidt çekici sertliği deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Doğrusal regresyon analizi ile basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve $r=0,72$ korelasyon katsayılı bir ilişki belirlemişlerdir.

Wong vd. (2017), t f n basıncı dayanımını ve nokta yükleme dayanımını belirleyen bir çalışma yapmışlardır.  alışmalarında 7 farklı t f üzerinde, 25 basıncı dayanımı, 23 çapsal, 25 eksenel ve 246 şekilsiz nokta yükleme dayanımı deneyi gerçekleştirmişlerdir. şekilsiz örneklerin konik başlıklar arasındaki mesafe deney öncesinde 14,7-89,4 mm arasında, deney sonunda 13,8-87,5 mm arasında ölçülmüştür. Nokta yükleme dayanımı değerini belirlerken eşitlikte kalınlık için önce örnek kalınlığını sonra deney sonunda konik başlıklar arasındaki mesafeyi ölçüp onu kalınlık olarak kullanarak hesaplamışlardır. Basıncı dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki dönüşüm katsayısını (K) ve korelasyonları belirledikleri 2 farklı nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Basıncı dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki dönüşüm katsayısını çapsal deney öncesi kalınlık değeri için 18,23 ($r=0,78$), deney sonrası kalınlık değeri için 16,87 ($r=0,76$), eksenel deney öncesi kalınlık değeri için 18,90 ($r=0,87$), deney sonrası kalınlık değeri için 17,67 ($r=0,85$), şekilsiz örnekler için deney öncesi kalınlık değeri için 18,97 ($r=0,81$), deney sonrası kalınlık değeri için 17,45 ($r=0,81$) olarak belirlemişlerdir. Basu ve Aydın (2006)'nın da önerdiği gibi volkanik kayaçlar için nokta yükleme dayanımı belirlenirken örnek kalınlığı yerine deney sonrası konik başlıklar arasındaki mesafenin kullanılması daha doğru olacağını söylemişlerdir.

 apık ve Yılmaz (2017), Mikro Deval değerini tahmin etmek için basıncı dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Brazilian  ekme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Basıncı dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Brazilian  ekme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve Cerchar aşınma indeksi değerleri arttıkk a Mikro Deval değerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Mikro Deval değeri ile nokta yükleme dayanımı değeri arasında $r=0,82$ korelasyon katsayılı üstel bir ilişki elde etmişlerdir. Regresyon analizleri yapmışlar, çoklu regresyon analizi sonucu elde ettikleri tahmin modelinin, basit regresyon analizi sonucu elde ettikleri tahmin modellerine göre daha güvenilir olduğunu söylemişlerdir.

Fakir vd. (2017), granitik kayaçların dayanımlarını inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Nokta yükleme dayanımı, Brazilian  ekme dayanımı, Schmidt çekici sertlik değeri ve P -dalga hızını kullanarak basıncı dayanımını dolaylı yoldan belirleyebilmek için doğru

tahmin modelini belirlemeye çalışmışlardır. Basit regresyon analizi sonucu basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında ($r=0,91$), P -dalga hızı arasında ($r=0,91$), Schmidt çekici sertliği arasında ($r=0,93$), Brazilian çekme dayanımı arasında ($r=0,91$) anlamlı ilişkiler belirlemişlerdir.

Fereidooni ve Khajevand (2017), 6 farklı traverten numunesi üzerinde yaptıkları çalışmada 10 çevrim sonunda suda dağılmaya karşı direnç indeksi ile kuru ($r=0,93$) ve doymuş ($r=0,93$) birim hacim ağırlık, yoğunluk ($r=0,99$), gözeneklilik ($r=0,92$), ağırlıkça su emme ($r=0,85$), P -dalga hızı ($r=0,93$), Schmidt çekici sertliği ($r=0,89$), Brazilian çekme dayanımı ($r=0,95$), makaslama indeksi ($r=0,84$), basınç dayanımı ($r=0,93$) ve nokta yükleme dayanımı ($r=0,91$) arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Gözeneklilik ve ağırlıkça su emme oranı ile ters, diğer özellikler ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Minaeian ve Ahangari (2017), basınç dayanımını ve Brazilian çekme dayanımını nokta yükleme dayanımını kullanarak tahmin etmek için zayıf konglomera üzerinde, 54 mm çapındaki karotları kullanarak 291 örnek hazırlamışlar ve bunlara basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Basit regresyon analizi ve yapay sinir ağlarını kullanarak tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı için dönüşüm katsayısını 11,473 ($r=0,94$) olarak belirlemişlerdir. Regresyon analizleri sonucu basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında ($r=0,99$) Brazilian çekme dayanımına göre ($r=0,88$) daha güvenilir bir ilişki olduğunu söylemişlerdir.

Kabilan vd. (2017), eklemlı kayalar üzerinde nokta yükleme dayanımını kullanarak basınç dayanımını tahmin etmeye çalışan bir çalışma yapmışlardır. Farklı açılardaki pürüzlü eklemlere sahip 120'şer adet örnek üzerinde basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Hem basınç dayanımı hem nokta yükleme dayanımı için 90° eklem açısı ve 60° eklem pürüzlülük açısına sahip örneklerin yüksek dayanım için uygun koşullara sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Ferentinou ve Fakir (2017) kumtaşı, silt taşı, tillit, granit ve dolerit örnekleri üzerinde yapay sinir ağıları yöntemiyle basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. L/D oranı 2 olan 43 adet karot üzerinde basınç dayanımı, 129 örnek üzerinde çapsal, eksenel ve şekilsiz örnekler üzerinde nokta yükleme dayanımı, 258 örnek üzerinde Brazilian çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Basınç dayanımını tahmin etmek için nokta yükleme dayanımı, birim hacim ağırlık ve litolojinin girdi parametresi olarak kullanıldığı bir model önermişlerdir.

Afolagboye vd. (2017), indeks deney yöntemlerini kullanarak agregaların mekanik özelliklerini belirleyebilmek adına bir araştırma yapmışlardır. Los Angeles aşınma, agrega darbe, ufalanma ve % 10 ince malzeme değerleri ile basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve Schmidt çekici sertliği arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Los Angeles aşınma, agrega darbe ve ufalanma değerleri ile basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve Schmidt çekici sertliği değerleri arasında güçlü ilişkiler belirlemişlerdir. Schmidt çekici sertliği ile Los Angeles aşınma dayanımı arasında $r=0,71$, agrega ufalanma değeri arasında $r=0,89$, agrega darbe dayanımı değeri arasında $r=0,82$, % 10 ince malzeme değeri arasında $r=0,56$; basınç dayanımı ile Los Angeles aşınma dayanımı arasında $r=0,56$, agrega ufalanma değeri arasında $r=0,80$, agrega darbe dayanımı değeri arasında $r=0,80$, % 10 ince malzeme değeri arasında $r=0,49$; nokta yükleme dayanımı ile Los Angeles aşınma dayanımı arasında $r=0,67$, agrega ufalanma değeri arasında $r=0,82$, agrega darbe dayanımı değeri arasında $r=0,80$, % 10 ince malzeme değeri arasında $r=0,56$ korelasyon katsayılı ilişkiler elde etmişlerdir. Agregaların mekanik özelliklerinin basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve Schmidt çekici sertliği kullanılarak tahmin edilebileceğini söylemişlerdir.

Masoumi vd. (2017) su içeriğinin kumtaşının mekanik davranışı üzerine etkisi arasında görgül eşitlikler geliştirmişlerdir. L/D oranı 2,5 olan 25 örnek üzerinde basınç dayanımı, L/D oranı 1 olan 23 örnek üzerinde eksenel, 21 örnek üzerinde çapsal nokta yükleme dayanımı, L/D oranı 0,5 olan örnekler üzerinde Brazilian çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Su içeriğiyle basınç dayanımı arasında $r=0,94$, nokta yükleme dayanımı arasında $r=0,99$, çekme dayanımı arasında $r=0,89$ korelasyon katsayılı ilişkiler elde etmişlerdir. Ölçülen mekanik özellik değerlerinin hepsinin su

içeriğinin artmasıyla düştüğünü belirlemişlerdir. Kullandıkları görgül model ile deneysel verilerin uyuştuğunu söylemişlerdir.

2.1. Doktora Tez Çalışmasının Literatüre Katkısı

Nokta yükleme dayanım indeksi deneyi adından da anlaşılacağı gibi indeks bir deneydir. İndeks deneyler basit, ucuz ve kısa sürede gerçekleştirebilen deneyler oldukları için yaygın olarak tercih edilirler. Fakat indeks deneylerden elde edilen veriler mühendislik tasarımında doğrudan kullanılmamaktadır. İndeks deneyler tasarım deneyleri olarak adlandırılan grupta yer alan tasarım deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin (doğrudan çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı, makaslama dayanımı, Elastisite modülü ve Poisson oranı vb.) dolaylı olarak kestiriminde kullanılabilirler. Fakat mevcut nokta yükleme dayanımı deney yönteminin hatalarından dolayı elde edilen sonuçlar sağlıklı olmamakta ve yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinin, tünellerin, barajların, köprülerin, binaların, kaya kütle ve kazılabilirlik sınıflama sistemlerinde vb. dolaylı yoldan tasarım parametresi olarak kullanılması bazı hatalar doğurmaktadır. Bugüne kadar yapılan tüm nokta yükleme dayanım indeksi ile ilgili çalışmalarda bu hatalar göz ardı edilmiştir.

Bu tez çalışmasında deneylerin, bu hataların ve sakıncaların giderildiği yeni nokta yükleme deney cihazında tekrarlanması durumunda tasarım deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin kestirimi için daha ve doğru daha anlamlı ilişkiler veren yeni eşitlikler de önerilebilecektir. Ayrıca, ISRM tarafından önerilen deney metodolojisinin geçerliliği, hataları, sakıncaları vb. açılardan değerlendirilmesi yapılarak, mevcut nokta yükleme dayanım deney cihazlarında deney yapılması durumunda deney öncesi ve sonrası bazı ölçümler yapılmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

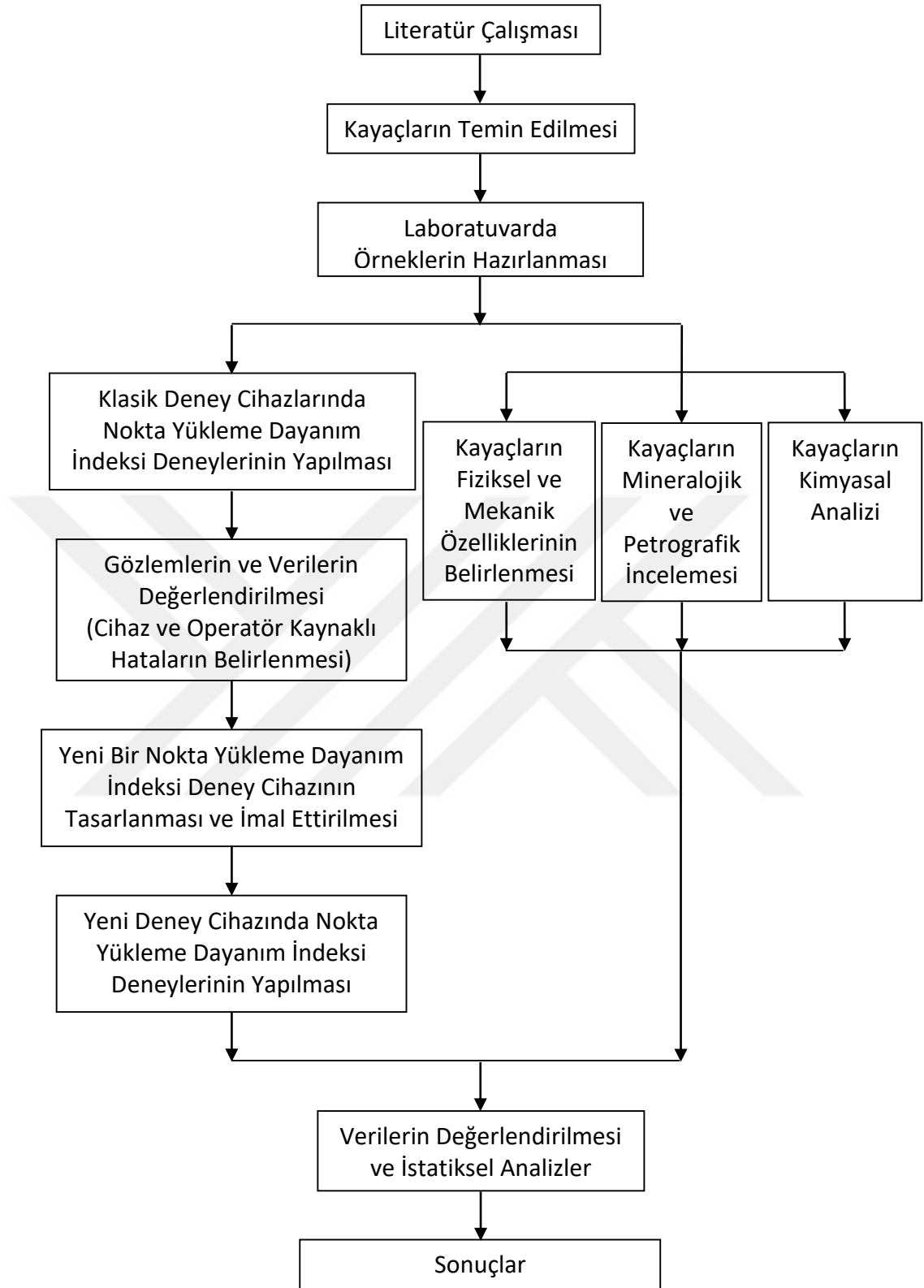
Çeşitli mermer işleme fabrikalarından plakalar şeklinde temin edilen kayaçlar, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarına getirilmiş ve düzlemsel konumları dikkate alınarak belli şekil (50×50×30 mm) ve hacme sahip (75 cm³), ISRM (1985; 2007)'de önerilen standartlara uygun olarak deney örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler üzerinde farklı marka ve modele sahip nokta yükleme dayanımı deney cihazları kullanılarak (farklı üniversite ve araştırma laboratuvarlarında mevcut olan) nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler esnasında yapılan gözlemler sonucunda nokta yükleme dayanımı deneyi esnasında meydana gelen cihazdan ve operatörden kaynaklı hatalar belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasına başlamadan önce 4 farklı nokta yükleme deney cihazıyla 2 farklı kayaç örneği üzerinde (birbirlerine göre göreceli olarak dayanımı yüksek ve düşük olan) bir ön çalışma yapılmış ve bu çalışma esnasında bazı gözlemler yapılmıştır. Literatürde nokta yükleme dayanım indeksinin konu olduğu veya kullanıldığı çalışmalar da incelenmiştir. Bugüne kadar yapılmış çalışmalarda karşılaşılan problemler ve zorluklarla ön çalışmadaki gözlemler birleştirilerek, deneyin uygulanacağı cihazlarda deneylerden önce bazı ölçümlerin yapılması öngörülmüş ve bunlara uygun bir metodoloji geliştirilmiştir. Bir form oluşturularak bu bilgiler bu forma işlenmiştir. Bu amaçla;

- Deney yapılacak nokta yükleme dayanımı deney cihazlarında, üzerlerinde bulunan yük göstergelerinden okunan değerlerin doğruluğunu test edebilmek için, 1 ton kapasiteye sahip bir yük hücresi satın alınmış ve deneyler uygulanmadan önce ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.10).
- Konik başlıklarının uç kısımlarının sertliğini belirlemek üzere bir portatif sertlik cihazı satın alınmış ve bu cihaz ile konik başlıkların uç kısımlarının sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12).

- Nokta yükleme deney cihazında bulunan konik başlıkların açıları (α) ve uç kısımlarının küresellik yarıçaplarını (r) belirlemek için, her bir konik başlık oluşturulan düzeneğe üzerine konarak fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 3.14).
- Nokta yükleme dayanımı deneyi standartlarında hidrolik yükleme sisteminin kol boyu (L) ile ilgili sınırlandırıcı bir ifade olmamasına rağmen, deney cihazlarının hidrolik yükleme kol boylarının farklı uzunlukta olmalarından dolayı yükleme kolu boyları (L) ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında kullanılan klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarındaki hataları/farklılıkları/eksiklikleri ve operatörden kaynaklanan etkileri mümkün olduğunca önleyecek bir tasarımla yeni bir nokta yükleme deney cihazının tasarımı yapıp imal ettirilmiştir. Bilgisayar kontrollü otomatik yükleme yapma yeteneğine sahip YNY için ön çizimler yapılmış ve bir taslak oluşturulmuştur. Bu taslak çalışmada yükleme hızı deney standardında (ISRM 1985; 2007) verilen limitler içinde ayarlanabilir özellikli, yenilme yükü değeri, zaman kayıtlı ve bütün bu verileri bir veri işleme sistemi ile depolama ve anlık verileri gösteren dijital göstergeleri içeren cihazın ön tasarımı yapılmıştır. Nokta yükleme deney cihazı üreten firmalarla iletişime geçilip fiyat çalışmaları yaptırılmıştır. En uygun fiyat ve tedarik süresi göz önünde bulundurularak bir firmayla anlaşılmış ve cihazın imal aşaması takip edilmiştir. Daha sonra yeni imal ettirilen YNY’de aynı kayaçlar üzerinde deneyler uygulanmıştır. Tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri de belirlendikten sonra elde edilen verilerin istatistiksel analizleri yapılmıştır. Böylece KNY ile tasarlanıp imal ettirilen YNY’de yapılan deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin birbirleriyle olan tutarlılık dereceleri incelenerek, güvenilirlikleri irdelenmeye çalışılmıştır. KNY’den elde edilen değerlerin düzeltilmesi/normalleştirilmesi için bazı eşitlikler önerilmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmaların akım şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Akım Şeması

3.1. Kayaçların Temini ve Deneyler İçin Örnek Hazırlanması

Tez çalışmasında kullanılan kayaçların seçiminden önce bu konuda yapılmış çalışmalar incelenerek ve Süleyman Demirel Üniversitesi bünyesinde bulunan bölüm ve araştırma merkezleri laboratuvarlarında bulunan mevcut nokta yükleme dayanımı deney cihazlarında (4 farklı cihaz) 2 farklı dayanıma sahip kayaç örneği üzerinde (kireçtaşı ve mermer) ön çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ve örnek hazırlama kolaylığı da göz önünde bulundurularak ISRM (1985; 2007) tarafından önerilen standartlara uygun olacak şekilde 50×50×30 mm boyutlarında prizmatik örneklerin hazırlanmasına karar verilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan kayaçlar farklı dayanım değerlerine sahip kayaçları da temsil etme imkânı sağlaması açısından orta dayanımdan yüksek dayanıma doğru ($\sigma_c=64,2-154$ MPa) bir dayanım skalası oluşturacak şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Türkiye'nin farklı bölgelerinden 7 farklı türde kayaç seçilmiştir (Çizelge 3.1). Bu tez çalışmasında kullanılan kayaçlar seçilirken ve deney örnekleri hazırlanırken kayaçları etkileyen faktörler de göz önünde bulundurulmuştur. Kayaçları etkileyen kaya faktörleri incelendiğinde bunlar kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

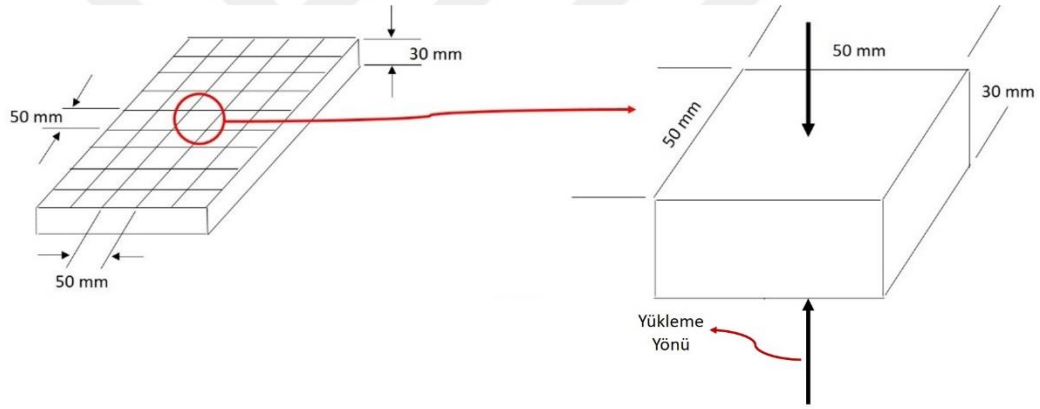
- I. Litoloji:** Kayacın cinsi, minerolojik bileşimi, tane büyüklüğü, dokusu, çimentosu, çimentolanma derecesi ve ayrışma özellikleridir.
- II. Anizotropi:** Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yönlerle bağlı olarak değişmesine anizotropi denir.
- III. Heterojenlik:** Kayaçların her noktasında veya her bölümünde farklı özellik göstermesini ifade eden özelliğidir.
- IV. Süreksizlikler:** Kayaların oluşumu sırasında veya daha sonra kazandıkları yapı kusurlarıdır.

Bir kayaca ait 10 m'lik bir karot numunesinden elde edilen deney örneklerine deneyler uygulandığında, derinliğe bağlı olarak mutlaka standart sapmayı az veya çok değiştirecek farklılıklar olacaktır. Bu nedenle kayaç seçiminde kayaçların olabildiğince heterojenlikten ve anizotropiden uzak olmasına dikkat edilmiştir. Derinliğe bağlı

farklılıkların önüne geçebilmek amacıyla, deney örnekleri aynı bloktan yatay doğrultuda elde edilmiş 30 mm kalınlığındaki plakalardan Şekil 3.2’de şematik olarak gösterildiği gibi hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1. Tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların temin edildiği bölgeler ve jeolojik kökenleri

Kayaç Adı	Kayaç Kodu	Köken	Bölge
Kireçtaşı-1	K-1	Sedimanter	Isparta
Kireçtaşı-2	K-2	Sedimanter	Isparta
Killi Kireçtaşı	K-3	Sedimanter	Antalya
Mermer	M	Metamorfik	Muğla
Andezit	A	Magmatik	Isparta
Granit	G	Magmatik	Aksaray
Diyabaz	D	Magmatik	Kayseri



Şekil 3.2. Plakalardan örneklerin hazırlanma şekli

Çeşitli doğal taş işleme fabrikalarından seçilen kayaçlara ait 30 mm kalınlığındaki plakalar önce Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarına getirilmiştir (Şekil 3.3). Laboratuvarında 7 farklı tür kayaçtan 15 farklı deney cihazında deney yapılması için örnekler hazırlanmıştır (Şekil 3.4).

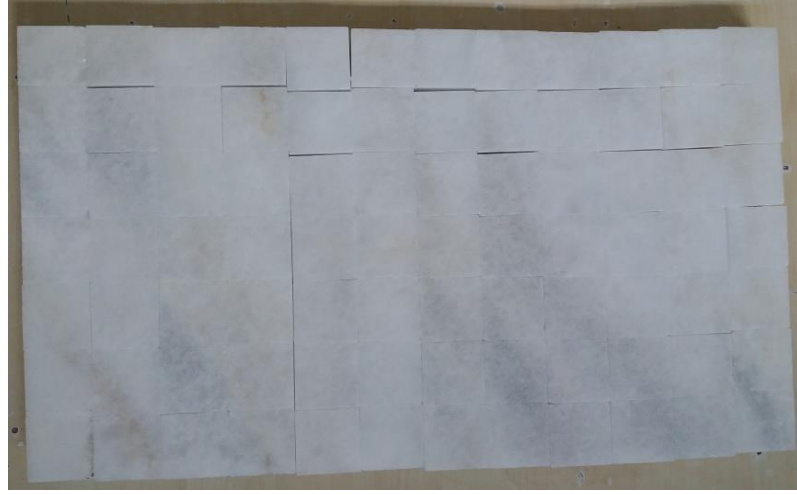


Şekil 3.3. Çeşitli doğaltaş işleme fabrikalarından kayaçların temini ve laboratuvara getirilmesi



Şekil 3.4. Nokta yükleme dayanımı deneyleri için örnek hazırlama işlemi

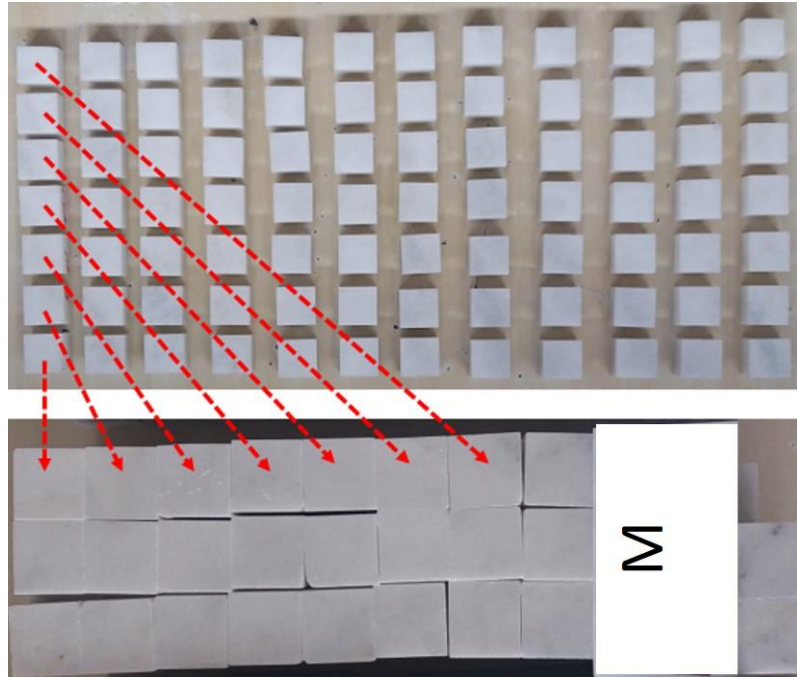
Deney örnekleri hazırlanırken, 1000×600×30 mm'lik plakalar başkesme makinesine sığacak plakalar haline getirilmiştir. Plakalar 350×50×30 mm'lik dilimlere ayrılmış, elde edilen bu dilimlerden 50×50×30 mm'lik prizmatik örnekler kesilmiştir. Hazırlanan örneklerin 15 farklı deney cihazına homojen dağılılabilmesi, plakaların genelinde bulunan veya bulunması mümkün olan kusurların aynı oranda her bir deney cihazında eşit sayıda bulunabilmesini sağlamak için plakalardan kesilen parçalar tek tek, sırayla gruplara dağıtılmıştır (Şekil 3.5-3.8).



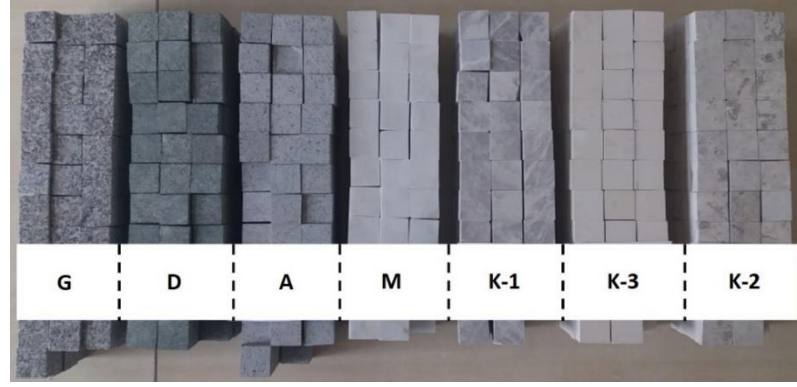
Şekil 3.5. 600×350×300 mm'lik plaka örneği



Şekil 3.6. 350×50×30 mm'lik prizmatik örnekler

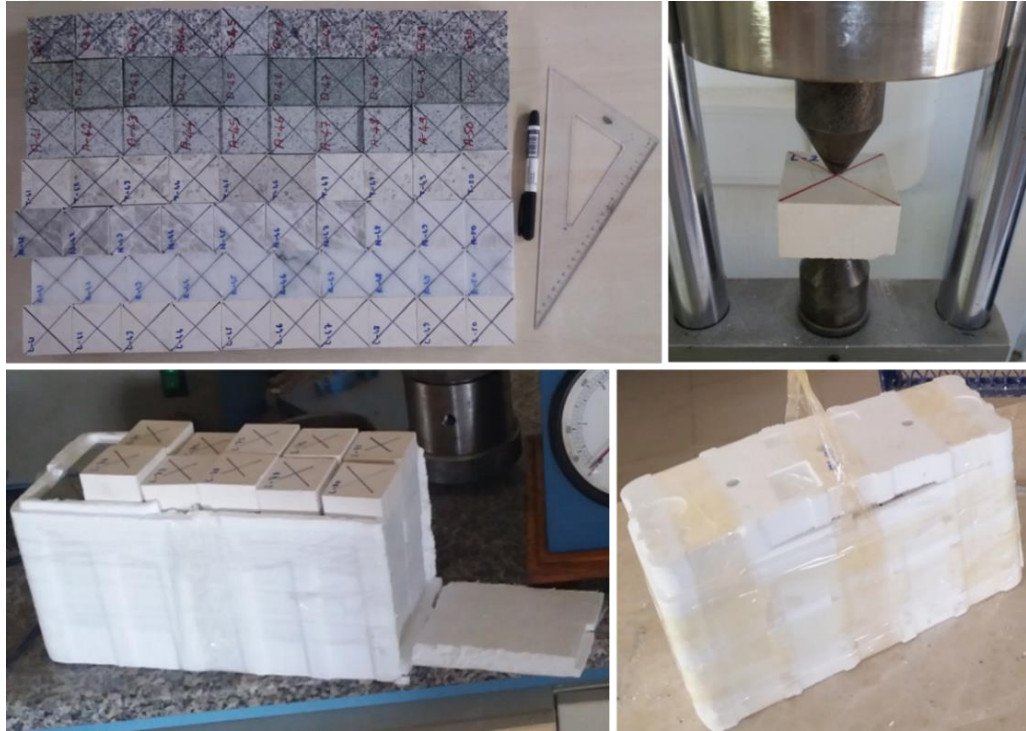


Şekil 3.7. 50×50×30 mm'lik örnekler ve dağılımı



Şekil 3.8. Nokta yükleme dayanımı deneyleri için hazırlanan örneklerin genel görünümü

Her bir deney cihazı için her kayaç türünden 10'ar adet örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan prizmatik örnekler deneyi uygulayacak operatörün yükleme işlemini örneğin tam orta noktasından yapabilmesi için, örnekler köşegenlerinden çizilerek orta noktaları belirlenmiştir. Her bir takım örnek nakliye esnasında zarar görmemesi için köpük kutuların içerisinde ve aralarına da tampon şeklinde köpükler konularak muhafaza edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Nokta yükleme dayanımı deneyleri için hazırlanan örnekler ve muhafaza yöntemi

3.2. Deneyler Öncesi Deney Cihazları İle İlgili Yapılan Ölçümler

Tez çalışmasına başlamadan nokta yükleme dayanım indeksi deneyi ile ilgili standartlar (ISRM, 1985; 2007 ve ASTM, 1998; 2008) incelenmiş, bir ön çalışma yapılmış ve bu çalışma esnasında bazı gözlemler yapılmıştır. Konuyla ilgili literatür taranırken bugüne kadar yapılmış çalışmalarda karşılaşılan problemler ve zorluklar, ön çalışmadaki gözlemler ile birleştirilerek, standartta belirtilen hususlar da göz önüne alınarak deneyin uygulanacağı cihazlarda deneylerden önce bazı ölçümlerin yapılması öngörülmüştür. Bunun için bir form oluşturularak bu bilgiler bu forma işlenmiştir (Çizelge 3.3).

3.2.1. Yük göstergesi değeri ölçümü (kalibrasyon kontrolü)

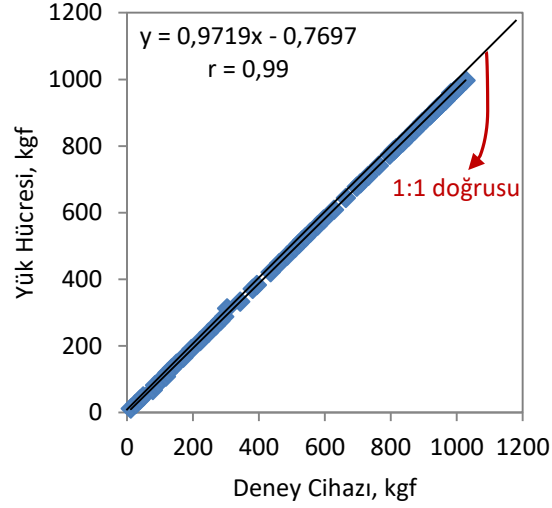
Bu tez çalışması kapsamında kullanılan 15 farklı KNY'nin kalibrasyonlarının kontrolünü sağlamak amacıyla CAS marka 1 ton kapasiteli baskı tipi yük hücresi satın alınmıştır. Deney yapılacak cihazlarda yük hücresi vasıtasıyla cihazın göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler videoya çekilmiştir (Şekil 3.10). Yavaşlatılmış çekim şeklinde bu görüntüler izlenerek cihazın göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler eş zamanlı olarak not edilmiştir. Bu değerler Microsoft Office Excel programına aktarılmıştır (Çizelge 3.2). Program yardımıyla cihazın göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler grafiğe dökülmüş ve ilişki grafikleri çizdirilerek aralarındaki ilişkiye bakılarak bir düzeltme katsayısı belirlenip, okunan değerlerin düzeltilmesine gerek olup olmadığına karar verilmiştir. 15 farklı KNY için herhangi bir düzeltme yapılmasına gerek olmadığı görülmüştür. Örnek olarak, 10 no'lu nokta yükleme dayanımı deney cihazı için elde edilen tipik veriler Şekil 3.11 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Deney cihazı kalibrasyon kontrolü

Çizelge 3.2.10 no'lu cihazın göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler

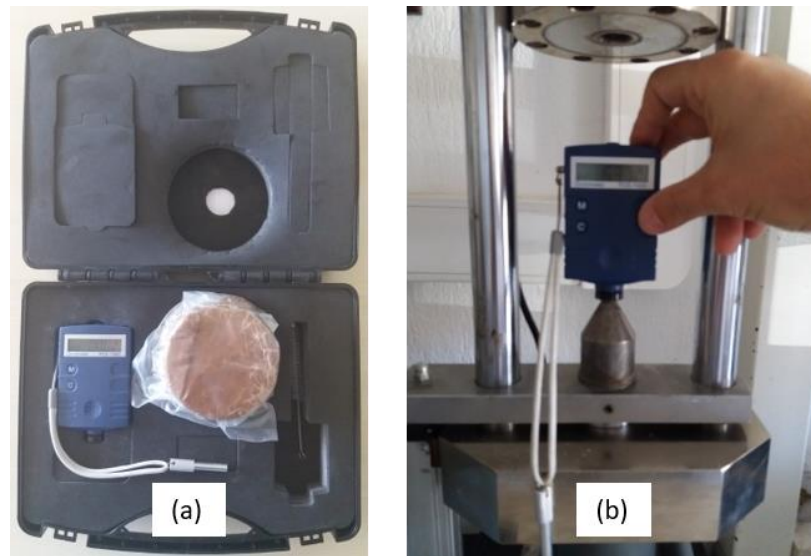
Cihaz Göstergesi (kgf)	Yük Hücresi (kgf)	Cihaz Göstergesi (kgf)	Yük Hücresi (kgf)	Cihaz Göstergesi (kgf)	Yük Hücresi (kgf)	Cihaz Göstergesi (kgf)	Yük Hücresi (kgf)
11,5	11,5	283,5	275,0	664,0	644,0	931,5	904,0
26,5	25,0	295,5	287,5	697,5	677,5	940,0	912,5
40,0	38,5	303,5	313,0	708,5	688,0	943,0	915,5
50,0	48,5	343,5	333,0	732,0	710,0	946,0	918,5
78,8	67,5	382,0	371,5	764,5	741,0	953,5	925,0
85,5	82,5	394,5	383,0	797,5	773,5	965,5	936,5
94,5	87,0	435,5	421,5	809,0	786,5	976,0	947,5
104,8	100,5	462,5	448,0	810,5	787,0	980,5	952,0
118,8	108,5	486,0	471,5	816,5	793,0	983,0	959,5
123,0	119,5	509,5	494,5	836,5	811,5	992,5	963,5
136,0	132,0	521,0	506,0	853,5	828,0	993,5	964,5
151,0	146,0	531,5	516,5	871,5	845,5	997,5	968,5
170,5	165,0	542,0	526,0	885,5	859,5	1004,0	974,5
196,5	190,5	556,0	540,0	896,5	870,5	1027,0	996,5
222,0	215,0	578,5	561,5	905,5	879,0		
247,5	239,5	597,0	579,5	917,5	890,5		
269,5	261,5	628,0	609,0	922,0	895,0		



Şekil 3.11. 10 Kodlu deney cihazının göstergesinde okunan değerler ile yük hücresinin göstergesinde okunan değerler

3.2.2. Konik başlık ucu yüzey sertliği değeri ölçümü

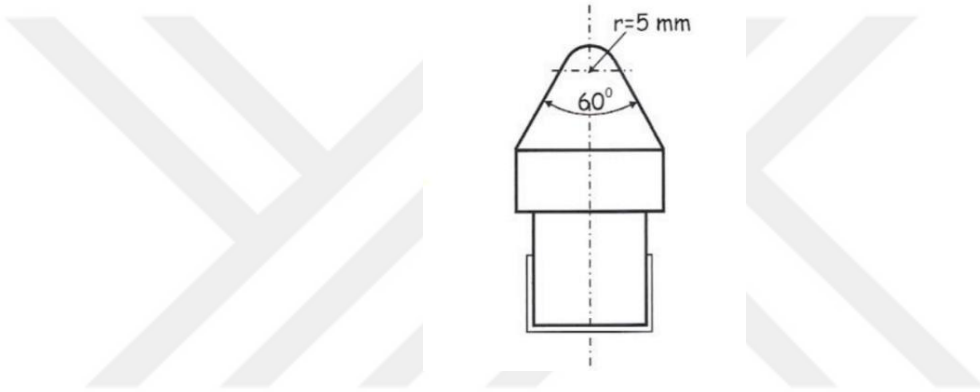
ASTM (1995; 2008)'in önerdiği standartta konik başlıkların tungsten karbür veya sertleştirilmiş çelikten (Rockwell sertlik değeri 58 HRC) imal edilmesini önermektedir. Sertlik değerinin ölçümünün yapılabilmesi için PCE marka sertlik ölçüm cihazı satın alınarak deneyler öncesinde konik başlıkların uç kısımlarının sertlik değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.12). Ölçüm sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.



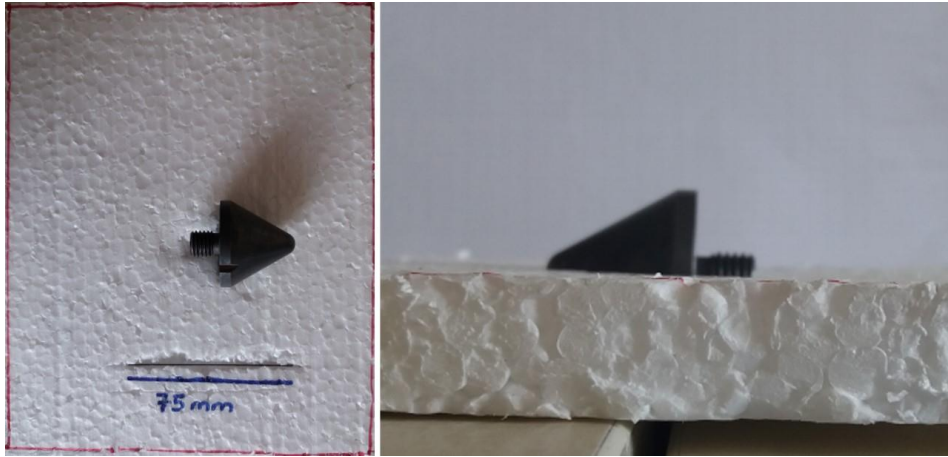
Şekil 3.12. (a) Sertlik ölçüm cihazı, (b) konik başlık sertlik ölçümü

3.2.3. Konik başlık açısı ve uç kısmının küresellik yarıçapı ölçümü

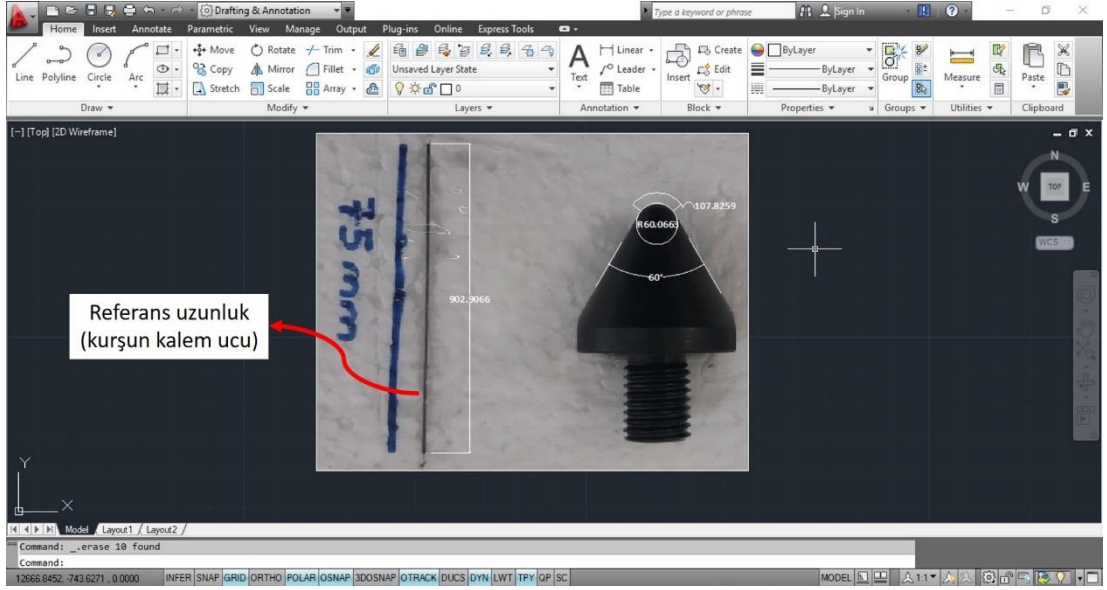
ISRM (1985; 2007)'e göre konik başlıklar $\alpha=60^\circ$ 'lik bir açığa sahip ve uç kısımları $r=5$ mm yarıçapında yuvarlatılmış olmalıdır (Şekil 3.13). Bunun kontrolü için laboratuvarında basit bir düzeneğe tasarlanmış ve konik başlıkların eksenleri yere paralel olacak şekilde bu düzeneğin üzerine konularak dik konumda (kuş bakışı 90°) fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 3.14). Daha sonra bu fotoğraflar AUTOCAD programında konik başlıkların açıları ve küresellik yarıçap değerleri resimdeki referans uzunluk yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.15). Ölçüm sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.13. ISRM (1985; 2007)'nin önerdiği standart konik başlık



Şekil 3.14. Konik başlıkların açı ve uç kısımlarının küresellik yarıçap ölçümü için hazırlanan düzeneğe



Şekil 3.15. Software yardımıyla konik başlıkların açısı ve uç kısımlarının küresellik yarıçap çizimi ve ölçümü

3.3. Deney Yapılan Cihazlar

Çalışma kapsamında 7 farklı üniversitedeki 12 farklı laboratuvarında mevcut olan 15 farklı KNY’de nokta yükleme dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır. Cihazlar 8 farklı markada, 6 tanesi mekanik göstergeli, 9 tanesi de dijital göstergelidir. Cihazlara ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.3’te verilmiştir. Cihazlarda kullanılan konik başlıklar incelendiğinde 5 farklı geometriye ve 2,2-6,2 mm arasında değişen küresellik yarıçap değerine sahip konik başlık olduğu tespit edilmiştir. Konik başlıkların uç kısımlarının yüzey sertlik değerlerinin 51-64 arasında değiştiği görülmüştür. Yükleme kol boyları karşılaştırıldığında da 35–51 cm arasında değişen 10 farklı kol boyu ölçülmüştür.

Çizelge 3.3. Nokta yükleme dayanımı deneyi yapılan cihazların bazı teknik özellikleri

Cihaz No	Kullanıma Geçiş Tarihi	Menşei	Yük Göstergesi	Yükleme Kolu Boyu (cm)	Konik Başlık Küresellik Yarıçapı (mm)	Konik Başlık Açısı (°)	Konik Başlık Sertliği (HRc)	Cihazın Durumu
1	2012	Yerli	Dijital	51,0	5,8	60	63	Fazla yükleme hamlesi
2	1995-2000	Yabancı	Mekanik	45,0	6,1	60	64	Fazla yükleme hamlesi
3	1995-2000	Yabancı	Mekanik	45,0	5,2	61	59	-
4	2007	Yerli	Dijital	39,5	2,2	60	53	-
5	1999	Yerli	Mekanik	50,5	6,2	61	59	-
6	2011	Yerli	Dijital	44,5	4,4	63	56	-
7	2000	Yabancı	Mekanik	35,0	5,9	60	51	Yağ kaçırma
8	1995-2000	Yabancı	Mekanik	45,0	5,6	60	64	Yağ kaçırma, fazla yükleme hamlesi
9	2014	Yerli	Dijital	47,0	4,0	63	57	-
10	2013	Yerli	Dijital	40,0	5,6	60	61	-
11	1995-2000	Yabancı	Dijital	45,0	5,6	61	60	Eksenden sapma, fazla yükleme hamlesi
12	2016	Yerli	Dijital	43,5	5,0	60	58	Yağ kaçırma
13	2008	Yerli	Dijital	39,5	3,9	60	54	-
14	2016	Yerli	Dijital	36,5	3,9	60	63	-
15	1995-2000	Yabancı	Mekanik	44,5	5,4	61	62	Eksenden sapma, fazla yükleme hamlesi
Referans değerler				-	5,0	60	>58	

3.4. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

KNY kullanımında cihaz ve operatör kaynaklı hataların belirlenmesi ve bunların önlenmesi için yeni bir nokta yükleme deney cihazı tasarlanmasını amaçlayan bu tez çalışmasında kullanılan kayaçların tanımlanmasının yapılabilmesi için mermer işleme fabrikalarından temin edilen plakalardan örnekler hazırlanmış ve ilgili standartlar çerçevesinde bu kayaçların fiziksel ve mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir.

3.4.1. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deney örneklerinin hazırlanması

Doğal taş işleme fabrikalarından temin edilen kayaç örneklerinden Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nde belirtilen ve Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 2007) tarafından önerilen deneylerde aranan örnek boyutları hazırlanmıştır. Düzgün blok

örneklerinden baş kesme makinası (Şekil 3.16) ile standartlarda belirtilen boyutlarda deney örnekleri kesilmiştir. Deney örneklerinin laboratuvar ortamında uzun süre bekletilip ortam şartlarından çok fazla etkilenmemesi için, bekletilmeden deneylere tabi tutulmuşlardır.



Şekil 3.16. Örnek hazırlama işlemi

3.4.2. Kayaçların fiziksel özellikleri

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve ISRM'in önerdiği ilgili standartlar dikkate alınarak birim hacim ağırlık (TS EN 1936, 2010), hacimce ve ağırlıkça su emme (TS EN 13755, 2009), görünür ve toplam (TS EN 1936, 2010), yoğunluk (TS EN 1936, 2010), sismik hız (TS EN 14579, 2006), aşınma direncinin tayini (TS EN 14157, 2005) ve Schmidt çekici sertliği (ISRM, 2007) deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1-5.5'te verilmiştir. Şekil 3.17'de yapılan deneylerin yapılması esnasındaki bazı görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.17. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler

3.4.3. Kayaçların mekanik özellikleri

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için TSE ve ISRM'in önerdiği ilgili standartlar dikkate alınarak tek eksenli basınç dayanımı (TS EN 1926, 2007), indirek çekme dayanımı (ISRM, 2007), yoğun yük altında (TS EN 12372, 2013) ve sabit moment altında (TS EN 13161, 2014) eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.6-5.8'de verilmiştir. Şekil 3.18'de yapılan deneylerin yapılması esnasındaki bazı görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.18. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler

3.4.4. Kayaçların kimyasal özellikleri

Kimyasal analizler için bu tez çalışmasında kullanılan kayaçlar öncelikle Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında uygun kimyasal analiz boyutunun ($<100\ \mu\text{m}$) altına indirilmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

3.4.5. Kayaçların mineralojik ve petrografik olarak incelenmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaç örneklerinin mineralojik ve petrografik incelemeleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne ait Laboratuvarlarda ince kesitleri hazırlanarak, mikroskop ile mineralojik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Bölüm 5.3’te verilmiştir.

4. CİHAZ VE OPERATÖR KAYNAKLI HATALARIN BELİRLENMESİ, YENİ BİR DENEY CİHAZININ TASARLANMASI

Kaya örneklerinin hazırlanmasından sonraki süreçte seçilen 15 farklı KNY’de 7 farklı kayaç türünde nokta yükleme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler öncesinde yapılan ölçümler, deneyler sonunda elde edilen sonuçlar ile deneyler esnasında yapılan detaylı ve hassas gözlemler sonucunda KNY’nin gerek cihaz ve gerekse de deneyi yapan operatör kaynaklı hataları ve sakıncaları belirlenmeye çalışılmıştır.

Hata; miktarı, sebebi ve yönü belli olmayan ancak her ölçüde bir miktar bulunan gerçek ölçümden olan sapmalardır. Hatanın gelebileceği kaynaklar şunlardır;

- 1) Ölçenden (ölçen kişiden) kaynaklanan hatalar:** Ölçme yapılan esnadaki fiziksel ve psikolojik durumu, yorgunluk, uykusuzluk, gerginlik gibi durumlar hataya sebep olabilmektedir.
- 2) Ölçülenden (ölçülen özellikten) kaynaklanan hatalar:** Şartların ölçülen özelliğe etkisi de hataya sebep olmaktadır.
- 3) Ölçü aracından kaynaklanan hatalar:** Ölçü aracının ayarsız, bozuk olması vb. hatalardır.

Hatanın bunlardan hangisinden geldiği biliniirse hata giderilebilir. Ancak, çoğu zaman hatanın kaynağı bilinemediği gibi, pozitif yönlü mü negatif yönlü mü olduğu da bilinmemektedir. Hata çeşitleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 1) Sabit hatalar:** Her bir ölçme için miktarı değişmeyen hatalara sabit hatalar denir. Bu tür hatalar ortalamayı yüksek veya düşük gösterebilir ancak, dağılım ölçülerini değiştirici bir etkisi yoktur.
- 2) Sistemik hatalar:** Bu tür hatalar bütün ölçümler için sabit değildir, hata belli oranda karışır. Hatanın kaynağı bellidir ve hata düzeltilebilir.
- 3) Tesadüfî hatalar:** Şansla ortaya çıkan ve ne yönde etki ettiği belli olmayan hatalardır. Aynı özelliklerle ilgili çok sayıda ölçme yapılacak olursa tesadüfî hataların ortalaması sıfıra yaklaşır.

Bir ölçme işleminde bu hataların biri, ikisi veya her üçü de birlikte olabilir. Yapılacak değerlendirmelerin isabetli olabilmesi için ölçmelerin bir dereceye kadar bu hatalardan arındırılması gerekir. Özellikle tesadüfî hatalar ölçme aracının güvenilirliğini etkilemektedir (Taşkoparan, 2011).

Nokta yükleme dayanımı deneyi esnasında meydana gelen en büyük hata aynı operatör tarafından kullanılsa bile yükleme hızının sabit tutulamaması ve yükleme işleminin kesiksiz (sürekli) olarak uygulanamaması şeklinde görülmüştür. Yükleme işlemi manuel olarak yapıldığı için, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve sürekliliği deneyi yapan kişiden kişiye değişiklik göstermektedir. Bu durum da deney sonuçlarının doğruluğu/güvenilirliği hakkında soru işaretleri oluşturmaktadır. Bunların yanında farklı üreticiler tarafından üretilen deney cihazlarında tasarımsal hatalar da (konik başlığın uç kısmının küreselliğinin 5 mm'den büyük veya küçük yarıçap değerlerinde yuvarlatılmış olması gibi) bulunmaktadır. Konik başlıkların teknik özelliklerinin operatör tarafından ölçülmeden/kontrol edilmeden deneylerin yapılması ve sadece sonuçların yayınlarda verilmesi ve bu verileri de diğer araştırmacıların kullanarak değerlendirmeler yapması bazı bilimsel değerlendirme hatalarına da yol açmaktadır.

4.1. Cihaz ve Operatör Kaynaklı Hataların Belirlenmesi

4.1.1. Yükleme hızı

Klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarında yükleme işlemi manuel olarak yapıldığı için, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve sürekliliği deneyi yapan operatöre, cihazın bulunduğu platformun yüksekliğine, operatörün boyuna vb. göre değişiklik göstermektedir. Bu durumlarda deney sonuçlarının doğruluğu/güvenilirliği hakkında soru işaretleri oluşturmaktadır. Basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi deneylerde yük kontrollü ve/veya deformasyon kontrollü presler kullanılmaktadır. Bu sayede kayaca göre yükleme hızı otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Ancak, günümüzde gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde üretilen nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının neredeyse tamamında yükleme elle (operatörle) yapılmakta ve yükleme hızı operatörün tecrübesine ve hassasiyetine bırakılmaktadır. Dolayısıyla yükleme hızı

ve süresi doğrudan yenilme süresine de etki etmektedir. Bu durum **yenilme süresi** başlığı altında daha detaylı olarak incelenmiştir.

Sabit hızda sürekli yükleme yapabilen yeni cihazda deney uygulanmadan önce hidrolik krikonun yükselme hızını her kayaç çeşidi için aynı hızda ayarlayabilmek için ön testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda dayanımı en yüksek kayacın yenilme süresi 60 saniyeyi geçmeyecek, dayanımı en zayıf olan kayaç için de 10 saniyenin altına düşmeyecek ve yükleme sabit hızda sürekli olacak şekilde, deneylerde standart sağlamak ve elde edilen sonuçları yorumlayabilmek için sabit bir hız belirlenmiştir. Deneyler sırasında zamana bağlı yük değişimleri kaydedilmiştir. Deneylerin yük-zaman verileri bilgisayarda Excel ortamına aktarılarak yük-zaman grafikleri çizdirilmiştir. Kayıt edilen yenilme yükleri ve yenilme için geçen toplam zaman değerleri dikkate alınarak her bir örnek için yükleme hızı ayrıca hesaplanmıştır (Eşitlik 4.1). Sabit yükleme hızında, üniform yükleme sağlandığı halde, aynı kayaç türünde her örnek için yükleme hızları farklı olmuştur.

$$\text{Yükleme hızı} = \frac{\text{Yenilme anındaki yük (kN)}}{\text{Yenilme için geçen süre (s)}} \quad (4.1)$$

KNY’de manuel olarak deney yapılırken üniform yükleme sağlanamadığı için yükleme hızı anlık olarak değişkenlik göstermektedir. Farklı operatörler deneyi uygularken yükleme hızı operatörden operatöre farklılık göstermekte, anlık değişimler ise deneyin kendi içindeki dinamiğini ve duraylılığını çok farklı etkileyebilmektedir. Bunun sonucu olarak da kayacın yenilme yükü değişmektedir. Farklı operatörlerdeki yaş, fizyolojik durum, kol gücü, cihaza göre olan konum, boy, psikolojik durum, yorgunluk hali vs. deneyin uygulanış metodolojisini ve hassasiyetini etkilemektedir. Bu da nokta yükleme dayanımı değerini doğrudan değiştirmektedir. Çalışma boyunca tekrar tekrar bahsedildiği üzere nokta yükleme dayanımındaki 1 MPa’lık değişme tek eksenli basınç dayanımında ortalama 24 MPa’lık bir artışa veya azalışa neden olmaktadır. Nokta yükleme dayanımının doğrudan kullanıldığı sınıflama sistemlerinde değişim aralıklarının küçük olması, nokta yükleme dayanımının da göreceli olarak küçük bir değer olmasından dolayı, yükleme hızındaki küçük bir değişimin nokta yükleme

dayanımında ve/veya kullanıldığı sınıflama sisteminde ve/veya tek eksenli basınç dayanımının dolaylı olarak tahmininde etkisi büyük olmaktadır.

4.1.2. Yenilme süresi

Yenilme süresi **yükleme hızı** ile birlikte değerlendirilmelidir. ISRM (1985; 2007)'e göre nokta yüklemeye dayanımı deneyinde yüklemeye işlemi başladıktan sonra 10-60 saniye içerisinde yenilme gerçekleşmelidir. Çok hızlı ya da çok yavaş yüklemeye işlemi kayacın olması gerekenden daha yüksek ya da daha düşük bir yenilme yükü sergilemesine neden olmaktadır.

Yüklemeye hızının yüksek olması yenilme süresinin kısa olmasına sebep olmakta bu da daha yüksek değerler ölçülmesine, yüklemeye hızının çok yavaş olması da daha düşük değerler ölçülmesine sebep olmaktadır. Topal (2000) değişik projelerde operatörlerin nokta yüklemeye cihazını kullanmalarını incelemiş ve operatörlerin bu deneye yeterli önemi vermemeleri durumunda genelde yüklemenin çok hızlı olduğunu ve kayacın kırılmasının 3-6 saniye içerisinde gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Bu durum, olması gerekenden daha yüksek yenilme yüklerinin ölçülmesine neden olmaktadır. Bowden vd. (1998)'de yaptıkları çalışmada benzer gözlemlere değinmişlerdir. Bu nedenle, kayaçların doğru/sabit/gerçekçi nokta yüklemeye dayanımlarının belirlenebilmesi için deneye gereken özen gösterilmeli ve yenilmenin ISRM (1985; 2007) tarafından belirtildiği gibi 10-60 saniye içerisinde gerçekleşmediği deneyler geçersiz sayılmalıdır.

4.1.3. Düzenli bakımların yapılmaması

Kullanılan deney cihazlarının düzenli periyotlarla göstergelerinin kalibrasyon kontrolü, özellikle konik başlıkların körelme durumları, eksilen kriko hidroliğinin doğru yağ ile takviye edilmesi ya da tamamen yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Fakat bu tez çalışması kapsamında deney yapılan cihazlarda bu bakımlara yeterli derecede önem verilmediği bireysel görüşmeler ve gözlemlerle tespit edilmiştir.

Cihazlarda eksik, azalmış veya özelliğini yitirmiş yağ olması durumunda bu durum yağ basıncını etkileyeceğinden değerin yanlış okunmasına, yükleme işleminin çok uzun sürmesine (>60 sn) neden olacaktır/olmaktadır. Örneğin, normal şartlar altında bakımları tam bir cihazda yükleme kolu ile maksimum 2 defa aşağı yukarı hamle/yükleme yapılması durumunda yenilme gerçekleşecek iken, yağ eksilmesi durumunda 7-8 kez hamle/yükleme yapılması sonunda yenilme gerçekleşmektedir. Bu durumda yükleme çok yavaş olmakta, hatta kayaç bir süre sabit yük altında kalmakta daha sonra yük tekrar artmaya başlamaktadır. ***Dolayısıyla örnek bu bekleme ve duraklamalarda yük altında yorulmaya maruz kalmaktadır.*** Bu durumda deney metodolojisi değişmekte, üniform ve kesiksiz yükleme sağlanamamış olmaktadır.

4.1.4. Farklı tip kriko sistemlerinin kullanılması

Nokta yükleme dayanımı deney cihazları çok pahalı olmamalarından dolayı, üretici firma tarafından üzerlerindeki ekipmanlar da seçilirken ucuz ve iş görecektir ekipmanlar arasından seçilmektedir. Bu da çok uzun ömürlü olmayan veya gerekli hassasiyete sahip olmayan deney cihazlarının piyasada bulunmasına sebep olmaktadır. Piyasadaki farklı marka deney cihazlarında üreticiler kriko sistemini başka firmalardan tedarik etmekte bu durum da farklı karaktere (farklı yükleme kapasitesine) sahip krikoların kullanılması anlamına gelmektedir. ***Örneğin bazı krikolar sahip oldukları tasarım farklılıklarından dolayı hızlı yükleme yapmakta bazıları yavaş yükleme, bazıları da kesikli yükleme yapmaktadır.*** Hatta bir üretici firma deney cihazında önce A firması ile çalışmakta iken bir süre sonra ekonomik şartlardan dolayı kriko tedarikçisini değiştirip B firmasına geçmektedir. Aynı marka cihazlarda bile farklı sistem krikolar mevcut olabilmektedir.

4.1.5. Gösterge hataları

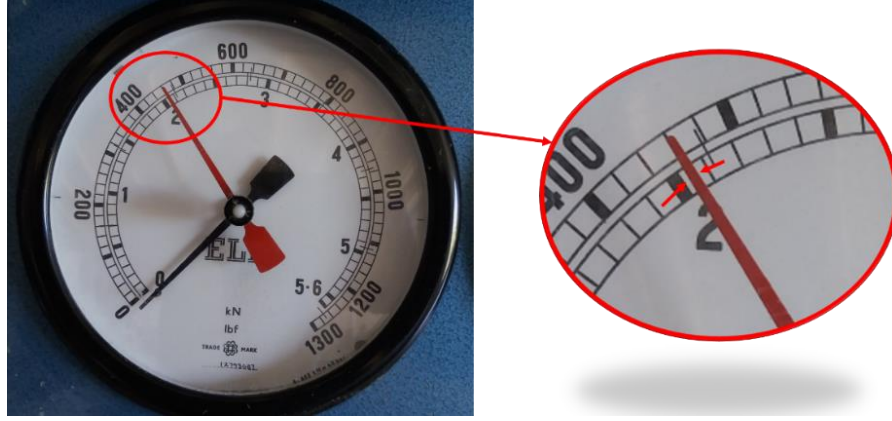
Bu tez çalışmasında kullanılan deney cihazlarının bazılarında yenilme yükünün tespiti için mekanik göstergeler kullanılmıştır. Mekanik göstergeler de soldaki kadran sağdaki kadrana göre daha hassastır. Soldaki kadran 0-5,5 kN kapasiteli ve 0,1 kN

hassasiyete sahiptir. Sağdaki kadran ise 0-55 kN kapasiteli ve 1 kN hassasiyettedir. Her iki kadranda da yenilme yükünü gösteren **sabit çubuk** (kırmızı renkli) ve sabit çubuğu hareket ettiren, anlık yükü gösteren **hareketli çubuk** (siyah renkli) mevcuttur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. KNY'ye ait mekanik gösterge

Yenilme gerçekleştikten sonra sabit çubuk yenilme yükünü gösterirken hareketli çubuk sıfır noktasına döner. Fakat mekanik göstergeler dijital göstergeler kadar hassas olmamakla birlikte, deney sonunda göstergeden okunan değer, okumayı yapan kişiye göre de değişiklik gösterebilir. Deney sonlandıktan sonra sabit çubuğun 2 ile 2,1 kN arasında kalması durumunda bir operatör yenilme yükünü “**2 kN**”a yuvarlarken bir diğeri “**2,1 kN**”a yuvarlayabilir veya bir başka uygulayıcı “**2,05 kN**” şeklinde okuyabilir (Şekil 4.2). Bu da aynı dayanım değerinin mekanik göstergede hassas okunamaması demektir.



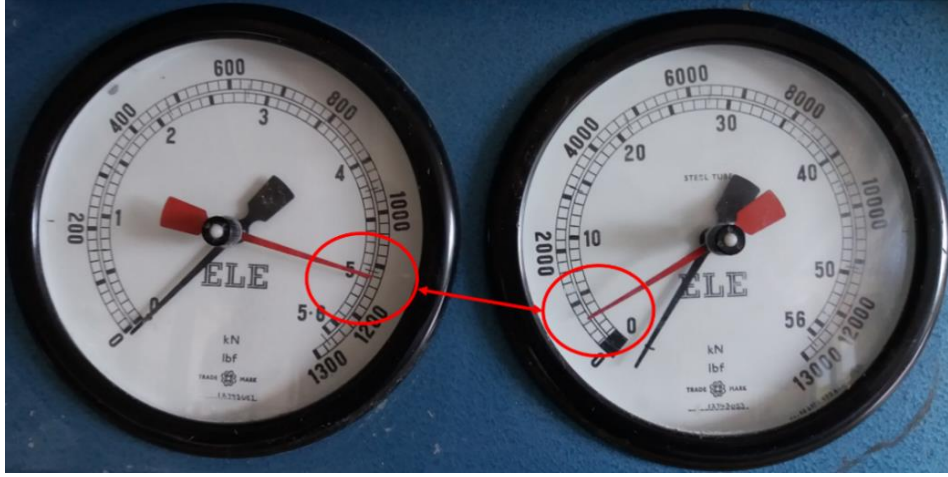
Şekil 4.2. Yorumla açık okuma değeri

Göstergedeki çubuklar tam sıfırdan başlamayabilir. Bu da daha düşük veya daha yüksek bir yenilme yükü meydana gelmişken göstergenin farklı bir değer göstermesine neden olur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sıfırdan başlamama (kalibrasyon) hatası

Farklı okuma hassasiyetine sahip iki kadrın birbiri ile aynı değeri göstermiyor olabilir (Şekil 4.4). Bu durumda okumayı yapan kişi hangisinin doğru olduğuna karar veremez.



Şekil 4.4. İki kadran farklı değerleri gösteriyor olabilir

Okuyan kişinin bakış açısının yanlış olmasından dolayı okuduğu yenilme yükü değişiklik gösterebilir (Şekil 4.5). Okumayı yapacak olan kişi kadranın tam karşısında olmalı ve 90°'lik bir açıyla okumayı yapmalıdır. Aksi halde kadrana baktığı açıya göre bir üstteki ve bir alttaki değeri okuyabilir.



Şekil 4.5 Yenilme yükünü okuma konumu

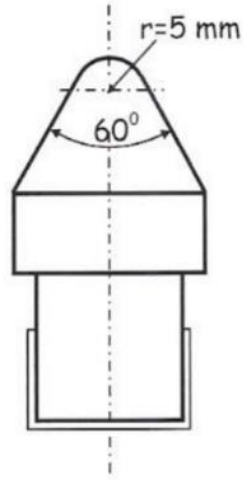
Yüksek yenilme değerlerinde yenilme şiddetli ve sarsıntılı olduğundan sabit çubuk sarsıntısının şiddetiyle yukarıya doğru bir miktar daha ötelenir ve yenilmenin olduğu noktadan yüksek bir değerde kalır (Şekil 4.6). Bu da olması gerekenden daha yüksek bir yenilme yükünün okunmasına neden olur.



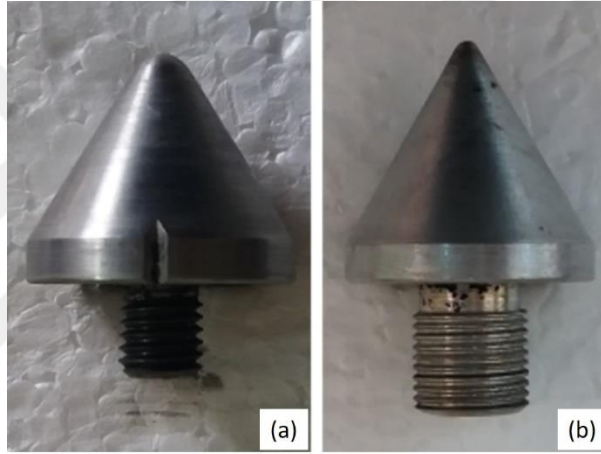
Şekil 4.6. Yukarıya doğru ötelenmiş sabit çubuk

4.1.6. Konik başlık geometrisi

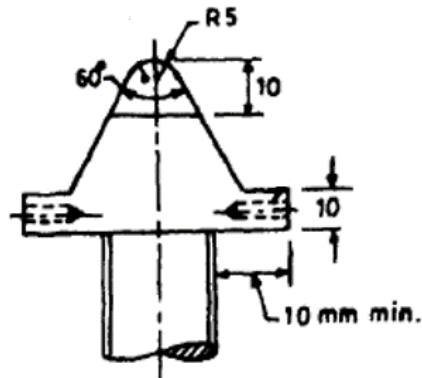
ISRM (1985; 2007)'e göre konik başlıklar $\alpha=60^\circ$ 'lık bir açığa sahip ve uç kısmı 5 mm yarıçapında küreselliğe sahip olmalıdır (Şekil 4.7). Bazı deney cihazlarında konik başlıklar $\alpha=60^\circ$ 'lık bir açığa sahip olmakla beraber, uçları keskin ve sivridir (Şekil 4.8). Bu keskinlik ve sivrilik ucun kayacın içine girmesini kolaylaştırmakta diğer bir ifadeyle kayacın içine gömülmesine yol açmakta, bu da kayacın olması gerekenden daha düşük bir dayanım değerinde yenilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca sert kayaçlarda bu durum ucun daha çabuk aşınmasına hatta çok sert kayaçlarda uçtan küçük parçalar halinde kopmalar meydana gelmesine neden olmakta, bu da ucun geometrisini bozmaktadır. Konik başlığın uç kısmının küresellik yarıçapının 5 mm'den büyük olması durumunda daha geniş bir temas alanıyla kayaca batmakta, bu durum da kayacın olması gerekenden daha fazla bir direnç göstermesine neden olmaktadır. Bu da kayacın olması gerekenden daha yüksek bir dayanım değerinde yenilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum deneyi uygulayan kişiyi de etkilemekte kayaç kırılmadıkça etki tepki prensibi gereği daha fazla yük uygulanmaktadır. Bazı ülkeler başlık geometrisi için kendi standartlarında daha detaylı ölçülendirmeler de yapmışlardır (Şekil 4.9).



Şekil 4.7. ISRM (1985; 2007) tarafından önerilen konik başlık geometrisi



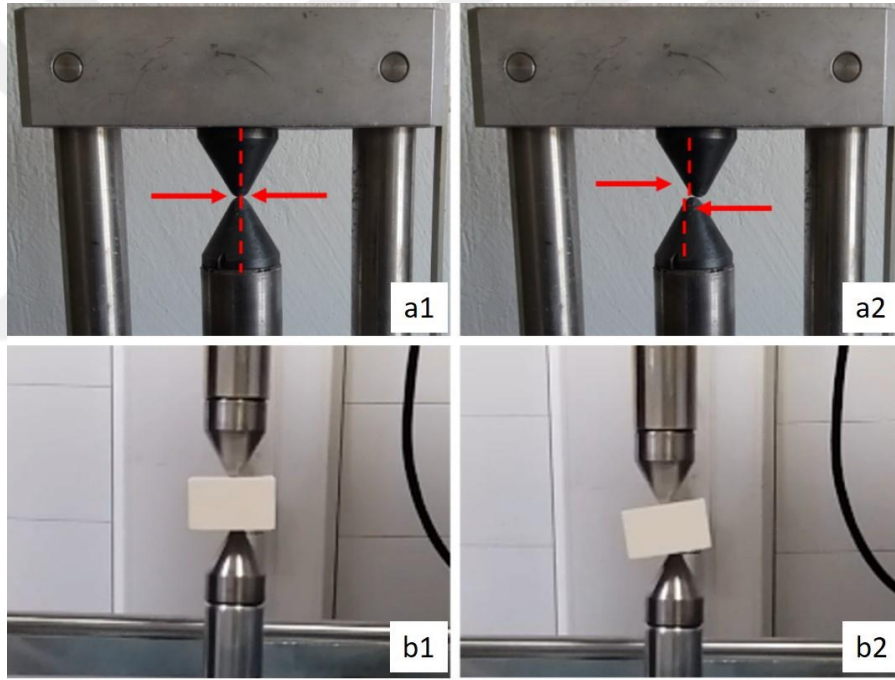
Şekil 4.8. Açı değeri $\alpha=60^\circ$ olan, küresellik yarıçapları farklı 2 farklı konik başlık (a) $r=6$ mm, (b) $r=3$ mm



Şekil 4.9. Hindistan Standardında (1998) önerilen konik başlık geometrisi

4.1.7. Konik başlıkların eksenden sapması

Nokta yükleme deneyi uygulanırken yükleme işleminin nizami ve tek noktadan olabilmesi için konik başlıkların aynı eksen üzerinde konumlanmış olmaları gerekmektedir. ISRM (1985; 2007) ve ASTM (1995; 2008)'de konik başlıkların deney süresince en fazla $\pm 0,2$ mm eksenden sapmaları halinde deneyin geçerli olduğu belirtilmiştir. Eğer bu sağlanmamışsa yükleme tek noktadan ve eksenel olarak gerçekleşmez ve yükleme anında kesme kuvvetlerinin ortaya çıkmasına neden olur (Şekil 4.10). Ayrıca, düzgün sıkışma sağlanmadığı için örnek konik başlıkların arasından dışarıya doğru fırlayabilir ve iş güvenliği açısından risk oluşturabilir.



Şekil 4.10. Konik başlıkların eksenden sapma durumu

4.1.8. Yumuşak-zayıf kayalarda konik başlığın örneğe batması (gömülmesi)

Yumuşak veya zayıf kayalar üzerinde deney yapılırken konik başlıklar kayacın içine doğru batmakta (gömülmekte) (Şekil 4.11) ve deney konik başlıkların örneğe teması ile değil, konik başlıklar belli miktarda kayacın içine battıktan sonra başlamaktadır. Diğer bir ifadeyle sıkışma bu anda başlamaktadır. Bu yüzden bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda nokta yükleme dayanımı hesaplanırken ilgili eşitlikte kalınlık

yerine örneğin ölçülen kalınlığının değil, kırılma anındaki konik başlıkları arasındaki mesafenin yer alması gerektiğini önermişlerdir (Wong vd., 2017). Fakat günümüz deney cihazlarındaki hatalardan dolayı deney sonrası konik başlıklar arasındaki mesafe kırılma anındaki gibi kalmadığı için deney sonrası konik başlıklar arasındaki mesafeyi belirlemek çok da mümkün olmamaktadır.



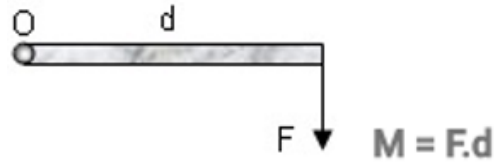
Şekil 4.11. Kayacın içine batan (gömülen) konik başlıklar

4.1.9. Yükleme (kriko) kolu boyunun etkisi

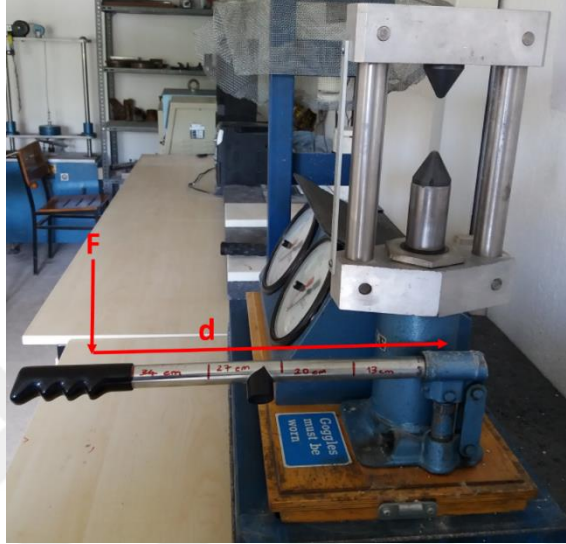
ISRM (1985; 2007) ve ASTM (1995; 2008) tarafından yükleme kolu boyu ile ilgili herhangi belirtilmemiştir. Bundan dolayı farklı marka cihazlarda farklı boyda yükleme kolları mevcuttur (Şekil 4.12). Fizikte basitçe kuvvetin döndürücü etkisine moment denir ve vektörel bir büyüklüktür. Moment; kuvvet ile dönme noktasının, kuvvet doğrultusuna dik uzaklığın çarpımı ile bulunur. Moment kuvvetin doğrultusunun dönme eksenine olan uzaklığıyla da doğru orantılıdır (Şekil 4.13, 4.14).



Şekil 4.12. Farklı deney cihazlarına ait yükleme kolları



Şekil 4.13. Kuvvet ile dönme noktasının, kuvvet doğrultusuna dik uzaklığının çarpımı ile hesaplanan moment



Şekil 4.14. Moment etkisinin deney cihazı üzerindeki görünümü

Bu farklı yükleme kolu boylarında deney uygulayıcısı aynı olursa (yani kuvvet, F), kol boyu (yani uzaklık, d) farklı olacağı için yükleme hızı farklı olacak ve dolayısıyla kırılma yükü (yani moment, M) değişecektir. Ya da yenilme yükü aynı kayaç için aynı olacağından, kol boyu uzadıkça uygulayıcının uyguladığı kuvvet de o oranda azalacaktır. Fakat pratikte kol boyu değiştikçe deney uygulayıcısının hissedeceği direnç azalacağından daha az kuvvet uygulayacak ama insan faktörü devrede olduğu için kol boyuna bağlı uygulanması gereken kuvvetteki azalma kol boyuyla doğru orantılı olmamaktadır.

4.1.10. Farklı operatörlerin etkisi

Nokta yükleme dayanımı deneyinin çalışmaya da esas konu olan en büyük hatası/sakıncası yükleme hızının sabit tutulamaması ve kesiksiz (sürekli) olarak uygulanamaması şeklinde görülmüştür. Yükleme işlemi manuel (elle) olarak yapıldığı

için, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve sürekli liği operatöre göre değişiklik göstermektedir. Bu demektir ki farklı yaşlardaki, daha önce deneyi uygulamış veya ilk defa tecrübe edecek olan, farklı kol kası gücüne sahip, farklı ruh haline sahip (sakin, aceleci, sinirli, zgn, dalgın vb.) kişiler deneyi yapabilmektedirler. Bu da yapılan deneyin sonuçlarına dolaylı olarak etki etmektedir. Nokta yükleme dayanımı deneyi **fiziksel aktivite** gerektiren bir deneydir. Bir fiziksel aktivite sırasında, o fiziksel aktivitenin gerektirdiği fizyolojik, biyomekanik ve psikolojik verime de “performans” adı verilir. Performansı etkileyen faktörler ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a. Fiziksel uygunluk
- b. Ergonomik destekleyiciler
- c. Stres düzeyi
- d. Motivasyon durumu
- e. Sağlık durumu
- f. İlaç kullanımı
- g. Nem
- h. Sıcaklık
- i. Yaş

Yukarıda sıralanan faktörler durumlarına göre performansı olumlu ya da olumsuz yönde etkilerler (Ukşal, 2014). Bu da her seferinde farklı yükleme hızı ve farklı yenilme süresi anlamına gelmektedir. Bu durumun tespiti için Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında bulunan 2 farklı deney cihazı üzerinde 6 farklı operatör bu tez çalışmasında kullanılan kayaçlardan seçilmiş 3 tür kayaç rneği üzerinde deneyler yapmışlardır (şekil 4.15). Bu deneylerden elde edilen sonuçlar izelge 5.21’de verilmiştir.

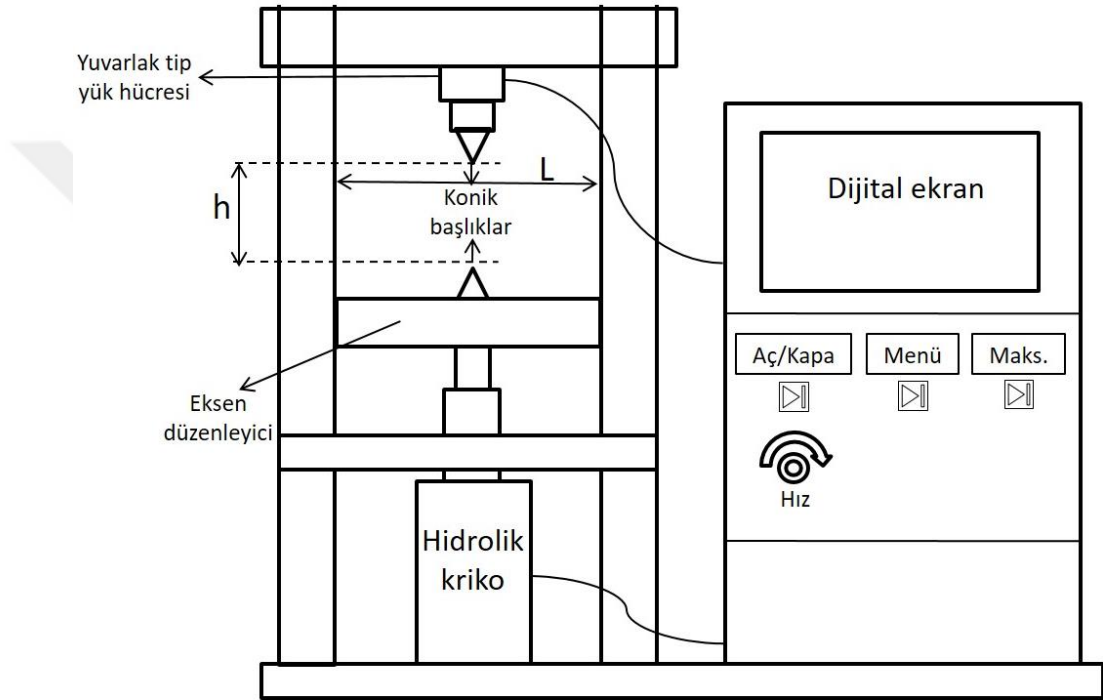


Şekil 4.15. Farklı operatörler tarafından deneyin yapılması

Gözlemlenen ve belirlenen bu hatalar ve sakıncalar incelendiğinde bu maddelerden bazılarının nokta yükleme dayanım indeksini ölçülmesi gereken değerden daha yüksek ölçülmesine, bazılarının ise ölçülmesi gereken değerden daha düşük ölçülmesine neden olduğu belirlenmiştir. Bu hata ve sakıncaların tümüyle bir arada bulunduğu cihazlar olduğu gibi bazı hata ve sakıncaların olduğu cihazlar da mevcuttur. Bunlara bir de deneyi yapan operatör etkisi eklendiğinde ölçülen değer ne yönde değiştiği tahmin edilememektedir. Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi operatör etkisi kendi içinde zaten birçok değişken parametreye (cinsiyet, yaş, psikolojik durum, deneyin yapıldığı ortam, ışık kaynağı vb.) sahiptir. Daha önce de sık sık ifade edildiği gibi nokta yükleme dayanımında meydana gelecek 1 MPa'lık bir değişim ortalama olarak tek eksenli basınç dayanımı hesabında 24 MPa'lık bir sapmaya neden olacaktır. Kaldı ki nokta yükleme dayanımı değerini doğrudan bir tasarım parametresi olarak kullandığımızda, sınıf aralıkları küçük değerlerde bile çok fazla değiştiği (Şekil 1.2, 1.3) için tasarımda bir hataya yol açacak bu da projeye bağlı olarak geri dönülemez bir yanıla sebebiyet verebilecektir.

4.2. Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazının Tasarlanması

Deneyssel hatalar tek tek belirlendikten sonra piyasada KNY imal eden firmalar ile iletişime geçilip, onlardan da yardım alınarak KNY'deki cihaz ve operatör kaynaklı hataları önleyici bir tasarım yapılmıştır (Şekil 4.16). Bilgisayar kontrollü otomatik yükleme yapma kabiliyetine sahip YNY'nin tasarımı ISRM (1985; 2007)'in önerdiği standartlardaki deney koşullarına uygun yapılmıştır.



Şekil 4.16. YNY'nin taslak çizimi

Cihaz için önerilen özellikler:

- Bilgisayar kontrollü ve manuel ayarlanabilir yükleme hızı
- Toplanan verilerin bilgisayar ortamına alınmasına imkân sağlayan (Excel vb.) bir yazılım
- Maksimum yükleme kapasitesi 200 kN
- Sertleştirilmiş konik başlıklar (HRC=58)
- Konik başlıklar arası mesafe (h) maks. 20 cm
- En büyük örnek genişliği (L) maks. 15 cm

- Hidrolik yükleme düzeneği
- Yük hücresi (yuvarlak tip)
- Dijital ekran (anlık yük, maksimum yük, yük-zaman grafiği)

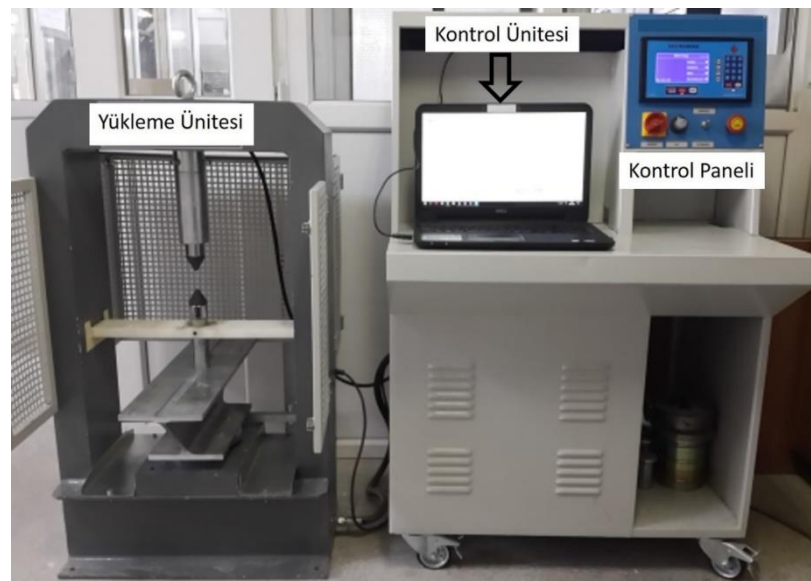
Cihaz mevcut nokta yükleme dayanımı deney cihazlarından hem boyut olarak büyük hem de ağırlık olarak fazladır. Klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının aksine arazide deney yapmak için uygun bir tasarıma sahip değildir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanılan örneklerin çoğunluğunu silindirik ve blok örneklerin oluşturduğu görülmüştür. Şekilsiz örneklerle deney yapılan çalışmalar tabii ki de mevcuttur. Ama bu tip çalışmaların yapıldığı oran silindirik ve blok deney örneklerinin kullanıldığı çalışmalara nazaran oldukça azdır. Yapılan çalışmaları deneylerin yapıldığı ortam olarak arazi ve laboratuvar olarak sınıflamaya çalıştığımızda ise yine benzer bir sonuçla karşılaşılmaktadır. Arazide deney yapılarak yapılan çalışmaların sayısı laboratuvarda deney yapılan çalışmaların sayısının yanında ihmal edilebilecek kadar azdır.

Ayrıca deney sonuçları değerlendirildiğinde kendi içerisinde çok küçük standart sapmaya sahip sonuçların güvenilirliği açısından taşınabilir deney cihazının çok stabil olmaması, taşınma esnasında veya zor arazi şartlarında (düzgün bir yüzeye oturtulmamış deney cihazı ile) yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçların güvenilirliği belirsizdir. Bununla birlikte düzenli silindirik ve blok örneklerle yapılan deneylere nazaran şekilsiz örneklerle yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar da tartışmaya açıktır. Şekilsiz örneklerle deney yapılırken kırılma çoğu zaman yükleme ekseninin dışında gerçekleşmektedir. Kırılma, kayacın eni (kısa kenar) boyunca değil şekilsiz kayacın kalınlığının incelendiği noktaya doğru kaymaktadır. Bunun sonucu olarak da çok parçalı (parça sayısı >3) kırılmalara neden olmaktadır. Şekilsiz örnekte boyutlar çok sağlıklı ölçülemediği için $I_{s(50)}$ değeri hesaplanırken formülasyonda yer alan genişlik ve kalınlık değerleri gerçek değerlerinin dışında ölçüldüğü için hesaplanan $I_{s(50)}$ değeri sahip olduğu değer dışında hesaplanmaktadır. Örneklerin sahip olduğu standart sapmanın dışında sonuçlar elde edilmektedir. Çalışmanın genelinde çok sık vurgulandığı gibi kendi içinde çok küçük değişimlere

sahip olan $I_{s(50)}$ değeri bir o kadar da yanlış örnek boyutu ölçümü, yanlış değer okunması vb. sebeplerle bir o kadar daha değişmektedir.

4.3. Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazının Özellikleri

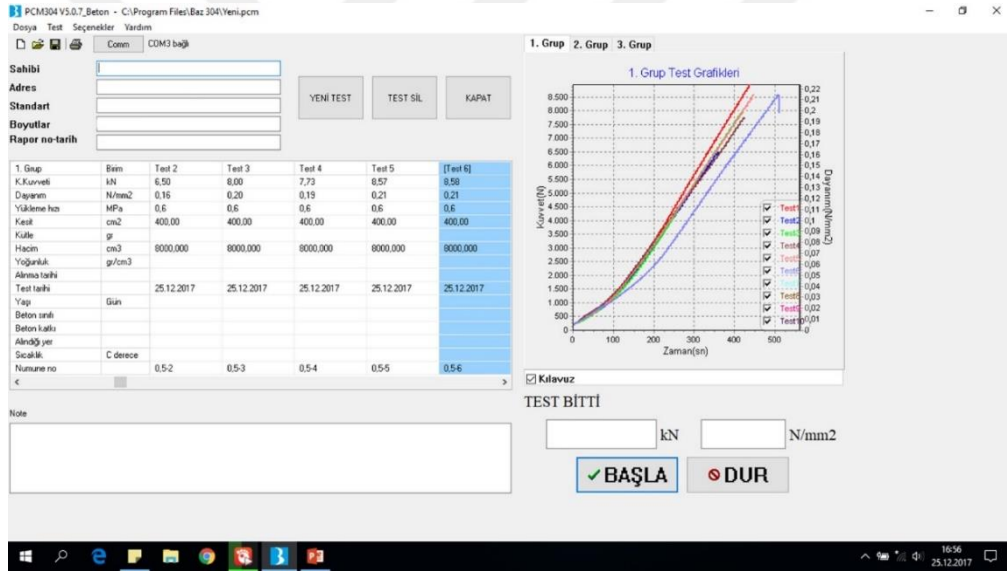
Deneysel hatalar tek tek belirlendikten sonra çalışmanın 2. bölümünde anlatıldığı gibi klasik nokta yükleme deney cihazlarının hatalarını gidermek için yeni bir cihaz tasarlanmıştır. Bu doktora çalışmasının yürüyebilmesi için TÜBİTAK'a proje verilmiş olup TÜBİTAK tarafından 116M070 no'lu 1002 proje desteği alınmıştır. Yeni cihaz, hidrolik yükleme bölümü ve kontrol panelinin bulunduğu 2 ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 4.17). Cihazın üzerinde bulunan kontrol panelinden manuel olarak yükleme işlemi kontrol edilebilmektedir. Ayrıca "X 34" yazılımı ile cihaz bilgisayara bağlanabilmekte ve bilgisayar kontrollü otomatik yükleme de yapılabilmektedir. Kontrol panelinin üzerinde bulunan ekrandan anlık yük-zaman grafiği görüntülenebilmekte ve maksimum kırılma yükü ekrandan okunabilmektedir. "X 34" yazılımı ile bilgisayar ekranından da maksimum yük okunabilmekte, yük-zaman grafiği görüntülenebilmekte, 30 adet deney verisi hafızaya alınabilmekte ve aynı zamanda bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir (Şekil 4.18, 4.19). Cihaz 200 kN yükleme kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.17. Yeni tasarlanan nokta yükleme deney cihazı (YNY)



Şekil 4.18. YNY kontrol paneli görünüşü



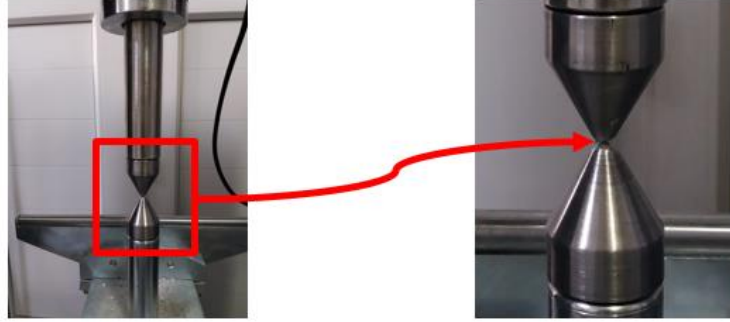
Şekil 4.19. "X 34" yazılımına ait örnek bir ekran görüntüsü

4.4. Yeni Deney Cihazında Karşılaşılan Sorunlar

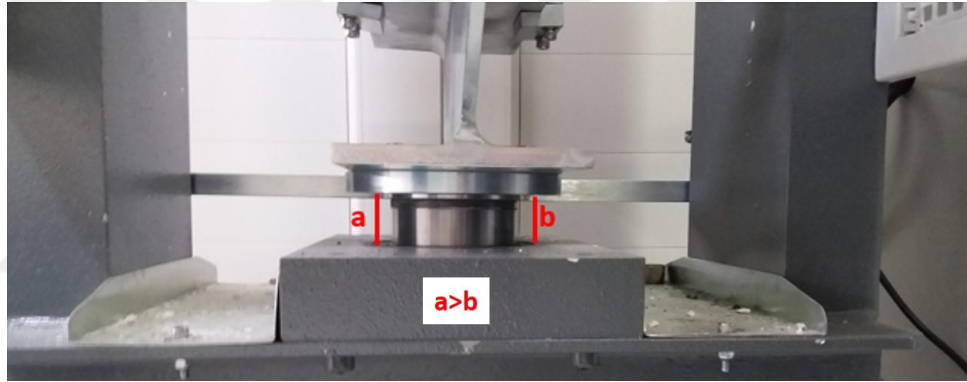
4.4.1. Eksenden sapma hatası

YNY'de bazı sorunlarla karşılaşılmıştır. YNY ile ön testler yapılırken, dayanımı düşük kayalarda (limra, mermer vb.) kırma işlemi standartlarda (ISRM, 1985; 2007; ASTM, 1995; 2008) belirtilen limitler içerisinde gerçekleşirken, nispeten dayanımı daha yüksek kayalarda (granit, diyabaz vb.) deney esnasında eksenden limit değerlerin dışında ($\pm 0,2$ mm) sapma meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.20). Bu sapmanın da

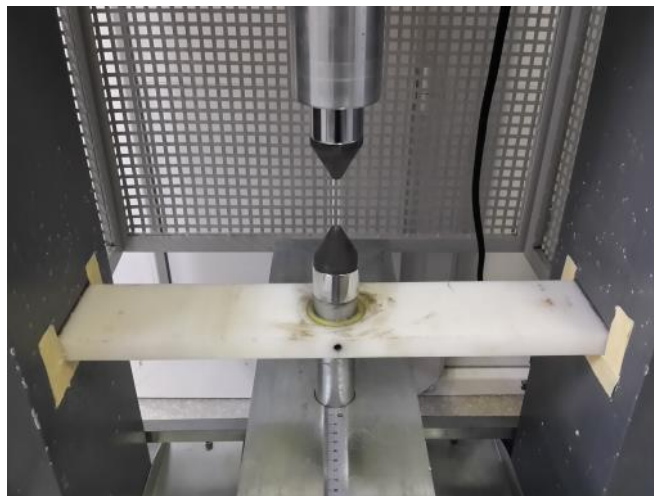
hidrolik sistemin bir parçası olan strok parçasının yükseldikçe bir tarafa doğru eğilmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir (Şekil 4.21). Bu sapmayı önlemek için de cihazın orta kısmına yönlendirici kılavuz bir parça monte edilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.20. Eksenden sapma hatası



Şekil 4.21. Eksenden sapmaya neden olan parça



Şekil 4.22. Eksenden sapmayı düzeltmek için yapılan yönlendirici kılavuz parça

4.4.2. Konik başlıkların uç kısmının standarda uygun olmaması (küresellik yarıçaplarının 5 mm olmaması)

Cihazla birlikte üretici firma tarafından üstünde gelen konik başlıkların küresellik yarıçaplarının 5 mm'den farklı olduğu ölçülmüştür. Bunun sonucunda üretici firmadan standarda uygun konik başlıkların gönderilmesi talep edilmiş ve gelen konik başlıklar yine standarda uygun olmayınca farklı firmalarla iletişime geçilip yeni konik başlıklar temin edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Temin edilen konik başlıkların küresellik yarıçapları

Konik Başlık Kodu	Küresellik yarıçap değeri (mm)
Firma-A-1	5,49
Firma-A-2	3,86
Firma-A-3	4,49
Firma-B-1	3,40
Firma-B-2	3,07
Firma-C-1	5,00

4.4.3. Yeni cihazda deneylerin yapılması

Bu tez çalışmasında kullanılan 2 farklı kayaç üzerinde (dayanımı orta sağlam ve sağlam olan) yükleme hızının belirlenmesi için farklı yükleme hızlarında nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2). Bu deneyler sonucunda dayanımı en yüksek kayaç için en fazla 60 saniyeyi aşmadan, dayanımı en düşük kayaç için de 10 saniyenin üzerinde yenilmesini sağlayacak yükleme hızı (0,75) belirlenmiş ve 7 kayaç için de deneyler bu yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Bu yükleme hızı deney cihazının üzerinde bulunan potansiyometre ile ayarlanmaktadır. Deneyler boyunca dayanımı en yüksek kayaç için yenilme süresi 60 saniye civarında, en düşük kayaç için ise 30 saniye civarında gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı yükleme hızlarında elde edilen yenilme süreleri

KayaçKodu	Potansiyometrenin Konumu	Yenilme Süresi (s)	Yenilme Yüğü (kN)	$I_{s(50)}$ (MPa)
G	0,5	69,3	10,6	5,22
	0,75	58,5	11,2	5,51
	1	42,6	8,4	4,15
	1,5	32,6	8,4	4,13
K-3	0,5	68,6	6,5	3,20
	0,75	53,7	6,6	3,25
	1	43,6	6,6	3,25
	1,5	29,5	6,6	3,28
$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri				

Yeni cihazdaki sorunların giderilmesi ve standarda uygun konik başlıkların temin edilmesinden sonra yeni cihazda her bir kayaç için 10'ar adet örnek üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş olup, çalışmaya konu olan operatör faktöründen ve farklı yükleme hızı etkisinden arındırılmış yeni nokta yükleme dayanımları elde edilmiştir. Böylece çalışmada kullanılan kayaçlar için referans olabilecek nokta yükleme dayanımları elde edilmiştir. Bu değerler ışığında çalışmalara devam edilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaçların tanımlanmasının yapılabilmesi için fabrikalardan temin edilen plaka şeklindeki numunelerden örnekler hazırlanmış ve ilgili standartlar çerçevesinde fiziksel ve mekanik, mineralojik ve petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu deneylerin metodolojileri detaylı olarak 4. bölümde verilmiştir. Bu bölümde deney ve analizlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

5.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Çalışmada kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler ilgili standartlar çerçevesinde, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları çizelgelerde, aritmetik ortalama (Ort.) ve standart sapma (Std. Sap.) değerleri ile birlikte verilmiştir.

5.1.1. Gerçek yoğunluk ve birim hacim ağırlık

Kayaçların gerçek yoğunluklarını (d_o) belirlemek için -200 μ boyutuna öğütülmüş numune kullanılarak yoğunluk deneyleri (TS EN 1936, 2010) yapılmıştır. Yoğunluk deneyleri 3 kez tekrar edilmiş ve birbirine en yakın 2 değer aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir. Kuru birim hacim ağırlık (KBHA) ve doymuş birim hacim ağırlık deneyleri (DBHA) (TS EN 1936, 2010) ise kenar uzunluğu 50 mm olan küp örnekler üzerinde en az 10 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kayaçların gerçek yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kayaçların gerçek yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık değerleri

Kayaç Kodu	d ₀ (g/cm ³)		KBHA (g/cm ³)		DBHA (g/cm ³)	
	Ort.	Std. Sap.	Ort.	Std. Sap.	Ort.	Std. Sap.
K-1	2,770	0,007	2,756	0,016	2,760	0,018
K-2	2,851	0,009	2,714	0,009	2,746	0,006
K-3	2,734	0,005	2,561	0,012	2,622	0,005
M	2,725	0,002	2,713	0,001	2,715	0,001
A	2,608	0,002	2,303	0,019	2,378	0,015
G	2,673	0,005	2,644	0,002	2,649	0,002
D	2,994	0,012	2,904	0,030	2,923	0,028

5.1.2. Ağırlıkça su emme, görünür ve toplam porozite

Bu deney, belirli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu şekilde kayaçların açık gözeneklilikleri belirlenmektedir. Toplam gözeneklilik ise kayaçların bünyesinde bulunan açık ve kapalı gözeneklerin yüzde olarak toplamı olmaktadır. Kayaçların, ağırlıkça su emme (ASE), görünür porozite (GP) ve toplam porozite (TP) deneyleri ilgili standartlar (TS EN 13755, 2014; TS EN 1936, 2010) çerçevesinde yapılmış ve elde edilen değerler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kayaçların ağırlıkça su emme, görünür ve toplam porozite değerleri

Kayaç Kodu	ASE (%)		GP (%)		TP (%)
	Ort.	Std. Sap.	Ort.	Std. Sap.	Ort.
K-1	0,124	0,053	0,343	0,148	0,484
K-2	1,173	0,119	3,183	0,313	4,788
K-3	2,375	0,290	6,081	0,720	9,311
M	0,076	0,015	0,206	0,040	0,440
A	3,281	0,297	7,552	0,632	11,704
G	0,218	0,004	0,576	0,011	1,082
D	0,656	0,076	1,902	0,204	3,011

5.1.3. P-Dalga hızı

P-dalga hızı kaya malzemelerinin elastiklik ve çatlaklılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Eğer kayaç çok süreksizlik (çatlak, gözenek vb.) içeriyorsa numuneden geçen ses dalgaları daha fazla yol kat edeceği için P-dalga hızının geçme

süresi artacaktır. Bu özellik kayacın dayanımı açısından bir gösterge olmaktadır. Kayaçların *P*-dalga hızları (*V_p*) TS EN 14579 (2006)'a göre kenar uzunluğu 71 mm olan küp numuneler üzerinde ve her kayaç türü için 7 örnek kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçların aritmetik ortalamaları ve standart sapma değerleri Çizelge 5.3'te sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Kayaçların *P*-dalga hızı değerleri

Kayaç Kodu	<i>V_p</i> (m/sn)	
	Ort.	Std. Sap.
K-1	6627	38
K-2	5456	688
K-3	5038	451
M	6144	723
A	4875	91
G	5367	156
D	5101	152

5.1.4. Böhme yüzey aşınma dayanımı

Kayaçların Böhme yüzey aşınma dayanımı (BYA) deneyleri ilgili standart (TS EN 14157, 2017) çerçevesinde yapılmıştır. Böhme aşınma deneyi için her kayaç türünden kenar uzunluğu yaklaşık 71 mm olan küp şeklinde 3'er adet örnek kullanılmıştır. Deney öncesi hacimleri ölçülen numunelere, 16 aşındırma çevrimi uygulandıktan sonra numunelerin deney sonrası hacimleri tekrar belirlenmiştir. Deney numunelerinin Böhme aşınma dayanımı değerleri, hacim azalma değerleri ve aşınan yüzeylerinin alanlarının 50 cm²'ye oranlanmasıyla belirlenmiştir. Böhme aşınma dayanımı deneylerinin sonuçları Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Kayaçların Böhme aşınma dayanımı değerleri

Kayaç Kodu	BYA (cm ³ /50cm ²)	
	Ort.	Std. Sap.
K-1	10,5	0,6
K-2	10,0	0,7
K-3	14,6	0,2
M	9,1	0,9
A	9,9	0,1
G	4,5	0,4
D	4,5	0,5

5.1.5. Schmidt çekici sertliği

Çalışmada kullanılan kayaçların Schmidt çekici sertlik değerlerinin (SÇS) belirlenmesinde darbe enerjisi 0,74 Nm olan L-tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Her kayaç türünde 71 mm olan küp numuneler üzerinde 20 adet okuma yapılmış ve değerlendirmede ISRM (2007) metodu kullanılmıştır. Buna göre, 20 okumanın en yüksek 10 değerinin aritmetik ortalaması kayacın Schmidt çekici sertliği olarak kabul edilmiştir. Ölçülen Schmidt çekici sertlik değerlerinin aritmetik ortalama değerleri ve standart sapma değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kayaçların Schmidt çekici sertlik değerleri

Kayaç Kodu	SÇS	
	Ort.	Std. Sap.
K-1	40,5	2,3
K-2	49,6	2,3
K-3	28,7	1,5
M	44,8	2,5
A	42,8	2,2
G	50,5	2,7
D	44,7	3,1

5.1.6. Tek eksenli basınç dayanımı

Kayaçların her tür mühendislik çalışmalarında kullanılan en önemli mekanik özelliği tek eksenli basınç dayanımıdır (σ_c). Bu tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların tek eksenli basınç dayanım deneyleri, kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir (TS EN 1926, 2013). Kayaçların basınç dayanım deneyleri için her kayaç türünden en az 10 deney yapılmıştır. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri ve dayanım sınıfları

Kayaç Kodu	σ_c (MPa)		Dayanım Sınıfı Bieniawski (1974)
	Ort.	Std. Sap.	
K-1	110,6	11,1	Sağlam
K-2	103,9	12,3	Sağlam
K-3	64,2	10,8	Orta Dayanım
M	72,1	5,0	Orta Dayanım
A	102,4	11,5	Sağlam
G	154,0	8,6	Sağlam
D	144,5	15,8	Sağlam

5.1.7. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı

Çalışmada kullanılan kayaçların çekme dayanımı (σ_t) dolaylı yöntem olan Brazilian çekme dayanımı deneyi ile belirlenmiştir (ISRM, 2007). Deneylerde, boy/çap oranı 0,5 olan 54 mm çaplı disk numuneler kullanılmıştır. Her kayaç türü için en az 10 örnek üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.7’de sunulmuştur.

Çizelge 5.7. Kayaçların Brazilian çekme dayanımları

Kayaç Kodu	σ_t (MPa)	
	Ort.	Std. Sap.
K-1	8,4	1,3
K-2	8,0	1,8
K-3	8,9	0,9
M	8,5	1,7
A	10,0	0,6
G	10,0	1,3
D	11,6	1,4

5.1.8. Yoğun yük altında (3 nokta) ve sabit moment altında (4 nokta) eğilme dayanımı

Çalışmada kullanılan kayaçların eğilme dayanımlarını belirlemek için hem 3 nokta eğilme (yoğun yük altında eğilme, $\sigma_{eğ(3)}$) hem de dört nokta eğilme (sabit moment altında eğilme, $\sigma_{eğ(4)}$) deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler TS EN 12372 (2013) ve TS EN 13161 (2014) standartlarına uygun 25x50x150 mm boyutlarında prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her kayaç türü için 10’ar numune üzerinde deneyler

tekrarlanmıştır. Kayaçların 3 nokta ve 4 nokta eğilme dayanımı değerleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Kayaçların 3 nokta ve 4 nokta eğilme dayanımları

Kayaç Kodu	$\sigma_{eğ(3)}$ (MPa)		$\sigma_{eğ(4)}$ (MPa)	
	Ort.	Std. Sap.	Ort.	Std. Sap.
K-1	11,6	2,5	14,2	2,7
K-2	8,0	1,7	13,1	2,2
K-3	10,8	1,1	17,4	1,4
M	13,5	2,0	21,0	0,8
A	15,7	0,8	22,9	1,4
G	17,7	1,1	31,7	2,5
D	17,2	2,3	24,9	1,7

5.2. Kayaçların Kimyasal Analizi

Çalışmada kullanılan kayaçların kimyasal analizleri TS EN 15309 (2007)’a göre yaptırılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Kayaçların kimyasal analiz sonuçları

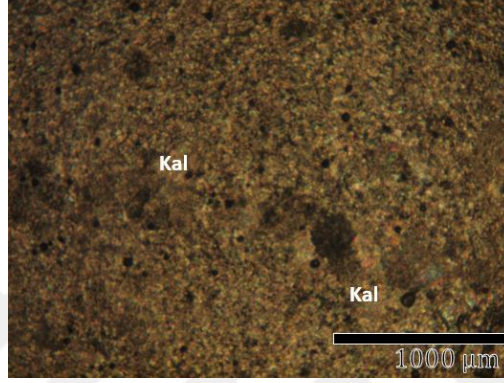
Kayaç Kodu	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI
K-1	55,57	1,01	0,02	0,07	0,02	0,01	0,01	0,02	42,95
K-2	35,90	18,20	0,02	0,07	0,04	0,02	0,01	0,02	45,66
K-3	56,12	0,26	0,01	0,03	0,01	0,02	-	0,02	42,88
M	56,18	0,14	0,02	0,15	0,08	0,02	0,01	0,01	43,01
A	4,30	0,84	2,57	67,82	15,42	4,45	2,57	-	-
G	3,90	1,20	6,29	55,02	18,86	5,59	5,48	0,06	-
D	11,12	12,91	7,54	48,39	16,96	0,83	0,29	0,01	1,16

5.3. Mineralojik ve Petrografik Analiz

Kayaçların mineralojik ve petrografik incelemeleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılmıştır. İncelemeler polarizan mikroskobu kullanılarak çekilen fotoğraflar üzerinde yapılmıştır. Ayrıca incelenen kayaçların petrografik tanımları da yapılmıştır.

5.3.1. Kireçtaşı-1 (K-1)

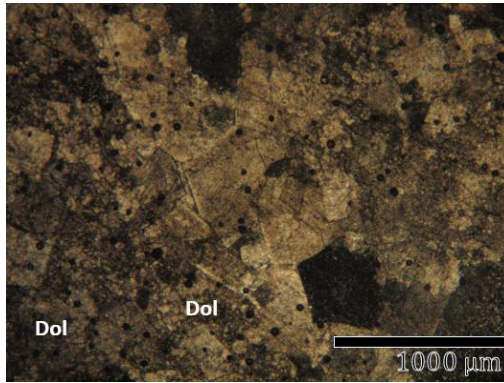
Kayaca hakim mineral kalsittir. Kalsitler, özşekilsiz ince taneli gözlenmekte olup yer yer orta tanelerde bulunmaktadır. Kayaçta gelişı güzel oluşmuş ince ve orta kalınlıklarda çatlaklar bulunmaktadır. Kayaçta gözlenen çatlaklar, çoğunlukla ince ve orta büyüklükte ikincil kalsitler tarafından doldurulmuştur. Kayaç mikritik özellik göstermektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. K-1 kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.3.2. Kireçtaşı-2 (K-2)

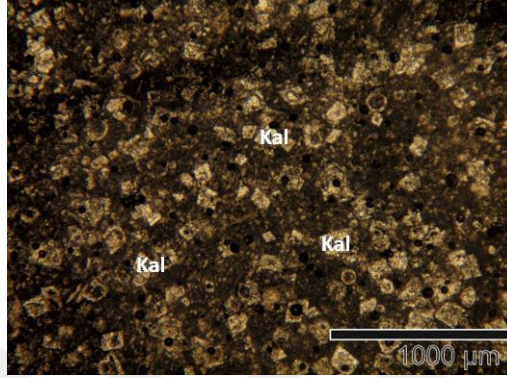
Kayaca hakim mineral dolomittir. Kristaller yarı öz şekillidirler. Kristaller orta taneli gözlenmekte olup yer yer iri taneler bulunmaktadır. Kayaçtaki az gözlenen çatlaklarda damar dolgusu olarak da dolomit gözlenmektedir. Kayaç mikritik ve sparitik doku göstermektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. K-2 kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.3.3. Kireçtaşı-3 (K-3)

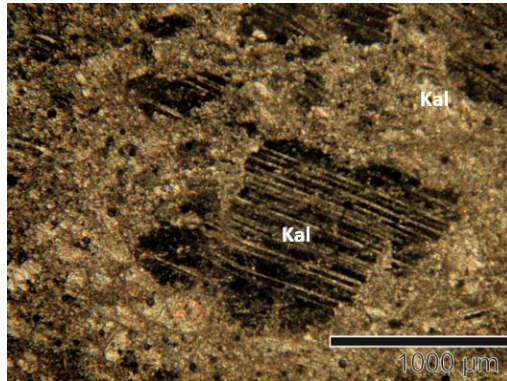
Kayaça hakim mineral kalsittir. Kalsit kristalleri genellikle eşkenar dörtgen biçiminde ve özşekilli olup bazen yarı özşekilli olarak görülmüştür. Kalsitler ince ve orta tane büyüklüğündedirler. Kayaç masif görünümde olup kırık ve çatlak gözlenmemektedir. Ancak bazı erime boşlukları içerebilir. Kayaç sparitik dokudan oluşmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. K-3 kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.3.4. Mermer (M)

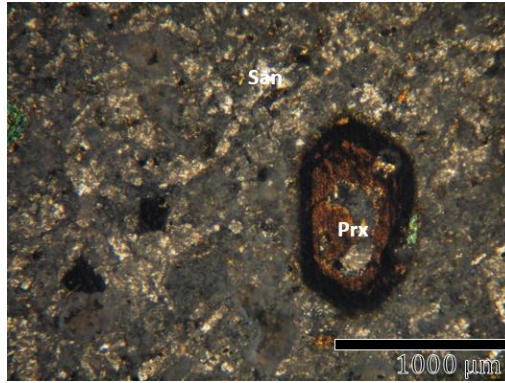
Kayaç kalsit mineralinden oluşmaktadır. Kalsitler orta ve iri tane büyüklüğünde gözlenmiştir. Kristalleri yarı öz şekilli ve özşekilsiz olarak bulunmaktadır. Kalsitler de romboedrik dilinim ve polisentetik ikizlenme yaygın olarak gözlenmektedir. Kayaç genel olarak kırıksız-çatlaksız homojen bir özellik göstermektedir. Kayaç granoblastik dokudadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. M kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.3.5. Andezit (A)

Kayaç fenokristal olarak başlıca amfibol (hornblend), plajioklas ve piroksen (ojit) minerallerinden oluşmaktadır. Tali olarak ise sanidin ve opak mineraller bulunmaktadır. Kayaç, porfirik, pilotaksitik ve glomeroporfirik doku özelliği göstermektedir. Amfiboller, özşekilli ve yarı özşekilli olarak görülmektedir. Genellikle altıgen şekilli ve dilinim göstermektedirler. Kahverengi tonlarında girişim renkli amfiboller, kahverengimsi ve koyu kahverengi pleokrizmaya sahiptirler. Bu kristallerin çoğunda kenar düzlemleri boyunca oksitlenerek opaklaşmıştır. İnce, uzun, çubuksu kristaller şeklinde piroksen kristalleri gözlenmektedir. Yeşilimsi girişim rengi olan bu kristaller düşük pleokrizmaya sahiptir. Plajioklaslar fenokristal olarak genellikle yarıözşekilli, levhamsı kristaller olarak gözlenmişlerdir. Tipik olarak polisentetik ikizlenme gösterirken seyrek olarak zonlu sönme göstermektedir. Kayaçta, sanidin fenokristallerinde ve tüm kesite hakim görülen kaolinleşme belirgindir. Kayaç % 77 plajioklas mikrolitleri, % 8 plajioklas fenokristali, % 10 amfibol, % 3 piroksen ve % 2 oranında opak ve tali minerallerden oluşmaktadır (Şekil 5.5).

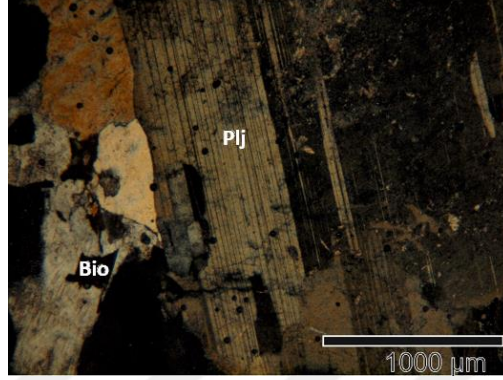


Şekil 5.5. A kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.3.6. Granit (G)

Kayaç içinde egemen mineraller, plajiyoklas (oligoklas), alkali feldspat (ortoklas) ve kuvarstır. Daha az oranlarda biyotit ve hornblend bulunmaktadır. Plajioklaslar, özşekilli ve yarı özşekillidir. Yaygın olarak polisentetik ikizlenme göstermekte ve seyrek olarak zonlu sönme göstermektedir. Genellikle ayrılmış ve killeşme

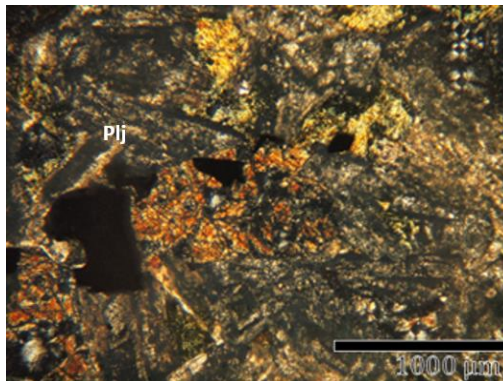
gözlenmiştir. Ortoklas minerali, plajyoklaslara oranla daha az bulunmaktadır. Biyotitler, ince uzun çubuksu ve levhamsı şekillerdir. Kahverengi girişim rengi olan biyotitlerin kahverengimsi renklerde pleokrizması vardır. Kuvarlar özşekilsiz kristaller şeklindedir. Şeffaf ve saydam olarak görülmektedir. Seyrek olarak dalgalı sönme göstermektedirler (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. G kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.3.7. Diyabaz (D)

Kayaç içindeki egemen mineral plajiyoklas ve amfiboldur. Tali olarak dağınık halde opak mineraller bulunmaktadır. Plajiyoklaslar alterasyondan dolayı optik özelliklerini çoğunlukla göstermemekle beraber grimsi kahverengi renklerde. Uzun ve çubuksu kristaller halinde gözlenmektedirler. Nadiren polisentetik ikizlenme göstermektedirler. Amfiboller yarıözşekilli ve özşekilsizdir. Genelde amfibol minerallerinde kloritleşme gözlenmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. D kodlu kayacın polarizan mikroskop altındaki görüntüsü

5.4. Nokta Yükleme Dayanımı Deneyleri

Bu tez çalışması kapsamında 7 farklı kayaç türü 15 farklı KNY’de deneye tabi tutulmuştur. Deneyler ile ilgili detaylı bilgiler 1. bölümde verilmiştir. Kullanılan 15 farklı KNY’nin konik başlıklarının küresellik yarıçap (r), sertlik (HRC) ve koniklik açısı (α) değerleri ölçülmüştür. Kullanılan 6 ve 9 no’lu cihazlardaki başlıklar dışında ($\alpha=63^\circ$) tüm cihazların başlıklarının koniklik açısı değerlerinin standardın öngördüğü $\alpha=60^\circ$ dereceyi sağladığı görülmüştür.

Konik başlıkların küresellik yarıçaplarına (r) bakıldığında ise $r=2,2$ mm ve $r=6,2$ mm arasında değiştiği sadece bir cihazın (temin edilmiş ve hiç kullanılmamış) standartta belirtilen $r=5$ mm koşulunu sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda, tüm cihazların konik başlıklarının sertlik değerleri mikro sertlik ölçüm cihazı ile ölçülerek, HRC sertlik değerlerinin 51 ile 64 arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı şekilde, cihazların yükleme kolu boylarının (L) 35-51 cm aralığında olduğu ölçülmüştür. Cihazların farklı markalarda ve modellerde oldukları gözlenmiştir. Bazı cihazların analog göstergeli bazılarının ise dijital göstergeli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada amaç farklı nokta yükleme dayanımı deney cihazlarında aynı numune üzerinde (olabildiğince birbirine yakın noktalardan alınmış örnekler üzerinde), aynı boyutta (boyut etkisinden arındırılmış), aynı operatör tarafından deneyler yapılarak cihaz farklılıklarının nokta yükleme dayanımına olan etkilerini incelemektir.

Çizelge 5.10’da 7 farklı türdeki kayacın 15 farklı KNY’den elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları verilmiştir. 7 farklı kayaç türü için de minimum ve maksimum $I_{s(50)}$ değeri arasındaki farkın ortalama % 40 olduğu görülmektedir. Örneğin K-3 kodlu kayacın bir cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değeri 2,83 MPa, başka bir cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değeri 4,73 MPa’dır. Aynı operatör tarafından 15 farklı KNY’de yapılan deneylerin aritmetik ortalaması ise 3,84 MPa olarak elde edilmiştir. Pratikte böyle bir uygulamanın mümkün olmadığı gerçeği göz önünde bulundurulması halinde bile, $I_{s(50)}$ değerlerinin saçılımının fazla olduğu görülmektedir ki, bu da bize o kayacı temsil eden gerçek değişmeyen nokta yükleme dayanım indeksini tespit etmek mümkün olmadığını göstermektedir. K-3 kodlu kayaç

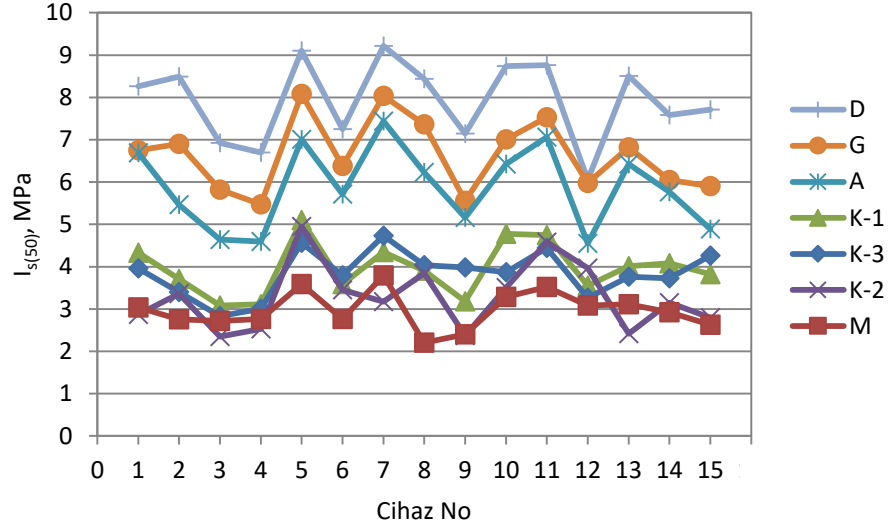
için yapılan bu deney metodolojisi geri kalan diğer 6 kayaç için de yapıldığında aynı değişimin olduğu görülmüştür. Ayrıca ortalama $I_{s(50)}$ değerinin altında ve üstünde kalan cihaz sayılarına bakıldığında 7 ve 8 arasında değiştiği görülmektedir. Bu da bize 15 farklı KNY'den elde edilen ortalama $I_{s(50)}$ değerlerinin kayaçların gerçek $I_{s(50)}$ değerlerine yaklaşık olarak yakın değerler olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.10. 15 farklı KNY'de yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler

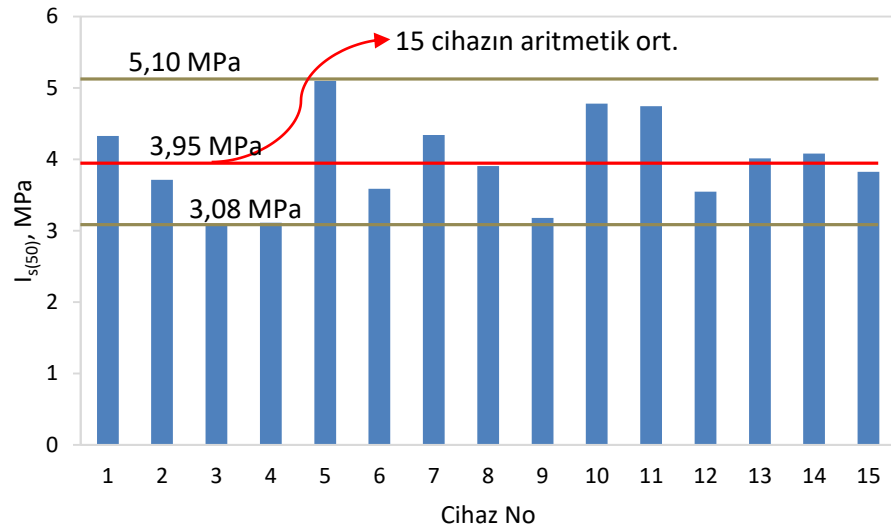
Kayaç Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Maks. ve Min. Değ. Oran (%)	Ort. Altında Kal. Cih. (adet)	Ort. Üstünde Kal. Cih. (adet)
K-1	3,08	5,10	3,95	0,62	40	8	7
K-2	2,35	4,95	3,29	0,79	53	8	7
K-3	2,83	4,73	3,84	0,55	40	7	8
M	2,20	3,79	2,97	0,44	42	8	7
A	4,55	7,44	5,87	0,97	39	8	7
G	5,47	8,08	6,64	0,85	32	7	8
D	6,05	9,21	7,92	0,95	34	7	8

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanım indeksi; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Maks. ve Min. Değ. Fark: 15 farklı KNY'den elde edilen minimum ve maksimum nokta yükleme dayanımı değerleri arasındaki fark; Ort. Altında Kal. Cih.: Ortalama $I_{s(50)}$ değerinin altında kalan cihaz adedi; Ort. Üstünde Kal. Cih.: Ortalama $I_{s(50)}$ değerinin üstünde kalan cihaz adedi

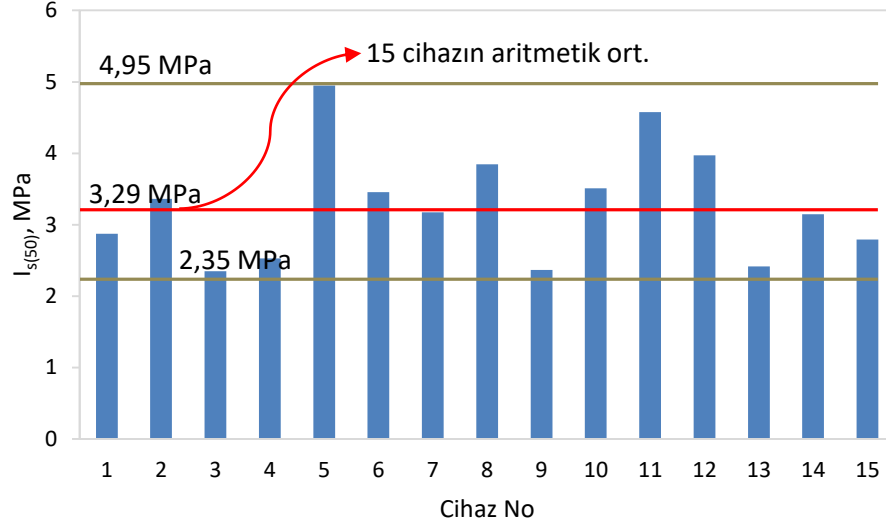
Şekil 5.8'de 7 farklı türdeki kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin aritmetik ortalamaları verilmiştir. Şekil 5.8 incelendiğinde kayaç türünden bağımsız olarak en yüksek değerler bir cihazda (5 no'lu cihaz) veya tam tersi en düşük değerler farklı bir cihazda (12 no'lu cihaz) ölçülmüştür. **Buradan cihazların kendilerine ait bir karakteristiği, mevcut hatalarının ve teknik özelliklerinin bir araya gelip harmanlanması sonucu kendine has bir ölçüm dinamiğinin meydana geldiği anlaşılmaktadır.** Şekil 5.9-5.15'de her bir kayacın 15 farklı KNY'deki nokta yükleme dayanımı değerleri sütun grafik şeklinde verilmiştir. **Ortalamanın altında kalan $I_{s(50)}$ değerlerin elde edildiği cihazların tüm kayaç türleri için 3 ve 4 no'lu cihazlardan edilen değerler olduğu, bununla birlikte 2-6-9-12-13-14-15 no'lu cihazlardan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin farklı kayaçlar için ortalamanın altında kaldığı ya da ortalamanın üstünde kaldığı, fakat her 2 durum için de ortalama $I_{s(50)}$ değerlerine yakın olduğu görülmektedir.**



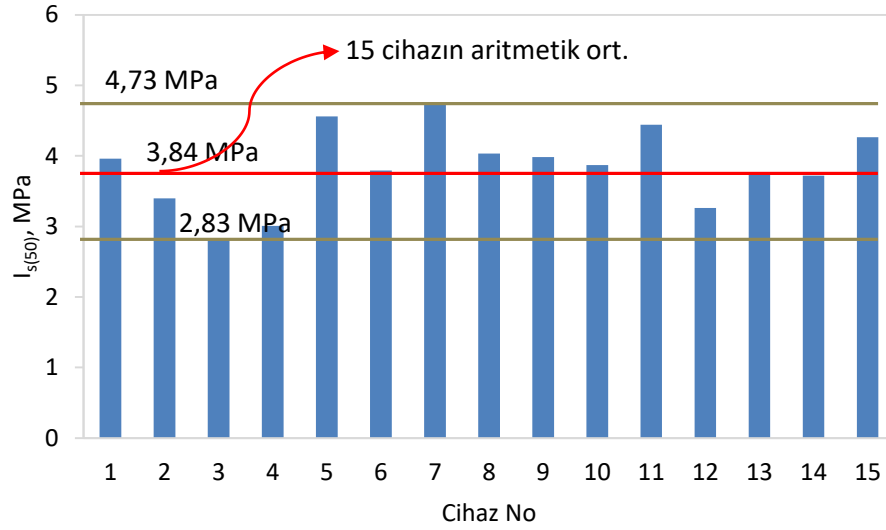
Şekil 5.8. Kayaçların 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerlerinin aritmetik ortalamaları



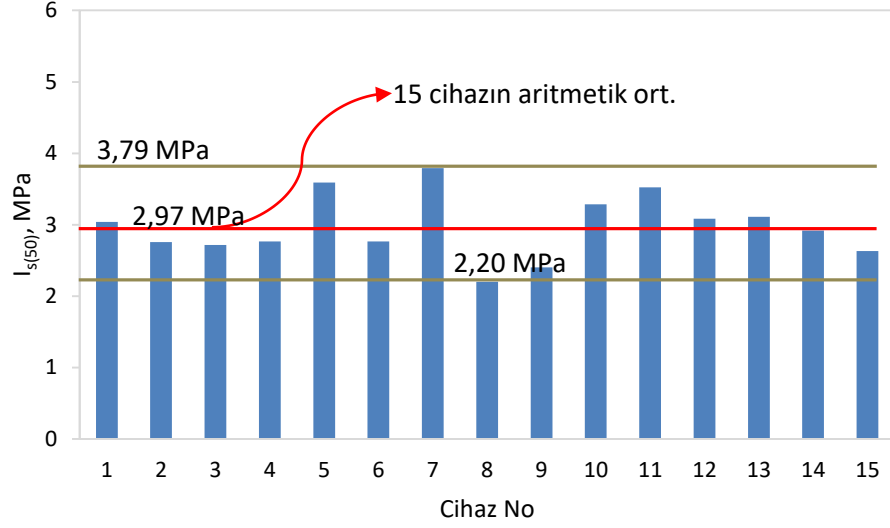
Şekil 5.9. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması



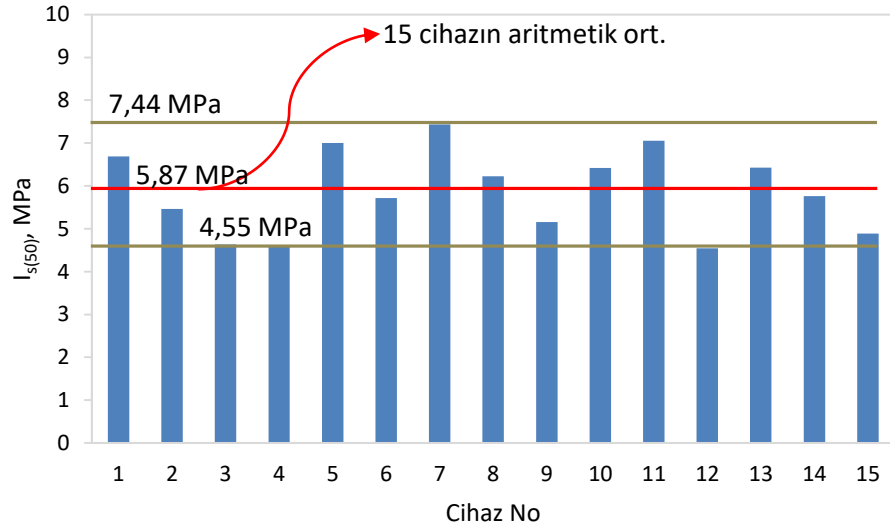
Şekil 5.10. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması



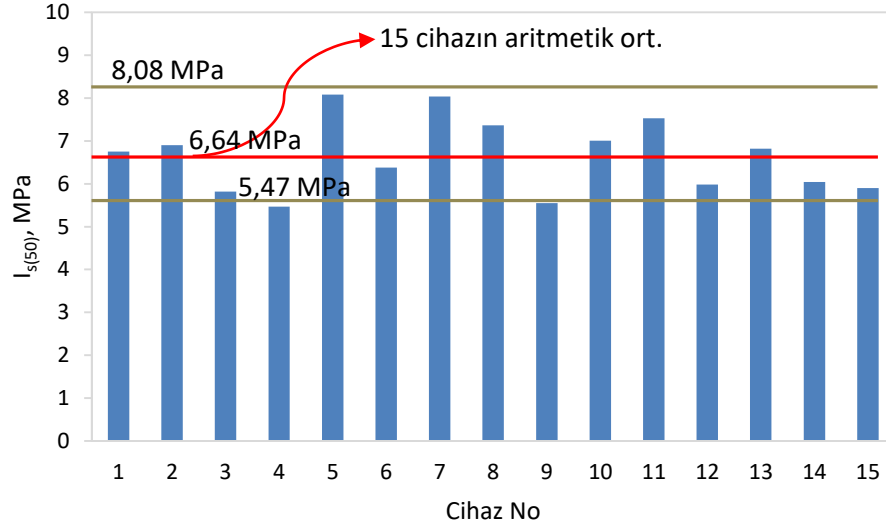
Şekil 5.11. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması



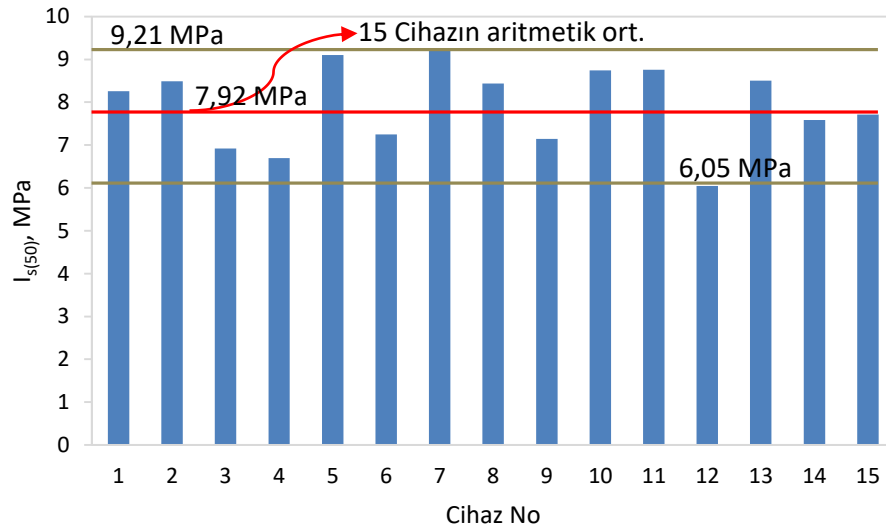
Şekil 5.12. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması



Şekil 5.13. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması



Şekil 5.14. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması



Şekil 5.15. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleri ve 15 KNY'den elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması

Farklı cihazlarda, farklı operatörler tarafından, daha heterojen, aynı kayaca ait farklı noktalardan alınmış numunelerin nokta yükleme dayanımı değerlerinin bu çalışmada elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin dağılımından çok daha yüksek, çok daha geniş saçılımlı, geniş bir aralıkta değişen değerler olacağı gerçeği unutulmamalıdır. Dolayısıyla nokta yükleme dayanımı değeri kullanılarak kayaçların başta basınç dayanımı tahmininde kullanılan eşitliklerde, çok daha farklı dayanım

değerlerinin, geniş yayımlı olarak elde edileceği, aynı şekilde kaya kütle sınıflama sistemlerinin belirlenmesinde çok daha farklı değerlerin oluşmasına neden olacağı gerçeği apaçık ortadadır. Bu da projelerde mühendislerin mühendislik hesaplamalarında yanılmalarına yol açacaktır. Bu düşüncelerle standart dışı veya farklı teknik özelliklere sahip nokta yükleme dayanımı deney cihazlarında farklı operatörler tarafından yapılan deneyler sonucunda kayacın gerçek nokta yükleme dayanımı değeri belirlenemeyecektir. Bu hatanın/eksikliğin ortadan kaldırılması için yeni bir nokta yükleme deney cihazı tasarımı yapılmıştır.

Bu kapsamda operatör farklılığı, farklı yükleme hızlarına neden olacağından yükleme hızının dayanım üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için tamamen bilgisayar kontrollü, sabit yükleme hızında yani yüklemenin uniform şekilde yapılmasını sağlayacak bir tasarım yapılmıştır. Aynı operatör tarafından diğer cihazlarda aynı numuneler çok farklı sürelerde (10-20-30-40-50-60-70-80-90 sn) kırılırken, standardın öngörmüş olduğu sabit yükleme hızında yeni cihazda yapılan deneylerde kayaçların dayanımına bağlı kalmaksızın 30-60 saniye aralığında kırıldığı görülmüştür. Böylece operatör farklılığını ortadan kaldırmak, yükleme hızını daha uniform ve sabit tutarak klasik nokta yükleme dayanımı deneylerindeki bu hatalar ortadan kaldırılmıştır. Tasarlanan bu cihazda konik yükleme başlıkları standartta öngörüldüğü gibi $\alpha=60^\circ$, $r=5$ mm ve sertlikleri de $HRC>58'$ dir.

YNY'de her bir kayaç için 10'ar adet örnek üzerinde deneyler yapılmıştır. Kayaçların minimum, maksimum ve ortalama $I_{S(50)}$ değerleri ile bu değerlere ait standart sapmalar ve değişim katsayıları Çizelge 5.11'de verilmiştir. Değişim katsayısı, standart sapmanın aritmetik ortalamaya bölünüp yüzle çarpılması ile elde edilen katsayıdır. Oransal değişim ölçüsü olarak dağılımlardaki ölçek etkisini gidermek için kullanılır. Çizelge 5.11'de görüldüğü gibi 7 farklı kayaç türü için hesaplanan değişim katsayıları birbirinden farklılık göstermektedir. Bu değerlerin düşüklüğü verilerin birbirine yakınlığını ve güvenilirliğini ifade etmektedir. Yeni cihazdan elde edilen değişim katsayıları çoğunlukla diğer cihazlara göre düşük hesaplanmıştır. ***Farklı cihazlarda, manuel yükleme ile yapılacak deneylerde bu katsayısının daha da artması kaçınılmazdır.*** Çizelge 5.12'de yeni cihaz ve 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{S(50)}$

değerlerinin değişim katsayıları aradaki farkı vurgulayabilmek için bir arada verilmiştir. Çizelge 5.12’de açıkça görülmektedir ki yeni cihazda (operatör etkisi olmadan, sabit hızda sürekli yükleme ile) yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin değişim katsayıları 15 farklı KNY’de yapılan deneylerden elde edilen verilerin değişim katsayılarından düşüktür. Diğer taraftan 7 kayaç için 15 farklı KNY’deki minimum, maksimum ve ortalama $I_{s(50)}$ değerleri ile bu değerlere ait standart sapmalar ve değişim katsayıları Çizelge 5.13-5.19’de verilmiştir. Çizelge 5.13 ve 5.19’a bakıldığında bazı cihazlar için (özellikle 8 no’lu cihaz) değişim katsayılarının düşük olduğu ama genel trendin yüksek olduğu görülmektedir. Klasik nokta yükleme deney cihazlarında yapılan deneyler sonucu elde edilen değerlerin değişim katsayılarının, YNY’de yapılan deney verilerinin değişim katsayılarına nazaran genel olarak yüksek olduğu görülmektedir. Bu da YNY’den elde edilen verilerin daha güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.11. 7 farklı kayaç türü için yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Kayaç Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
K-1	3,47	4,66	4,22	0,24	5,69
K-2	1,64	4,2	2,76	0,98	35,51
K-3	3,83	4,45	4,14	0,22	5,31
M	3,08	3,64	3,31	0,20	6,04
A	3,72	7,21	5,77	0,73	12,65
G	5,59	7,77	6,96	0,23	3,30
D	7,23	9,14	8,25	0,66	8,00

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.12. Yeni cihaz ve 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin değişim katsayıları

Kayaç Kodu Cihaz No	Değişim Katsayısı (%)						
	K-1	K-2	K-3	M	A	G	D
1	26,56	36,59	9,60	13,82	12,56	5,93	8,6
2	22,64	47,92	8,24	3,26	15,75	7,54	7,77
3	12,66	16,60	3,53	3,31	16,59	7,56	10,26
4	30,55	48,22	4,65	6,86	6,54	11,88	6,72
5	31,18	37,37	16,23	12,53	7,86	5,94	12,86
6	27,02	52,17	8,18	16,67	12,78	12,38	7,03
7	22,12	55,21	16,7	12,66	10,22	7,71	10,64
8	3,85	3,12	2,73	1,82	10,27	7,34	12,91
9	38,68	57,81	8,54	16,25	21,51	12,61	18,63
10	20,08	29,06	12,14	9,12	18,54	7,99	12,93
11	13,92	37,77	11,94	15,34	15,44	8,63	12,90
12	15,21	32,49	12,58	14,94	16,70	18,56	22,15
13	11,72	41,74	20,16	8,68	8,24	12,32	8,94
14	25,49	46,03	8,60	9,93	8,68	7,77	10,95
15	24,35	50,90	7,75	4,56	18,81	12,03	13,10
YNY	5,69	35,51	5,31	6,04	12,65	3,30	8,00

Çizelge 5.13. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	3,36	6,66	4,33	1,15	26,56
2	2,66	5,32	3,71	0,84	22,64
3	2,60	3,59	3,08	0,39	12,66
4	1,58	4,77	3,11	0,95	30,55
5	3,33	7,58	5,10	1,59	31,18
6	2,11	5,11	3,59	0,97	27,02
7	2,96	5,51	4,34	0,96	22,12
8	3,72	4,16	3,90	0,15	3,85
9	1,45	4,96	3,18	1,23	38,68
10	3,90	6,93	4,78	0,96	20,08
11	3,58	5,79	4,74	0,66	13,92
12	2,79	4,49	3,55	0,54	15,21
13	3,30	4,71	4,01	0,47	11,72
14	2,07	5,35	4,08	1,04	25,49
15	2,62	5,41	3,82	0,93	24,35
Ort.	2,80	5,36	3,95	0,86	21,74

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.14. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	1,62	4,28	2,87	1,05	36,59
2	2,06	6,49	3,36	1,61	47,92
3	1,63	2,86	2,35	0,39	16,60
4	0,83	4,61	2,53	1,22	48,22
5	2,83	7,95	4,95	1,85	37,37
6	0,59	6,67	3,45	1,80	52,17
7	0,74	5,12	3,17	1,75	55,21
8	3,72	4,03	3,85	0,12	3,12
9	1,13	5,29	2,37	1,37	57,81
10	1,64	5,30	3,51	1,02	29,06
11	2,54	7,45	4,58	1,73	37,77
12	2,56	5,47	3,97	1,29	32,49
13	1,13	4,33	2,42	1,01	41,74
14	1,41	4,98	3,15	1,45	46,03
15	1,70	5,58	2,79	1,42	50,90
Ort.	1,74	5,36	3,29	1,27	39,53

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.15. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	3,47	4,65	3,96	0,38	9,60
2	2,77	3,74	3,40	0,28	8,24
3	2,61	2,97	2,83	0,10	3,53
4	2,82	3,33	3,01	0,14	4,65
5	3,43	5,94	4,56	0,74	16,23
6	3,27	4,28	3,79	0,31	8,18
7	3,24	5,55	4,73	0,79	16,70
8	3,85	4,14	4,03	0,11	2,73
9	3,50	4,43	3,98	0,34	8,54
10	2,88	4,31	3,87	0,47	12,14
11	3,38	5,12	4,44	0,53	11,94
12	2,74	3,92	3,26	0,41	12,58
13	2,05	4,47	3,77	0,76	20,16
14	3,32	4,25	3,72	0,32	8,60
15	3,80	4,79	4,26	0,33	7,75
Ort.	3,14	4,39	3,84	0,40	10,10

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.16. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	2,60	3,93	3,04	0,42	13,82
2	2,50	2,82	2,76	0,09	3,26
3	2,58	2,88	2,72	0,09	3,31
4	2,53	3,14	2,77	0,19	6,86
5	2,95	4,48	3,59	0,45	12,53
6	1,99	3,51	2,76	0,46	16,67
7	3,13	4,52	3,79	0,48	12,66
8	2,15	2,27	2,20	0,04	1,82
9	1,73	2,92	2,40	0,39	16,25
10	2,90	3,73	3,29	0,30	9,12
11	2,91	4,74	3,52	0,54	15,34
12	2,60	3,68	3,08	0,46	14,94
13	2,76	3,61	3,11	0,27	8,68
14	2,52	3,23	2,92	0,29	9,93
15	2,51	2,84	2,63	0,12	4,56
Ort.	2,56	3,49	2,97	0,31	9,98

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.17. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	5,38	7,59	6,69	0,84	12,56
2	3,96	7,10	5,46	0,86	15,75
3	3,65	5,68	4,64	0,77	16,59
4	4,01	5,10	4,59	0,30	6,54
5	6,25	7,87	7,00	0,55	7,86
6	4,78	6,96	5,71	0,73	12,78
7	6,29	8,59	7,44	0,76	10,22
8	5,38	7,39	6,23	0,64	10,27
9	3,80	6,54	5,16	1,11	21,51
10	4,59	8,08	6,42	1,19	18,54
11	5,00	8,82	7,06	1,09	15,44
12	3,88	6,46	4,55	0,76	16,70
13	5,56	7,25	6,43	0,53	8,24
14	4,88	6,38	5,76	0,50	8,68
15	2,97	5,55	4,89	0,92	18,81
Ort.	4,69	7,02	5,87	0,77	13,37

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.18. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	6,17	7,57	6,75	0,40	5,93
2	6,09	7,67	6,90	0,52	7,54
3	5,10	6,45	5,82	0,44	7,56
4	4,35	6,32	5,47	0,65	11,88
5	6,95	8,49	8,08	0,48	5,94
6	5,34	7,50	6,38	0,79	12,38
7	7,11	8,99	8,04	0,62	7,71
8	6,65	8,17	7,36	0,54	7,34
9	4,31	6,34	5,55	0,70	12,61
10	6,26	7,76	7,01	0,56	7,99
11	6,72	8,38	7,53	0,65	8,63
12	4,14	7,38	5,98	1,11	18,56
13	5,68	8,35	6,82	0,84	12,32
14	5,22	6,66	6,05	0,47	7,77
15	4,84	6,81	5,90	0,71	12,03
Ort.	5,66	7,52	6,64	0,63	9,75

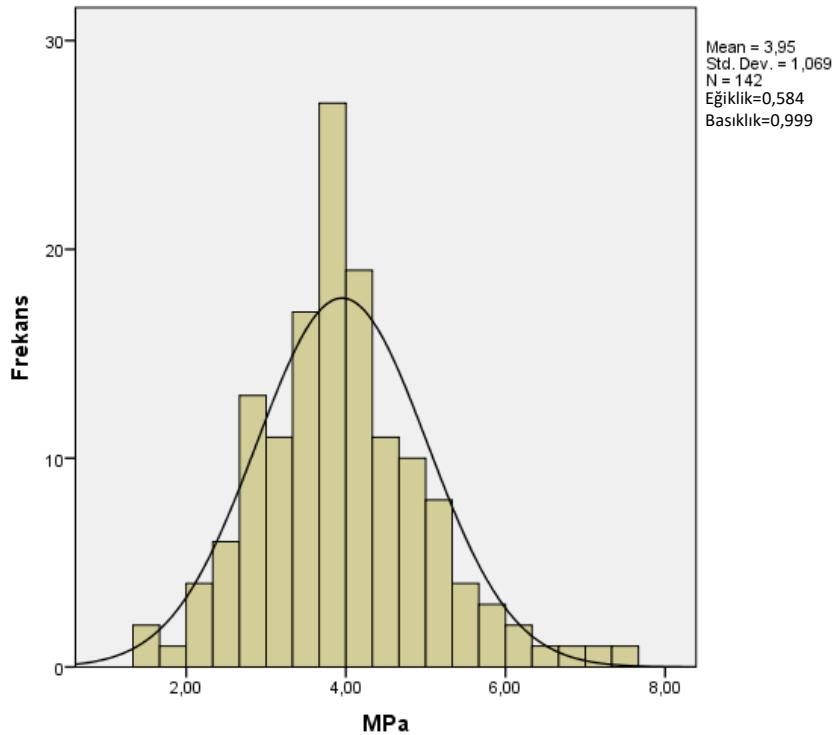
$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Çizelge 5.19. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

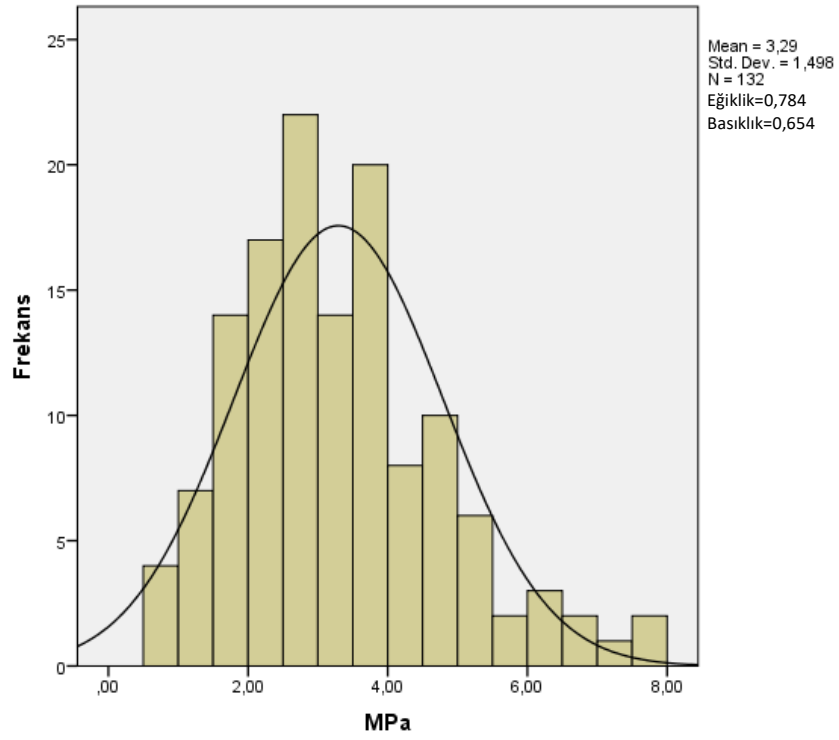
Cihaz Kodu	Min. $I_{s(50)}$ (MPa)	Maks. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)
1	7,05	9,33	8,26	0,71	8,60
2	7,56	9,45	8,49	0,66	7,77
3	6,19	8,13	6,92	0,71	10,26
4	6,09	7,34	6,70	0,45	6,72
5	7,38	11,38	9,10	1,17	12,86
6	6,59	7,98	7,25	0,51	7,03
7	7,80	10,78	9,21	0,98	10,64
8	7,00	9,86	8,44	1,09	12,91
9	4,50	9,36	7,14	1,33	18,63
10	6,79	10,05	8,74	1,13	12,93
11	6,92	11,38	8,76	1,13	12,90
12	4,73	9,66	6,05	1,34	22,15
13	7,29	9,49	8,50	0,76	8,94
14	6,34	8,77	7,58	0,83	10,95
15	6,55	9,64	7,71	1,01	13,10
Ort.	6,59	9,51	7,92	0,92	11,76

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

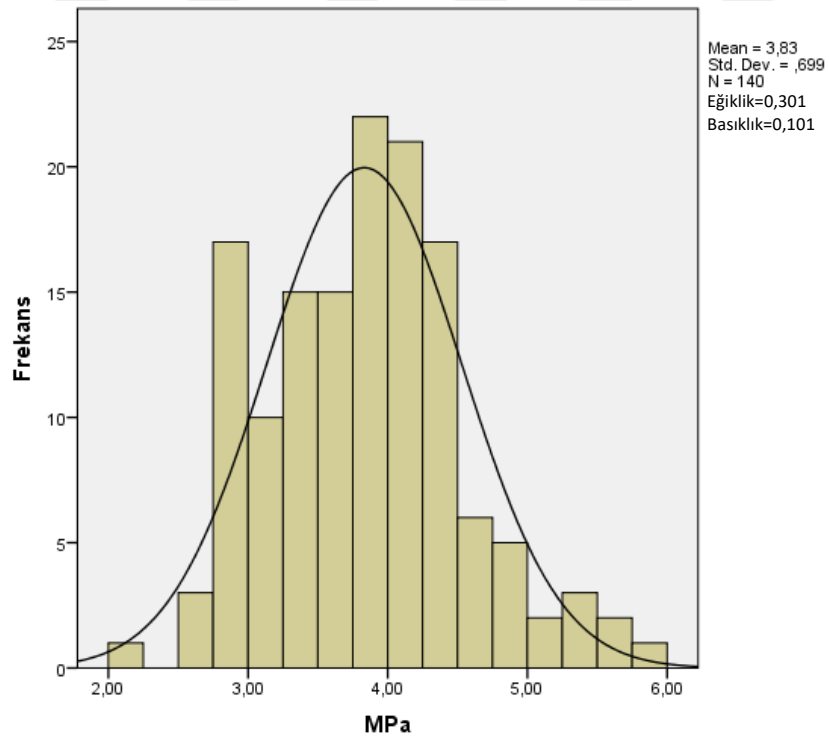
7 farklı kayaç türünün 15 farklı KNY’de aynı operatör tarafından deneye tabi tutulması sonucu elde edilen değerler toplu halde tek bir veri seti olarak değerlendirilip histogram grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.16-5.22). Oluşturulan histogram grafiklerinde her kayaç türü için ortalama $I_{s(50)}$ değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin 15 cihazın aritmetik ortalamasından elde edilen değerlerle aynı olduğu, standart sapma değerlerinin ise birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Şekil 5.16-5.22 incelendiğinde 15 farklı KNY’de yapılan deneyler sonucu elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin 7 kayaç için de normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 5.16-5.22’ye bakıldığında 15 ile 20 arasında grup olduğu, grup genişliklerinin de çok küçük olduğu görülmektedir. Bu da bize deneyler sonucunda elde edilen verilerin saçılımının fazla olduğunu fakat standart bir ortalama değere sahip olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle güvenilir bir $I_{s(50)}$ değeri elde etmek için çok fazla sayıda ve farklı cihazlarda deney yapılmalıdır. Ayrıca aynı operatör tarafından deneyler yapıldığı halde saçılımın ne kadar fazla olduğu bu grafiklerde de açıkça görülmektedir.



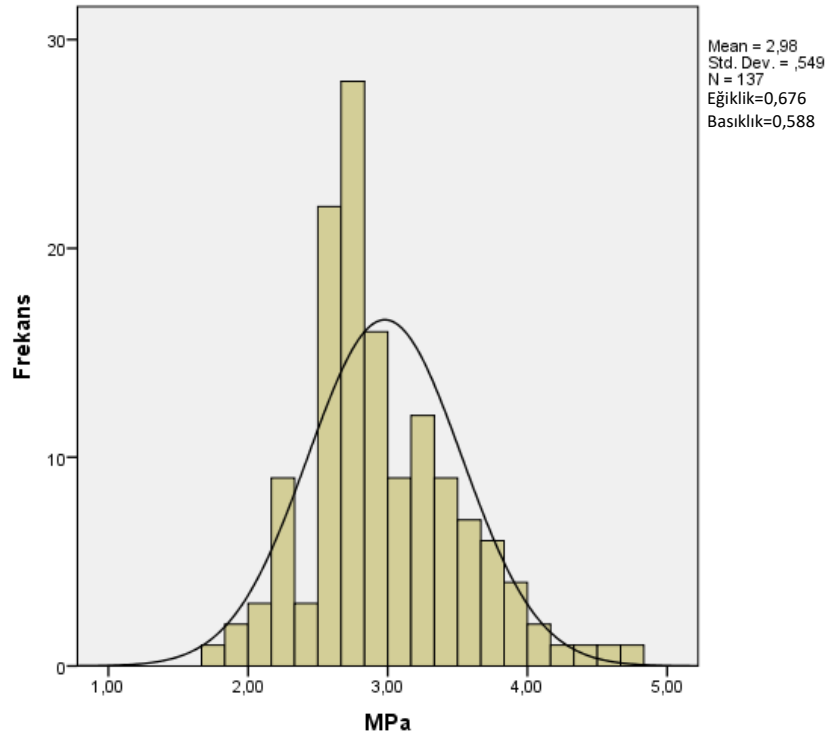
Şekil 5.16. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY’den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı



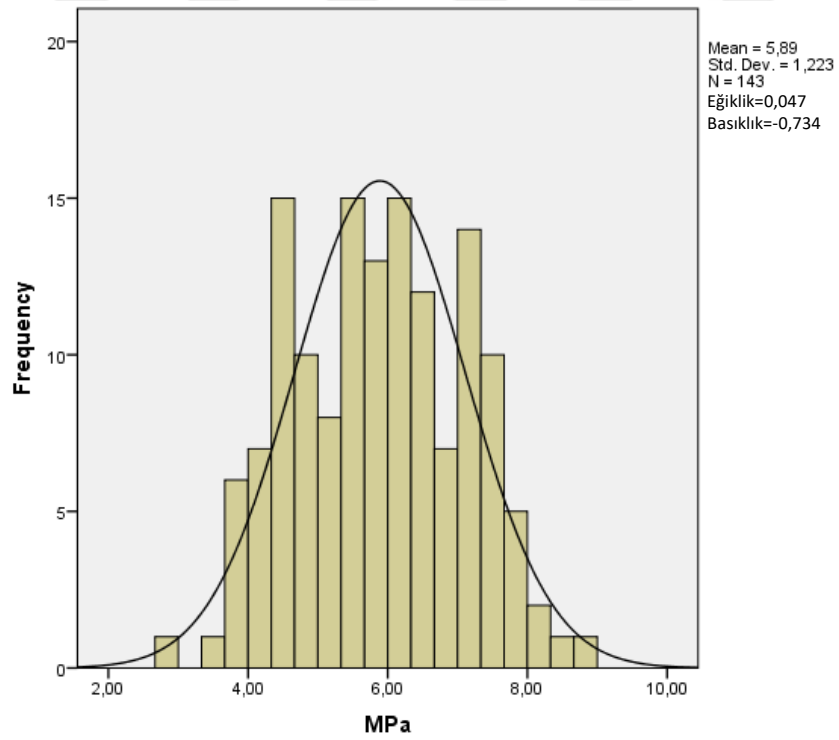
Şekil 5.17. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı



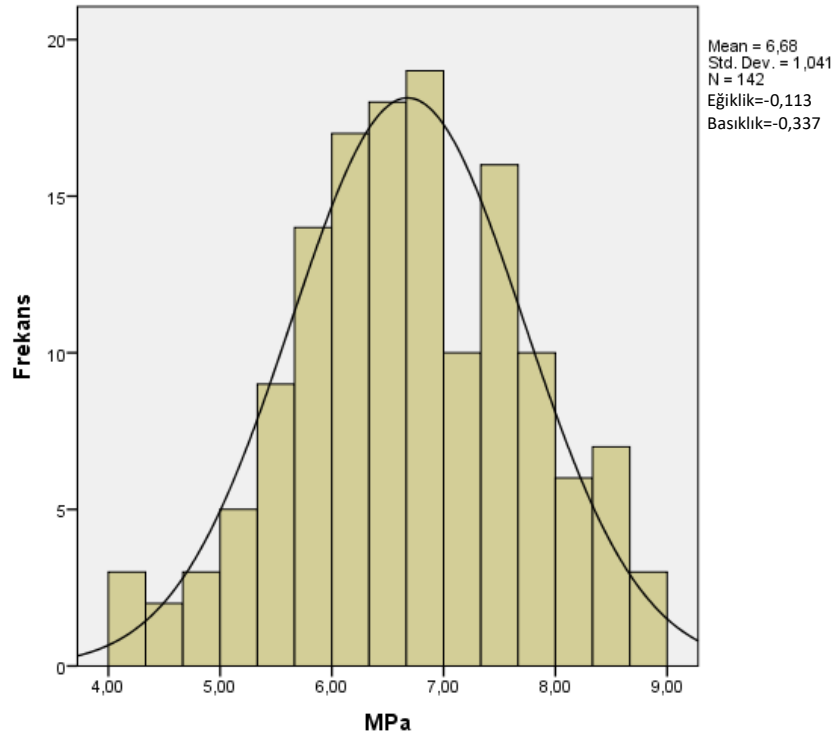
Şekil 5.18. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı



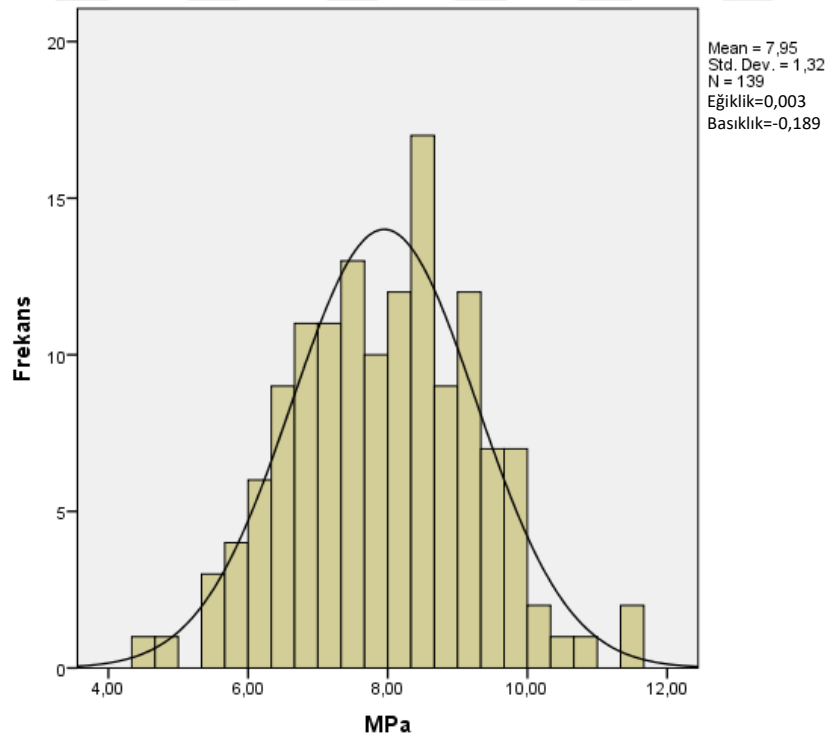
Şekil 5.19. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı



Şekil 5.20. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı



Şekil 5.21. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı

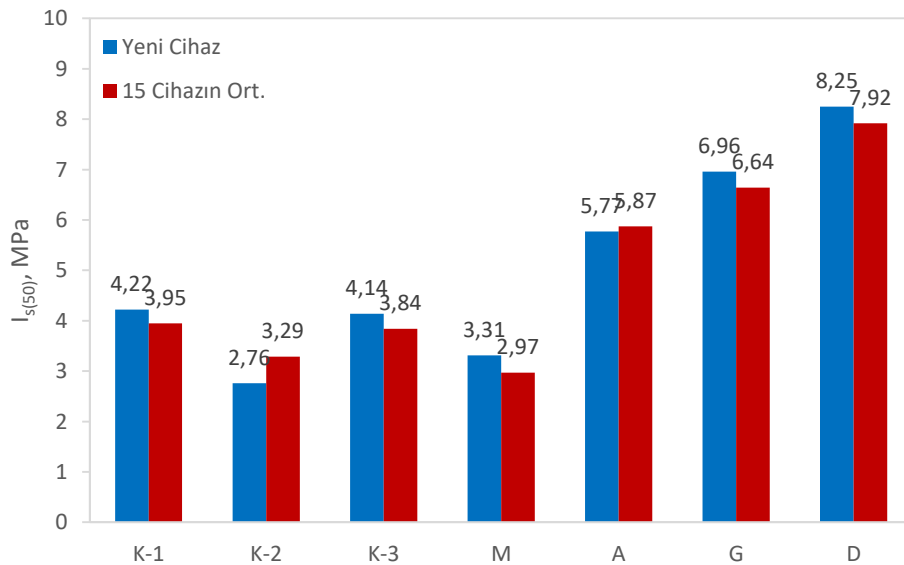


Şekil 5.22. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin dağılımı

Şekil 5.23 incelendiğinde 5 kayacın (K-1, K-3, M, G ve D kodlu kayaçların) 15 farklı KNY’de aynı operatör tarafından yapılan deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamalarının, YNY’den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamalarından daha düşük olduğu, 2 kayacın (K-2 ve A kodlu kayaçların) $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamalarının ise, YNY’den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamalarından yüksek olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle aynı operatör aynı kayaca, aynı örnek boyutlarında, olabildiğince aynı düzlemde hazırlanmış örnekler üzerinde deneylerini gerçekleştirmiş dahi olsa elde edilen ortalama değer YNY’den elde edilen değere % 2 ile % 19 arasında değişen oranlarda yaklaşabilmektedir (Çizelge 5.20).

Çizelge 5.20. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 15 farklı KNY’den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Kayaç Kodu	YNY Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	15 KNY Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	$I_{s(50)}$ Fark (%)
K-1	4,22	3,95	6,4
K-2	2,76	3,29	-19,2
K-3	4,14	3,84	7,2
M	3,31	2,97	10,3
A	5,77	5,87	-1,7
G	6,96	6,64	4,6
D	8,25	7,92	4,0



Şekil 5.23. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 15 farklı KNY’den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

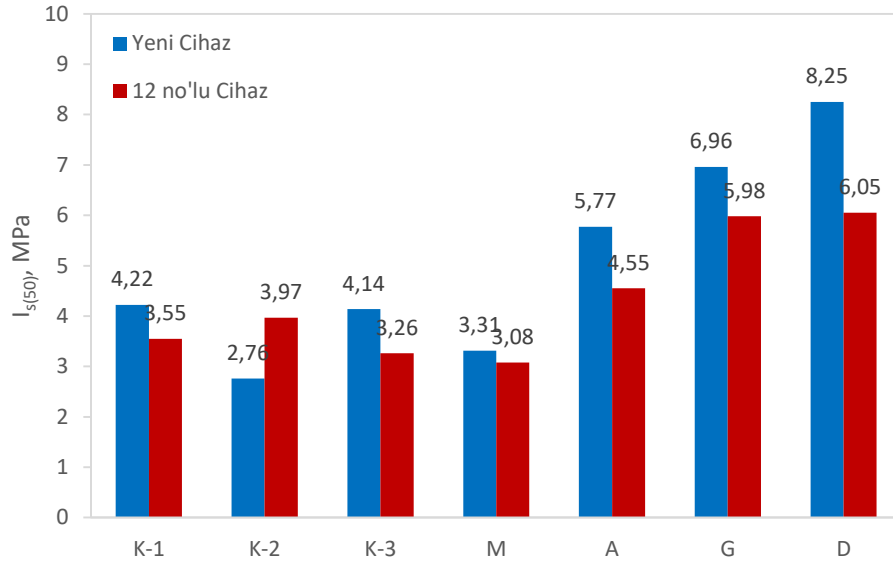
Çalışmada kullanılan 15 farklı KNY arasında ilgili standardın (ISRM, 1985; 2007) öngördüğü konik başlık geometrisine sahip ($r=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ açılı) tek cihaz **12 no'lu cihazdır** (temin edilmiş ve hiç kullanılmamış).

Standartlara uygun olan bu KNY ile YNY'den elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Şekil 5.24 incelendiğinde 12 no'lu cihazda yapılan deneylerden elde edilen 6 farklı türdeki kayacın $I_{s(50)}$ değerlerinin, YNY'de yapılan deneylerden (operatörü olmayan, otomatik olarak yükleme işlemini gerçekleştiren, standart başlık geometrisine sahip olan) elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinden % 7-27 oranında daha düşük olduğu, sadece K-2 kodlu kayacın $I_{s(50)}$ değerinin % 44 oranında yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 5.21). Bu da bize çalışmanın başından beri vurgulanmaya çalışılan operatör farklılıklarının ve yükleme hızlarının ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir. Klasik deney cihazlarındaki kesikli ve düzensiz yükleme hızları yerine YNY'de bu hatalar ortadan kaldırılarak daha üniform ve sabit yükleme hızında deneyleri yapmanın kayaların gerçek $I_{s(50)}$ değerlerine olabildiğince yakın değerler elde edilmesindeki önemini bir kez daha göstermektedir.

Çizelge 5.21. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 12 no'lu cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Kayaç Kodu	YNY		12 no'lu KNY		$I_{s(50)}$ Fark (%)
	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Değişim Katsayısı (%)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Değişim Katsayısı (%)	
K-1	4,22	5,69	3,55	15,21	15,9
K-2	2,76	35,51	3,97	32,49	43,8
K-3	4,14	5,31	3,26	12,58	21,3
M	3,31	6,04	3,08	14,94	6,9
A	5,77	12,65	4,55	16,7	21,1
G	6,96	3,30	5,98	18,56	14,1
D	8,25	8,00	6,05	22,15	26,7

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Ort.: Ortalama

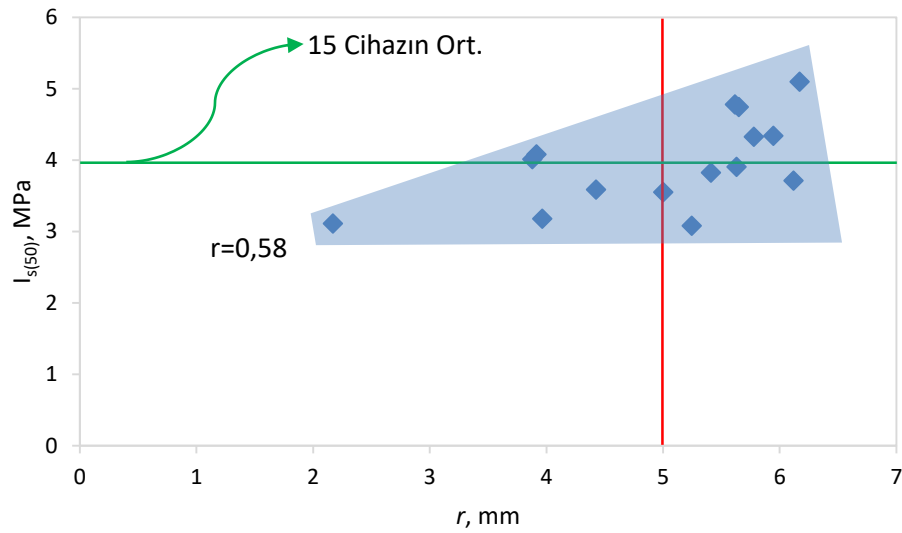


Şekil 5.24. Yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile 12 no'lu cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

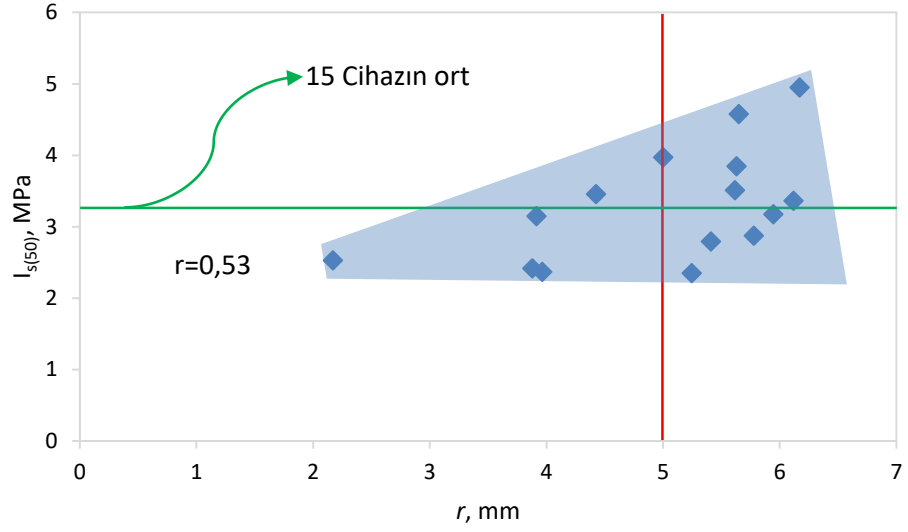
5.5. Konik Başlığın Küresellik Yarıçapının (r) Nokta Yükleme Dayanımı Değerine Etkisinin Belirlenmesi

ISRM (1995; 2007) tarafından nokta yükleme deney cihazında bulunan konik yükleme başlıklarının açılarının $\alpha=60^\circ$, küresellik yarıçaplarının da $r=5$ mm olması önerilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği 15 farklı KNY'ye ait konik başlıkların küresellik yarıçap değerlerinin 2,2 ile 6,2 mm arasında değiştiği daha önce Çizelge 3.3'de verilmiştir. Her bir kayaç türü için ayrı ayrı, cihazların konik başlıklarının r küresellik değerleri ile $I_{s(50)}$ değerleri arasında bir ilişkinin varlığının olup olmadığı incelenmiş ve aralarındaki ilişkiler şekil 5.25-5.31'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan 15 farklı KNY'nin küresellik yarıçaplarının (r) 2,2 ile 6,2 mm aralığında değiştiği görülmektedir (Çizelge 3.3). Şekil 5.25-5.31 incelendiğinde $I_{s(50)}$ değerleriyle r değerleri arasında çok yüksek anlam derecesine sahip ilişkiler olmadığı görülmektedir. Şekil 5.25-5.31'e bakıldığında standartta öngörülen $r=5$ mm küresellik yarıçapına yakın uçların bulunduğu cihazlarda gerçekleştirilen deneylerin verilerinin dahi ortalamadan büyük farklılıklar gösterdiği görülmektedir. **Çünkü her bir KNY'nin teknik özellikleri bakımından birbirlerinden farklılık göstermesi nedeniyle r küresellik yarıçapının $I_{s(50)}$ değerleri üzerindeki etkisini incelemek mümkün olmamaktadır.**

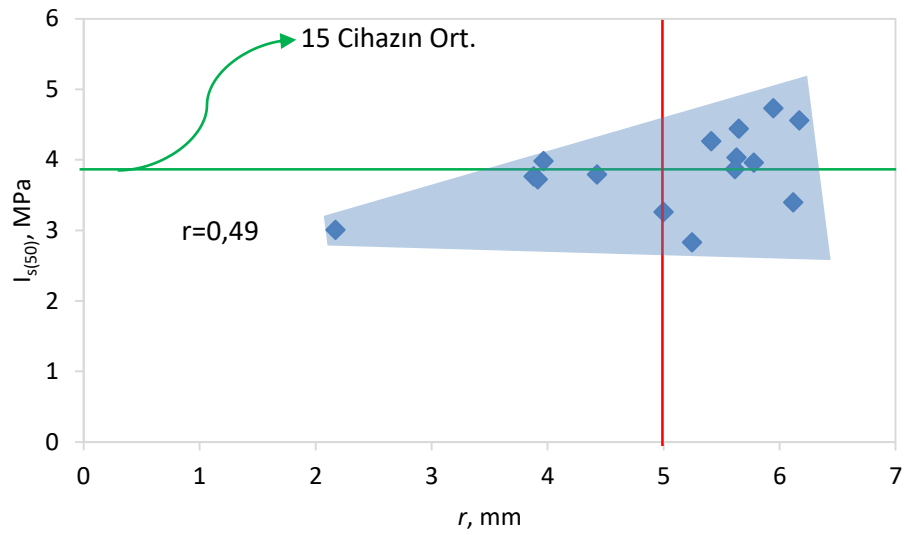
Şekil 5.9-5.15 incelendiğinde bazı cihazlardan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin 15 KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamasının üstünde olduğu bazı cihazlardan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin de bu ortalama değerin altında kaldığı görülmüştür. Şekil 5.25-5.31'e bakıldığında bu ortalamanın üstünde kalan $I_{s(50)}$ değerlerinin elde edildiği deney cihazlarından bir tanesi dışındakilerin hepsinin r küresellik yarıçaplarının $r > 5$ mm şeklinde olduğu görülmüştür. Nokta yükleme dayanımı üzerine konik başlığın küreselliğinin bir etkisi olduğu muhakkaktır. Fakat deney cihazlarının teknik özelliklerinin farklı olması, her ne kadar kullanılan kayaçlar ve operatör aynı olsa bile çok fazla değişken olmasından dolayı r 'nin nokta yükleme dayanımına etki derecesi doğrudan tespit edilememiştir.



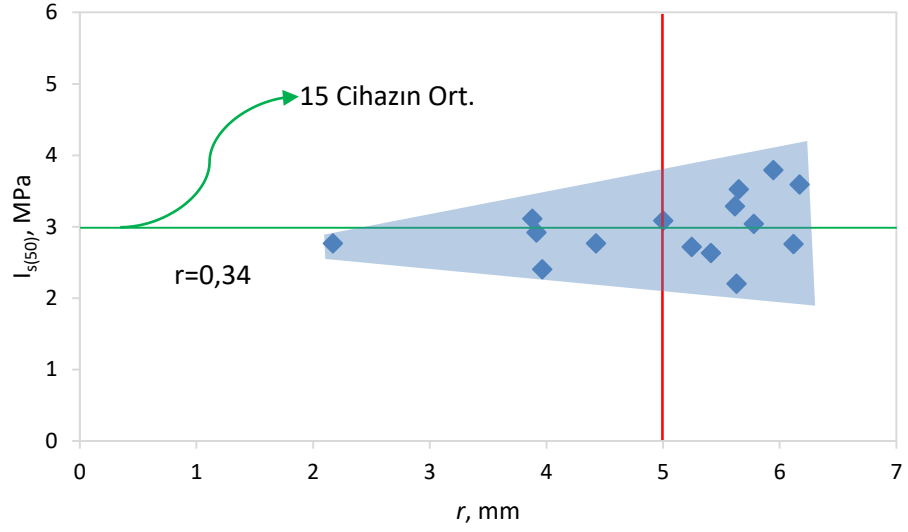
Şekil 5.25. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki



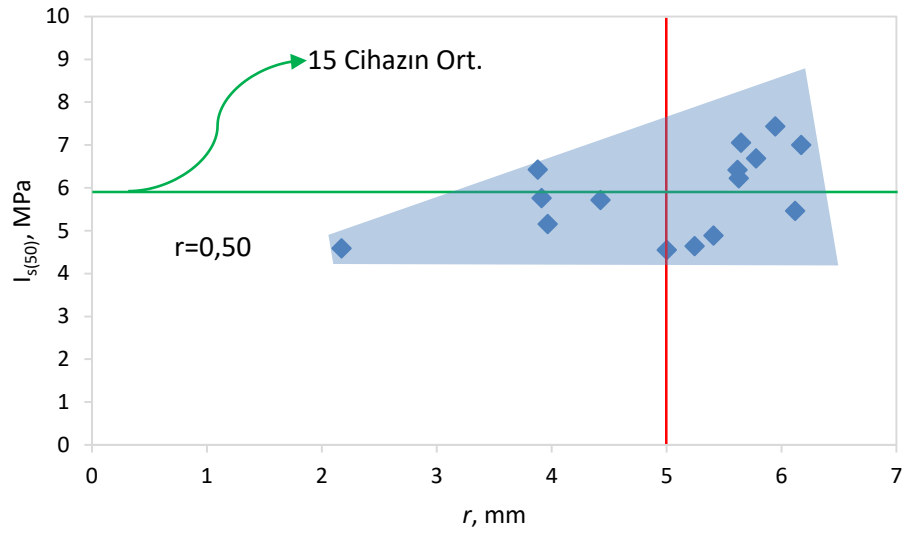
Şekil 5.26. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki



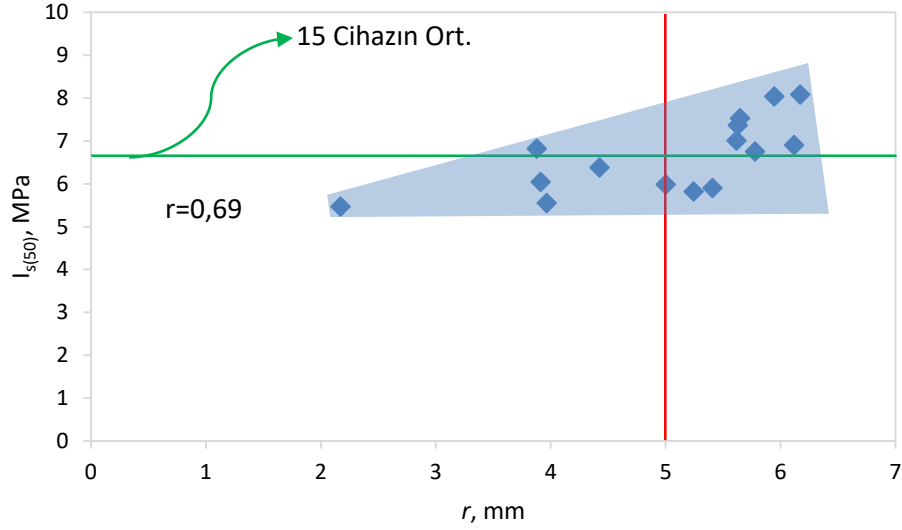
Şekil 5.27. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki



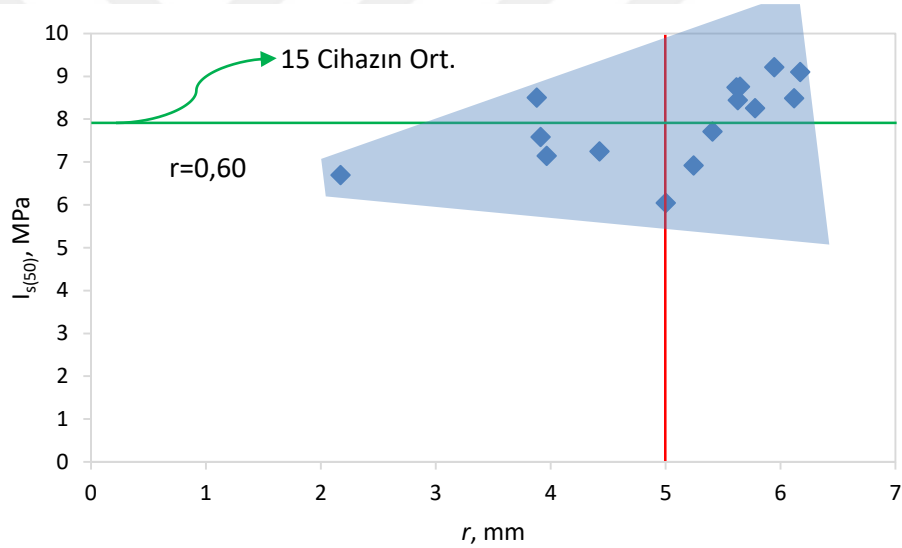
Şekil 5.28. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki



Şekil 5.29. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki



Şekil 5.30. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki



Şekil 5.31. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle r arasındaki ilişki

Konik başlığın küresellik yarıçapının (r) kayacın nokta yükleme dayanımına etkisini görmek için $r=3$ mm, $r=5$ mm ve $r=5,5$ mm'lik 3 farklı r değerine sahip (Şekil 5.32) konik başlık kullanılarak yeni cihazda, operatör etkisinden, yükleme hızı etkisinden bağımsız olarak, 7 farklı türdeki kayaç için, her ayrı r değerinde 8'er adet örnek üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Böylece nokta yükleme dayanımı üzerinde sadece küresellik yarıçapının etkisini gözlemleyebilmek mümkün olmuştur. Şekil 5.33 incelendiğinde aynı yükleme hızında yapılan deneylerde

küresellik yarıçapı arttıkça nokta yükleme dayanımı değerinin de arttığı görülmektedir. Küresellik yarıçapı $r=5$ mm'lik başlık kullanılarak elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin $r=3$ mm'lik başlık kullanılarak elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinden % 16 daha yüksek, $r=5,5$ mm'lik başlık kullanılarak elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinden % 4 daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.22). Diğer bir ifadeyle, konik ucun küreselliğinde meydana gelen 0,5 mm'lik bir artma veya azalma nokta yükleme dayanımı değerini % 4 değiştirmektedir.

Hangi kayaç türünün konik başlığın ucunun küresellik yarıçapının değişiminden ne kadar etkilendiğini belirlemek için Şekil 5.33'da bulunan eğrilere doğrusal eğilim çizgileri eklenerek eğim değerleri (m_i) belirlenmiştir (Çizelge 5.22). Eğim değerleri incelendiğinde konik başlığın ucunun küreselliğinin değişmesinden en çok G kodlu kayacın, en az da M kodlu kayacın etkilendiği görülmektedir. Eğim değerleri ile nokta yükleme dayanımı değerlerinin ($r=5$ mm için) grafiği çizilmiş ve aralarında $r=0,60$ korelasyon katsayılı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.34). Küresellik yarıçapı $r=5$ mm'den farklı değerlere sahip konik başlıklarla deney yapılması durumunda $I_{s(50)}$ değerlerini $r=5$ mm'ye göre normalleştirmek için diğer bir ifadeyle r etkisinden arındırılmış $I_{s(50)}$ değerlerinin elde edilebilmesi için bir eşitlik önerilmiştir (Eşitlik 5.1). Deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ve $r=5$ mm'ye göre normalleştirilmiş $I_{s(50)r}$ değerleri Çizelge 5.23'te verilmiştir. Şekil 5.35'de $I_{s(50)}$ ile $I_{s(50)r}$ arasındaki ilişki 1:1 grafiği ile incelenmiştir. Eşitlik 5.1 kullanılarak hesaplanan $I_{s(50)}$ ile $I_{s(50)r}$ değerleri arasında $r=0,97$ korelasyon katsayılı güçlü doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

$$I_{s(50)r} = I_{s(50)r_i} \times \left(1 - \left(\frac{r_i - 5}{0,1}\right)\right) \times 0,008 \quad (5.1)$$

Burada;

$I_{s(50)r}$ = Küresellik yarıçapı $r=5$ mm'ye göre normalleştirilmiş nokta yükleme dayanımı değeri, MPa

$I_{s(50)r_i}$ = Küresellik yarıçapı $r \neq 5$ mm ($r < 5$ mm veya $r > 5$ mm) için nokta yükleme dayanımı değeri, MPa

r_i = Konik başlığın r değeri, mm



Şekil 5.32. YNY’de kullanılan farklı r (3-5-5,5 mm) değerine sahip konik başlıklar

Çizelge 5.22. YNY’de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ve eğim değerleri

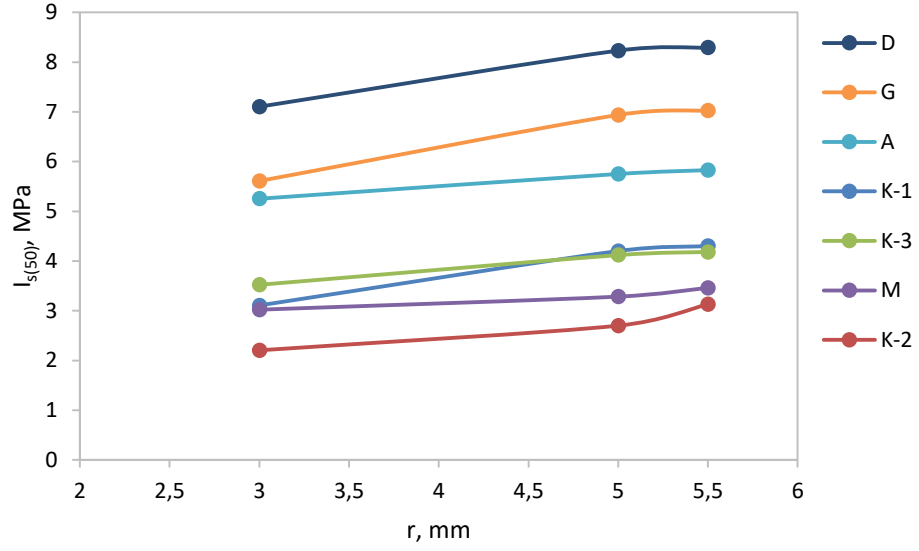
Kayaç Kodu	$r=3$ mm		$r=5$ mm	$r=5,5$ mm		Eğim (m_i)
	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	$r=5$ mm’ye göre fark (%)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	$r=5$ mm’ye göre fark (%)	
K-1	3,13	-25,8	4,22	4,32	2,3	0,496
K-2	2,23	-19,2	2,76	3,15	12,4	0,339
K-3	3,55	-14,3	4,14	4,21	1,7	0,273
M	3,04	-8,2	3,31	3,48	4,9	0,164
A	5,27	-8,7	5,77	5,85	1,4	0,237
G	5,63	-19,1	6,96	7,05	1,3	0,596
D	7,13	-13,6	8,25	8,31	0,7	0,497

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; Ort.: Ortalama

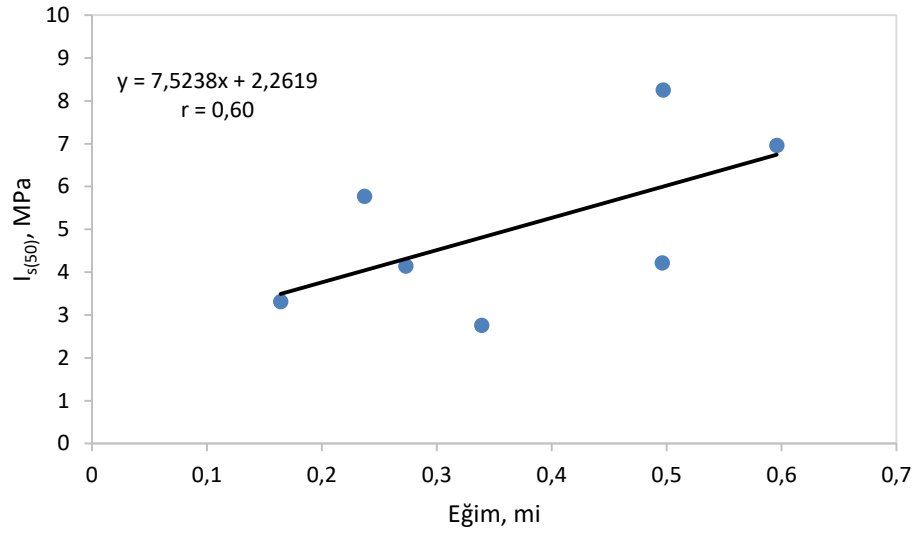
Çizelge 5.23. Farklı r değerlerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile normalize edilmiş değerler

Kayaç Kodu	$r=3$ mm		$r=5$ mm	$r=5,5$ mm	
	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	$I_{s(50)r}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	Ort. $I_{s(50)}$ (MPa)	$I_{s(50)r}$ (MPa)
K-1	3,13	3,63	4,22	4,32	4,15
K-2	2,23	2,59	2,76	3,15	3,02
K-3	3,55	4,12	4,14	4,21	4,04
M	3,04	3,53	3,31	3,48	3,34
A	5,27	6,11	5,77	5,85	5,62
G	5,63	6,53	6,96	7,05	6,77
D	7,13	8,27	8,25	8,31	7,98

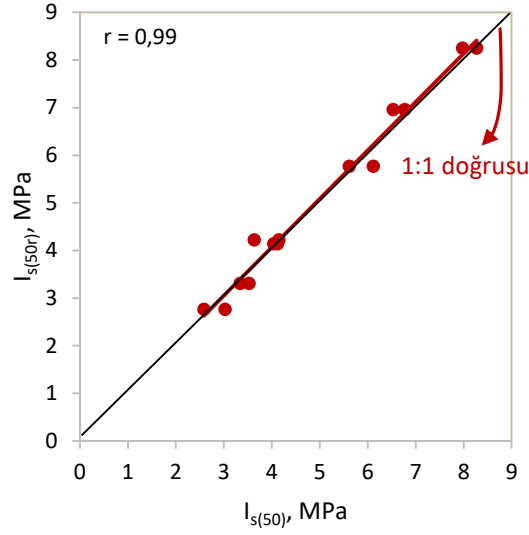
$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı değeri; $I_{s(50)r}$: $r=5$ mm için normalize edilmiş nokta yükleme dayanımı değerleri; Ort.: Ortalama



Şekil 5.33. YNY’de denen farklı r (3-5-5,5 mm) değerleri ile $I_{s(50)}$ değerleri ve değişimi



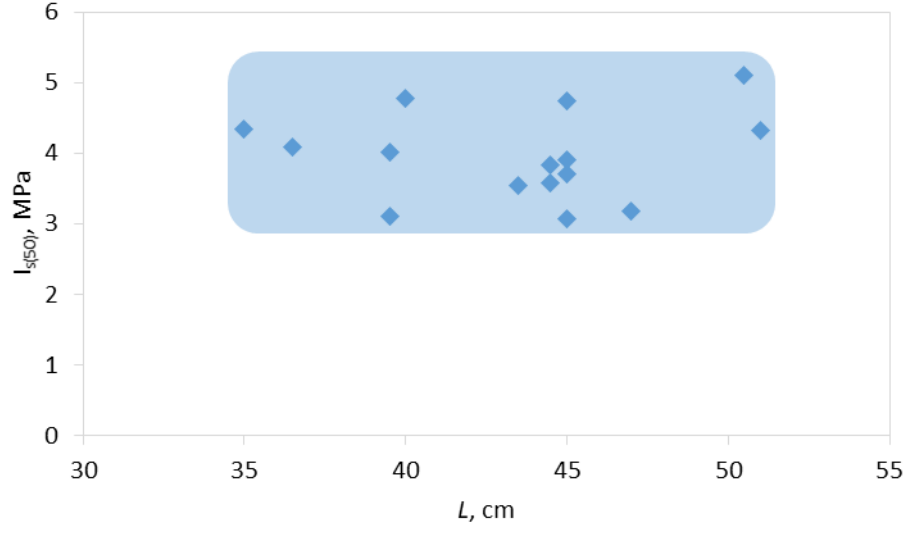
Şekil 5.34. Eğim değerleri ve $r=5$ mm için $I_{s(50)}$ ile ilişkisi



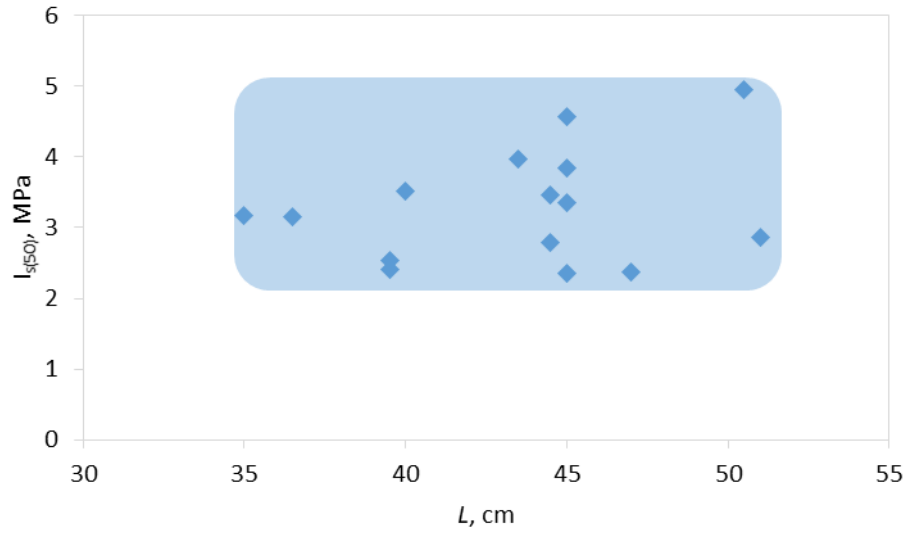
Şekil 5.35. $I_{s(50)}$ ile $I_{s(50)ri}$ arasında belirlenen ilişki

5.6. Yükleme (Kriko) Kolu Boyu (L) Etkisinin Nokta Yükleme Dayanımı Değerine Etkisinin Belirlenmesi

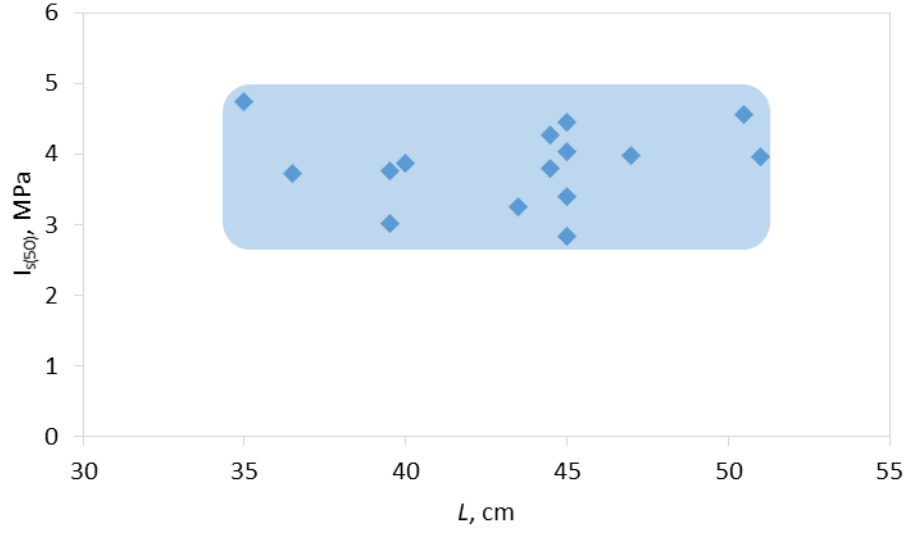
Bu tez çalışması kapsamında deney yapılan 15 farklı KNY'nin yükleme kolu boylarına (L) bakıldığında 35 cm ile 51 cm arasında değişen L değerlerine sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 3.3). Nokta yükleme dayanımı ile yükleme kolu boyu arasındaki ilişkiyi incelemek için $I_{s(50)}$ değerlerine karşılık L değerlerinin grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.36-5.42). Şekil 5.36-5.42'ye bakıldığında $I_{s(50)}$ ile L değerleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmektedir.



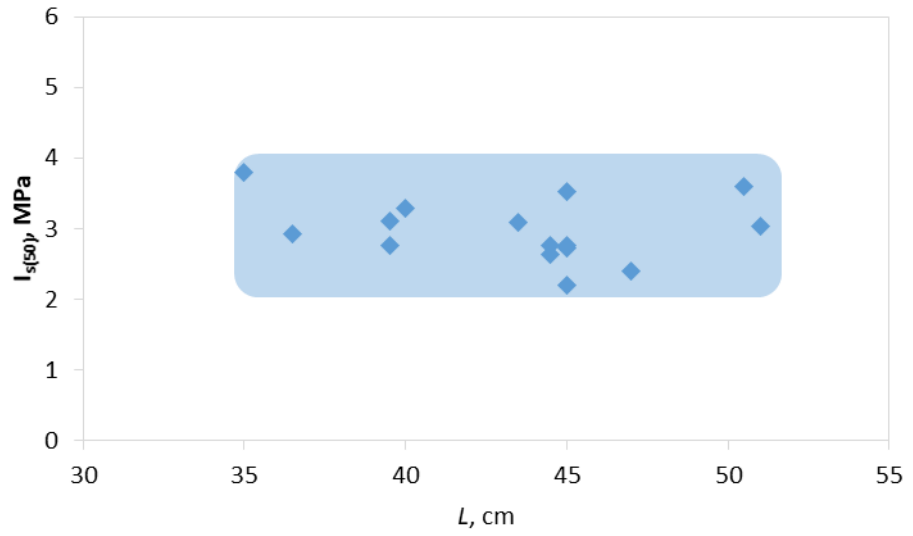
Şekil 5.36. K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki



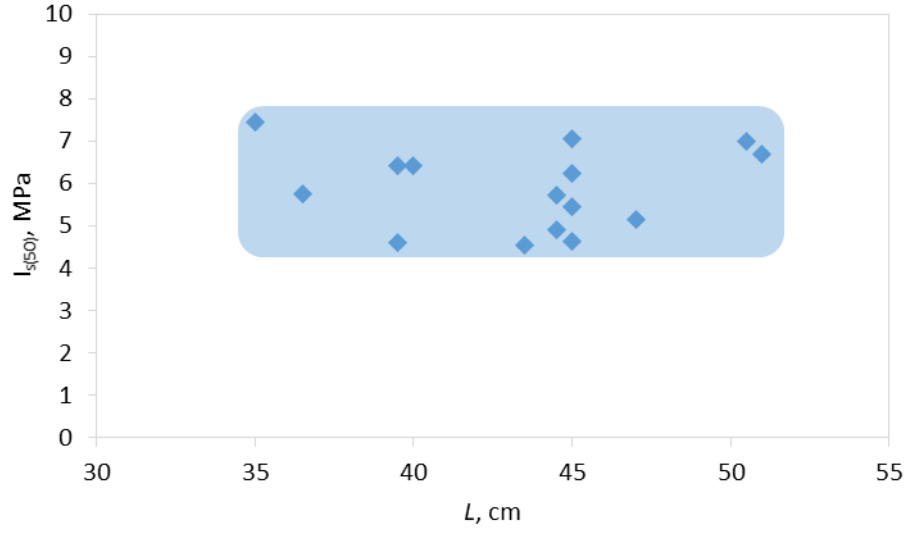
Şekil 5.37. K-2 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki



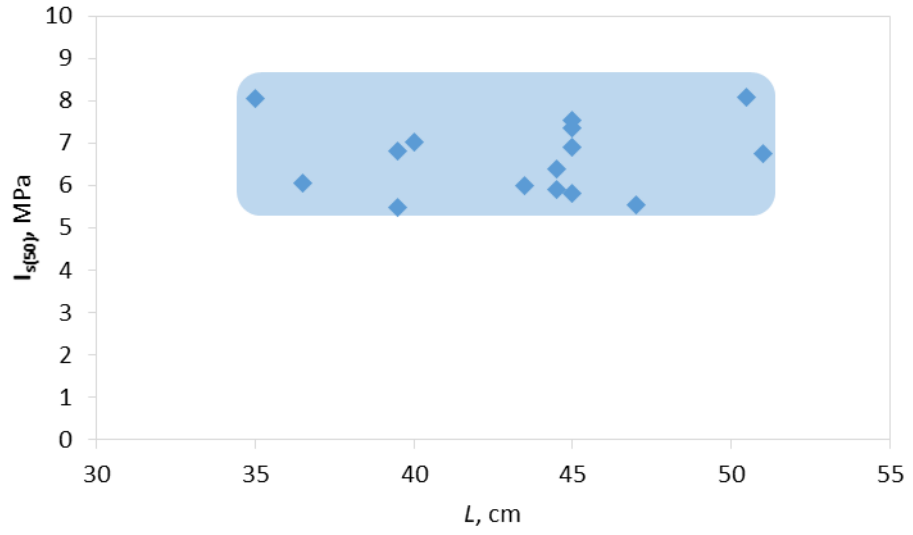
Şekil 5.38. K-3 kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki



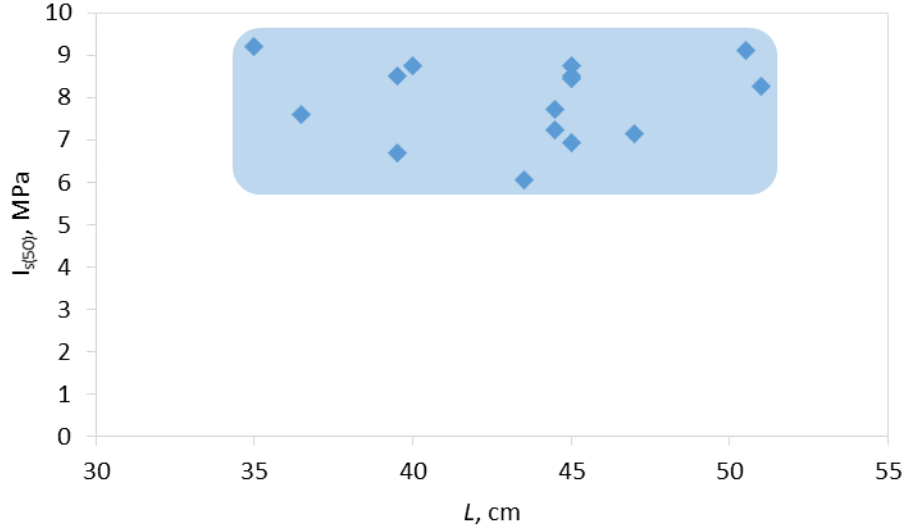
Şekil 5.39. M kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki



Şekil 5.40. A kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki



Şekil 5.41. G kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki



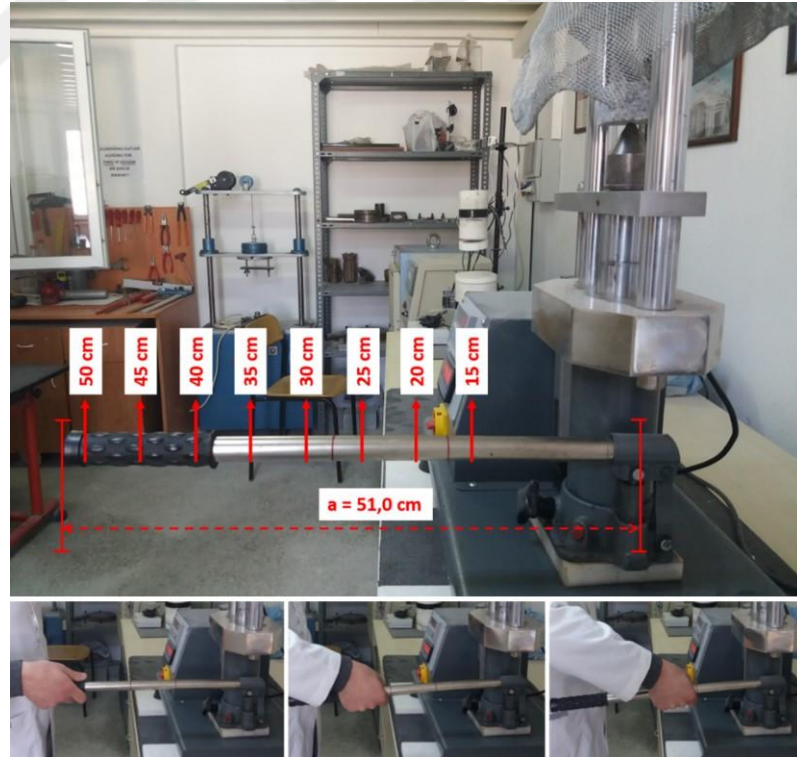
Şekil 5.42. D kodlu kayacın 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ ile L arasındaki ilişki

Yükleme kolu boyunun nokta yüklemeye dayanımı üzerinde bir etkisinin olup olmadığını belirlemek adına bu tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların dışındaki 9 çeşit kayaç üzerinde deneyler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında 15 farklı KNY'de deneyler gerçekleştirilirken yapılan gözlemler ile tez izleme komitesi (TİK) üyeleri ile yapılan tartışma ve katkılar sonucu yapılmasına karar verilen bu deneyler, planlama aşamasında öngörülemediği için, çalışma için temin edilen numune sayılarına, bu deneyler için gereken numune sayısı eklenmemiştir. Bu nedenlerden dolayı bu deneylerde kullanılan kayaç türleri çalışmanın genelinde kullanılan 7 kayaçtan farklı olarak hazırlanmıştır (Çizelge 5.24).

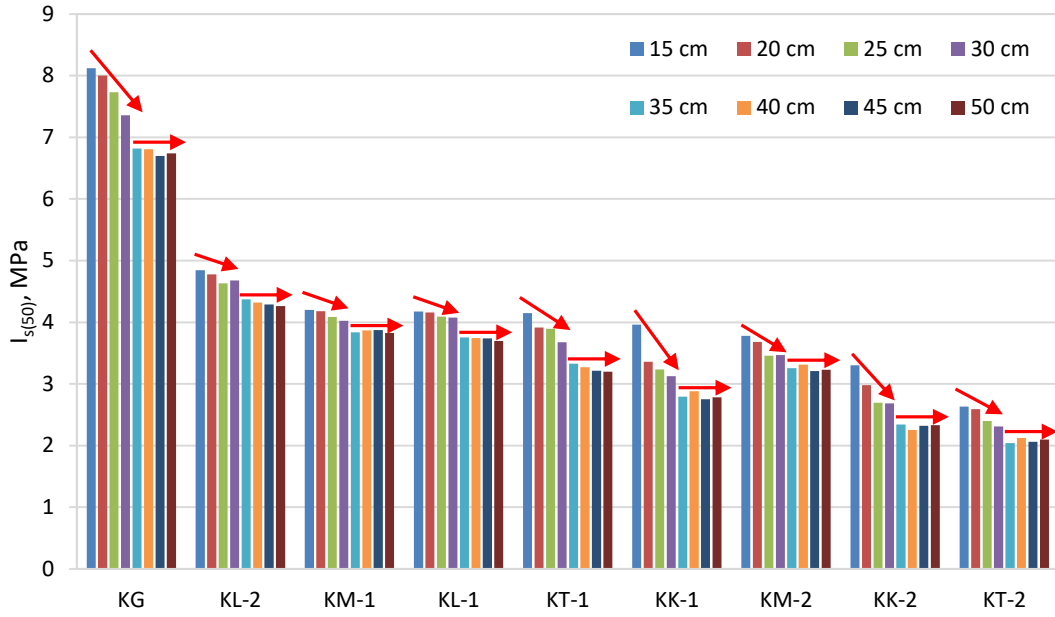
Çizelge 5.24. Yüklemeye kolu boyunun nokta yüklemeye dayanımına etki derecesini belirlemek için yapılan deneylerde kullanılan yeni kayaçlar

Kayaç Adı	Kayaç Kodu	Köken
Kireçtaşı-1	KK-1	Sedimanter
Kireçtaşı-2	KK-2	Sedimanter
Killi Kireçtaşı-1	KL-1	Sedimanter
Killi Kireçtaşı-2	KL-2	Sedimanter
Traverten-1	KT-1	Sedimanter
Traverten-2	KT-2	Sedimanter
Mermer-1	KM-1	Metamorfik
Mermer-2	KM-2	Metamorfik
Granit	KG	Magmatik

Yükleme kolu boyunun (L) nokta yüklemeye dayanımı üzerinde bir etkisinin olup olmadığını belirleyebilmek adına dijital göstergeye sahip olduğundan daha yenilme yüklerinde meydana gelebilecek değişimleri daha hassas olarak belirlemek için 1 no'lu deney cihazında yüklemeye kolu ilk tutuş pozisyonundan (15 cm) itibaren her tutuş pozisyonu için 5'er cm yüklemeye noktasından uzağa kaydırılarak belirlenen 8 farklı tutuş noktasından (hidrolik sisteme olan mesafeye göre 15-20-25-30-35-40-45-50 cm) kuvvet uygulanarak, deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.43). Şekil 5.44 incelendiğinde, L 15 cm ile 35 cm arasında değiştiğinde $I_{s(50)}$ değerlerinde dikkate alınması gereken önemli bir azalma meydana geldiği, L 35 cm ile 50 cm arasında değiştiğinde ise $I_{s(50)}$ değerlerinde önemli bir farklılık/değişim olmadığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle L uzadıkça $I_{s(50)}$ değerinde bir azalma meydana gelmekte fakat bu azalmanın etkisinin de 35 cm'den sonra önemli bir değişiklik olarak görülmediği ve $I_{s(50)}$ değerlerinin birbirine yakın olduğu, değişim değerlerinin birbirine çok yakın olmasından anlaşılmaktadır (Çizelge 5.25).



Şekil 5.43. Farklı yüklemeye kolu boyları için tutuş pozisyonları (1 no'lu deney cihazı)



Şekil 5.44. Farklı yükleme kolu boyları ile nokta yükleme dayanımı değerleri

Çizelge 5.25. Farklı yükleme kolu tutuş pozisyonları için, 15 cm tutuş pozisyonundan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerine göre % değişim

Kayaç Kodu	Yükleme Kolu Boyları						
	20 cm (%)	25 cm (%)	30 cm (%)	35 cm (%)	40 cm (%)	45 cm (%)	50 cm (%)
KK-1	-15,2	-18,2	-21,0	-29,5	-27,3	-30,6	-29,8
KK-2	-9,7	-18,2	-18,8	-29,1	-31,8	-29,7	-29,4
KL-1	-0,2	-1,9	-2,2	-10,1	-10,3	-10,3	-11,3
KL-2	-1,4	-4,5	-3,5	-9,9	-10,9	-11,5	-12,2
KT-1	-5,8	-6,3	-11,3	-19,8	-21,2	-22,7	-22,9
KT-2	-1,5	-8,7	-12,2	-22,4	-19,4	-21,7	-20,5
KM-1	-0,5	-2,9	-4,0	-8,8	-7,9	-7,9	-8,8
KM-2	-2,6	-8,5	-8,2	-14,0	-12,4	-15,1	-14,6
KG	-1,5	-4,8	-9,4	-16,0	-16,1	-17,5	-17,0

Nokta yükleme dayanımı deneyinde operatörün kol gücü, moment etkisi ile deney cihazına iletilmektedir. Moment, kuvvet ile dönme noktasının kuvvet doğrultusuna dik uzaklığının çarpımıdır ve bu uzaklıkla da doğru orantılıdır. Farklı uzunluktaki yükleme kolları ile deney yapılırken operatör aynı iken (kuvvet, F), kol boyu (uzaklık, d) değişecek olursa kırılma yükü (moment, M) de değişecektir. Nokta yükleme dayanımı deneyinde ise kayacın yenilme yükü (moment, M) sabit olacağı için, yükleme kolunun boyuna göre operatörün uygulayacağı kuvvet değişecektir. Teoride

L arttıkça operatörün hissedeceği direnç azalacağından daha az kuvvet uygulayarak deneyi sonlandıracaktır. Fakat insan faktöründen dolayı L 'nin uzaması nedeniyle operatörün uygulaması gereken kuvvetteki azalma miktarı olması gereken kadar olmayacaktır. Tam tersi durumda da L kısaldığında operatör kayacı kırmak için daha fazla kuvvet uygulayacak, fakat kısalık nedeni ile gücünü kontrollü olarak yükleme koluna aktaramayacak, bu da hızlı ve ani yüklemeye neden olacak, bu durum da $I_{s(50)}$ değerinin olması gerekenden daha yüksek çıkmasına neden olacaktır. Dolayısıyla çalışmada kullanılan 15 farklı KNY'nin tamamının yükleme kollarının boyları 35 cm'nin üzerinde olduğu için, mevcut yükleme kolu boylarının $I_{s(50)}$ değerine çok önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.

Fakat olası 35 cm'den kısa yükleme kolları ile deney yapılması durumunda $L=35$ cm için, diğer bir ifadeyle L etkisinden arındırılmış, L 'ye bağlı olmayan $I_{s(50)}$ değerlerinin belirlenebilmesi için bir eşitlik önerilmiştir (Eşitlik 5.2). Deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ve L etkisi için normalleştirilmiş $I_{s(50)L}$ değerleri Çizelge 5.26'da verilmiştir. Ölçülen $I_{s(50)}$ değerleri ile tahmin edilen $I_{s(50)L}$ değerlerinin 1:1 grafiği çizdirilerek aralarındaki ilişki incelenmiş ve 0,99 korelasyon katsayılı, güçlü doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.45).

$$I_{s(50)L} = I_{s(50)L_i} \times \left(1 - \left(\frac{35-L_i}{1}\right) \times 0,01\right) \quad (5.2)$$

Burada;

$I_{s(50)L}$ = Kol boyu normalleştirmesi uygulanmış nokta yükleme dayanımı değeri, MPa

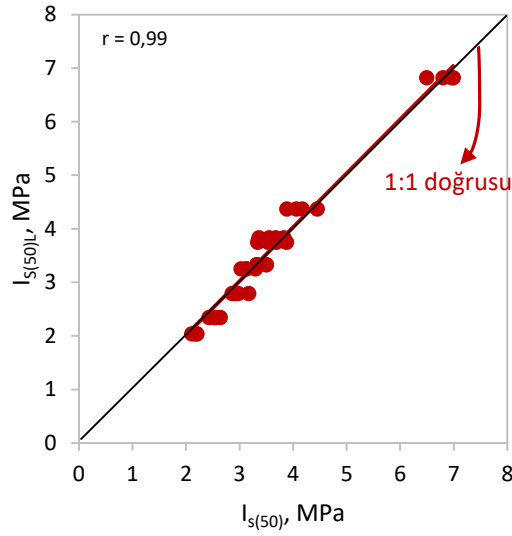
$I_{s(50)L_i}$ = Kol boyu, $L < 35$ cm için nokta yükleme dayanımı değeri, MPa

L_i = Deney cihazının yükleme kolu boyu, cm

Çizelge 5.26. Deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ve L için normalleştirilmiş $I_{s(50)L}$ değerleri

Kayaç Kodu	15 cm		20 cm		25 cm		30 cm		35 cm	40 cm	45 cm	50 cm
	$I_{s(50)L15}$ (MPa)	$I_{s(50)L}$ (MPa)	$I_{s(50)L20}$ (MPa)	$I_{s(50)L}$ (MPa)	$I_{s(50)L25}$ (MPa)	$I_{s(50)L}$ (MPa)	$I_{s(50)L30}$ (MPa)	$I_{s(50)L}$ (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)
KK-1	3,96	3,17	3,36	2,86	3,24	2,92	3,13	2,97	2,79	2,88	2,75	2,78
KK-2	3,30	2,64	2,98	2,53	2,70	2,43	2,68	2,55	2,34	2,25	2,32	2,33
KL-1	4,17	3,34	4,16	3,54	4,09	3,68	4,08	3,88	3,75	3,74	3,74	3,70
KL-2	4,85	3,88	4,78	4,06	4,63	4,17	4,68	4,45	4,37	4,32	4,29	4,26
KT-1	4,15	3,32	3,91	3,32	3,89	3,50	3,68	3,50	3,33	3,27	3,21	3,20
KT-2	2,63	2,10	2,59	2,20	2,40	2,16	2,31	2,19	2,04	2,12	2,06	2,09
KM-1	4,20	3,36	4,18	3,55	4,08	3,67	4,03	3,83	3,83	3,87	3,87	3,83
KM-2	3,78	3,02	3,68	3,13	3,46	3,11	3,47	3,30	3,25	3,31	3,21	3,23
KG	8,12	6,50	8,00	6,80	7,73	6,96	7,36	6,99	6,82	6,81	6,70	6,74

$I_{s(50)Li}$: Kol boyu $L < 35$ cm için nokta yükleme dayanımı değeri; $I_{s(50)L}$: $L > 35$ cm için normalleştirilmiş nokta yükleme dayanımı; $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı

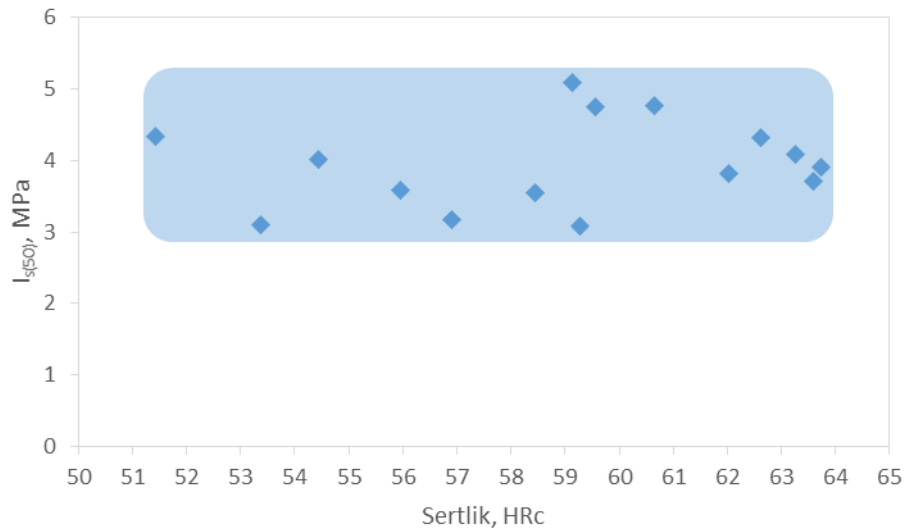


Şekil 5.45. $I_{s(50)}$ ile $I_{s(50)Li}$ arasında belirlenen ilişki

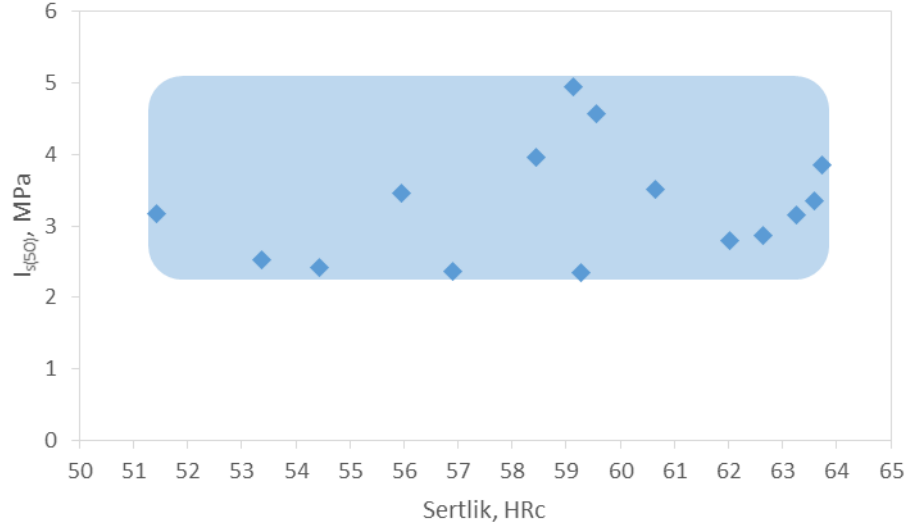
5.7. Konik Başlıkların Uç Kısımlarının Sertliklerinin Nokta Yükleme Dayanımı Değerine Etkisinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında deney yapılan 15 farklı KNY'nin konik başlıklarının uç kısımlarının HRC sertlikleri mikro sertlik ölçüm cihazı (Şekil 3.11) ile ölçülmüştür. Tüm deney cihazlarında konik başlıkların sertliklerinin ölçümü için her başlıktan (üst ve alt başlık)

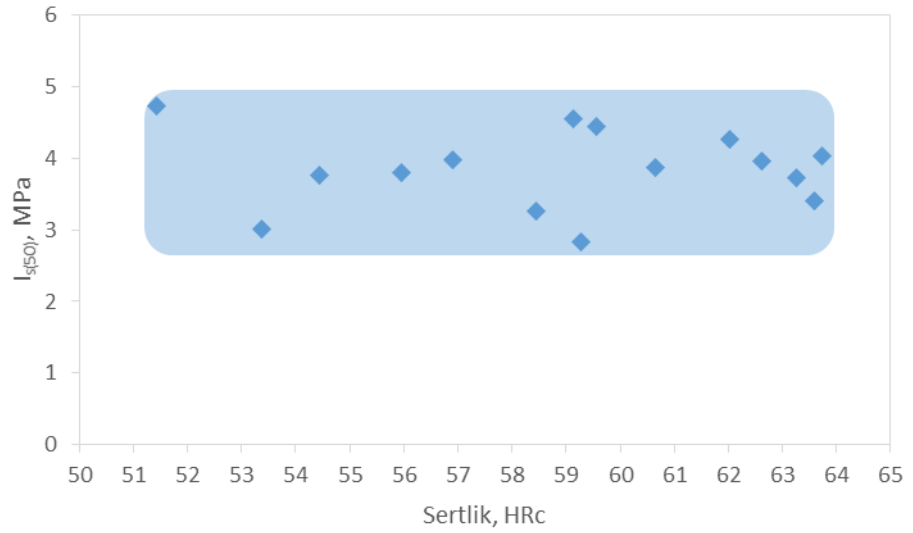
10 okuma alınmış ve en küçük 5 değer atılarak en büyük 5 değer aritmetik ortalaması alınmıştır. ISRM (1985; 2007)'de konik başlığın uç kısmının sertlik değeri ile ilgili olarak **“sertleştirilmiş çelikten imal edilmiş olan”** şeklinde bir ifade yer alırken, ASTM (1995; 2008)'de **“sertleştirilmiş çelikten imal edilmiş, HRc sertliği 58 olan”** şeklinde bir ifade bulunmaktadır. Çalışma kapsamında $I_{s(50)}$ ile sertlik değeri arasında olması muhtemel bir ilişkinin belirlenebilmesi adına ASTM (1995; 2008)'de yer alan sayısal ifade anlamlı olacağı için başlıkların HRc değerleri ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan 15 farklı KNY'nin başlıklarının sertlik değerlerinin 51 ile 63 HRc sertliği arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 3.3). Çizelge 3.3'e bakıldığında 4-6-7-9-13 kodlu cihazların HRc sertlik değerlerinin <58 HRc olduğu, sertlik değerlerinin de sırasıyla 53,4 - 56,0 - 51,4 - 56,9 - 54,5 olduğu belirlenmiştir. Geri kalan 10 cihaz için sertlik değerleri >58 HRc olarak belirlenmiştir. Sertlik değerinin nokta yükleme dayanımı üzerine etkisinin olup olmadığını belirlemek için 7 farklı türdeki kayaca ait $I_{s(50)}$ değerleri ile 15 farklı KNY'ye ait sertlik (HRc) değerleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak araştırılmıştır (Şekil 5.46-5.52). Şekil 5.45-5.51 incelendiğinde nokta yükleme dayanımı ile konik başlıkların uç kısımlarının sertlikleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı belirlenmiştir.



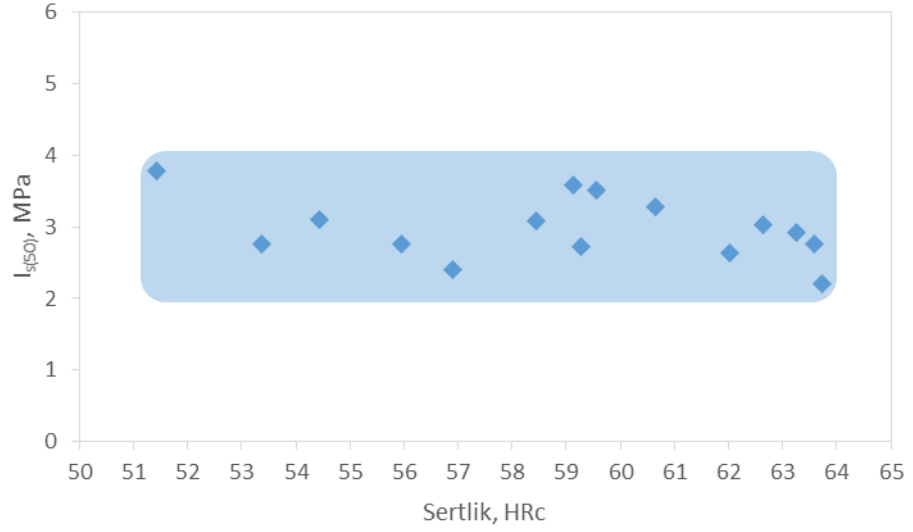
Şekil 5.46. K-1 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRc sertlik değeri arasındaki ilişki



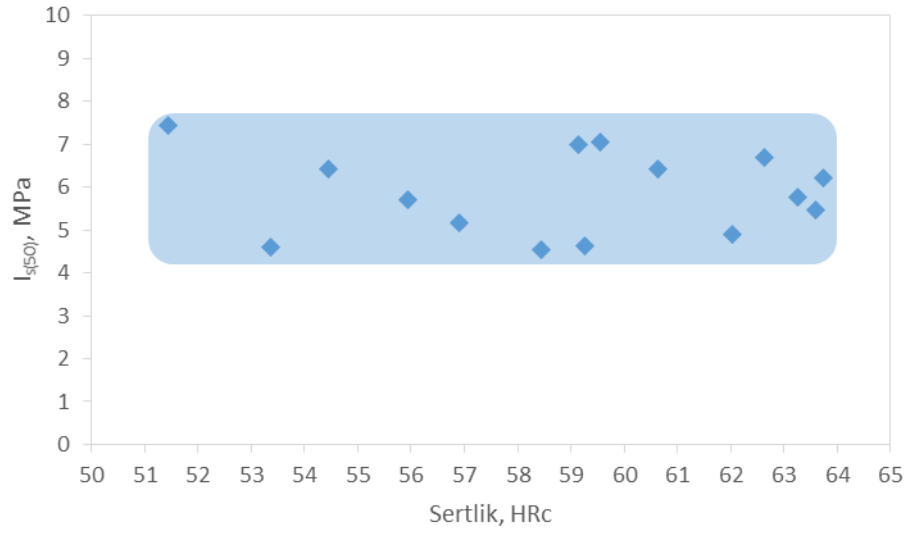
Şekil 5.47. K-2 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki



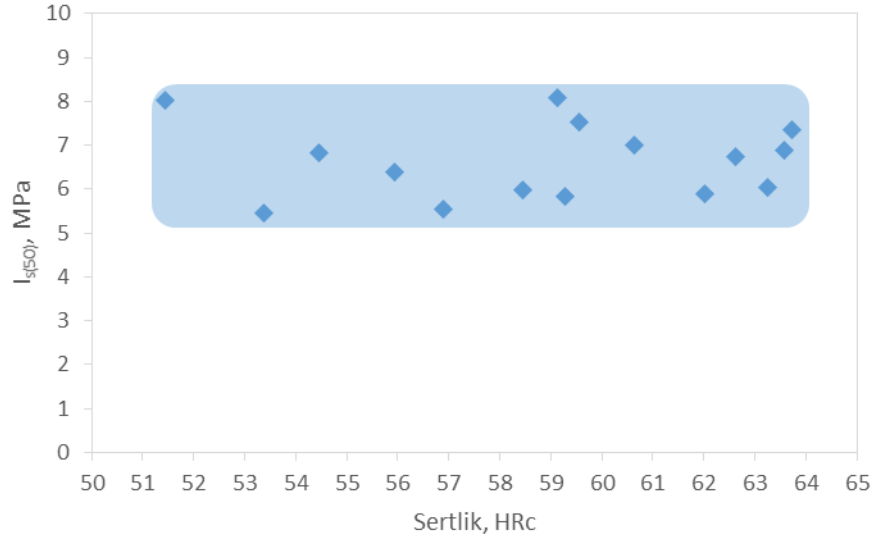
Şekil 5.48. K-3 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRC sertlik değeri arasındaki ilişki



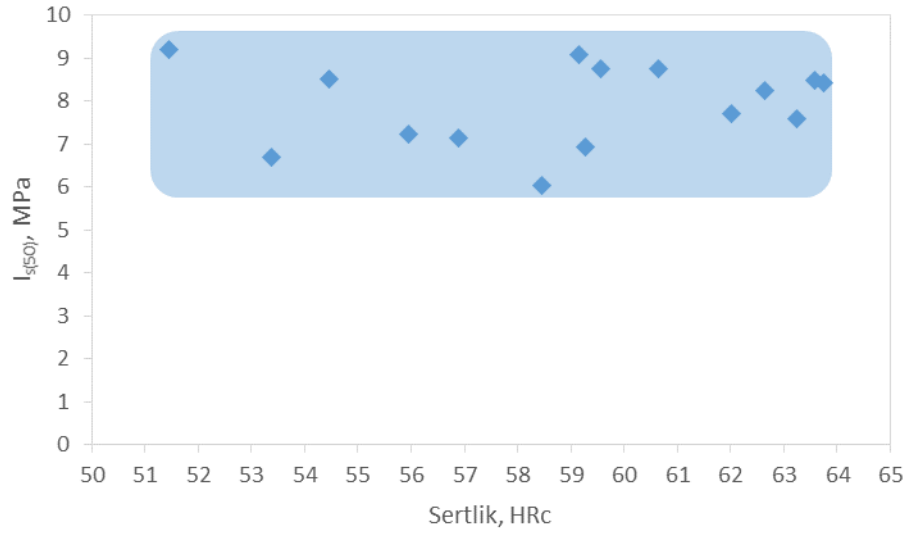
Şekil 5.49. M kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRc sertlik değeri arasındaki ilişki



Şekil 5.50. A kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRc sertlik değeri arasındaki ilişki



Şekil 5.51. G kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRc sertlik değeri arasındaki ilişki



Şekil 5.52. D kodlu kayaç için 15 farklı KNY'deki $I_{s(50)}$ değerleriyle konik başlığın uç kısmının HRc sertlik değeri arasındaki ilişki

Konik başlığın uç kısmının sertliğinin nokta yükleme dayanımı değerine doğrudan değil dolaylı olarak etkisi olmaktadır. Ucun sertliği, ucun aşınmaya karşı olan direncini, dolayısıyla ömrünü, yani uç kısmının küresellik yarıçapının artma süresini, körelmesi için geçen zamanı etkilemektedir.

5.8. Farklı Operatörlerin Nokta Yükleme Dayanımına Etkisi

Bu tez çalışması kapsamında 7 farklı türdeki kayaç örnekleri için, aynı düzlemde elde edilmiş (mümkün olduğunca aynı, anizotropiden uzak), aynı boyutlarda hazırlanmış örnekler üzerinde, 15 farklı KNY’de aynı operatör tarafından nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler operatör tarafından mümkün olduğunca monoton, tek düze, ilgili standartta belirtilen tanımlamalara uymaya çalışılarak gerçekleştirilmiştir. Böyle olduğu halde K-1 kodlu kayacın 15 farklı KNY’deki $I_{s(50)}$ değerlerinin 3,08-5,1 MPa aralığında dağılım gösterdiği, 15 farklı KNY’den elde edilen değerlerin aritmetik ortalamasının da $3,95 \pm 0,62$ MPa olduğu görülmektedir (Çizelge 5.13).

Operatör etkisini belirleyebilmek için bu tez çalışmasında kullanılan 3 farklı türdeki kayaç (K-1, M ve G kodlu kayaçlar) üzerinde, 2 farklı deney cihazında (1 ve 3 no’lu deney cihazları), 6 farklı operatör tarafından nokta yükleme dayanımı deneyleri her kayaç türü için 7 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Operatör etkisinin ölçüsü olarak her 3 farklı türdeki kayaç ve 2 farklı deney cihazı için, farklı operatörlerin elde ettikleri $I_{s(50)}$ değerlerinin değişim katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 5.27, 5.28). Elde edilen sonuçlar operatör, yükleme kolu boyu, küresellik, düzensiz (kesikli) yükleme ve değişken yükleme hızı etkisinden arındırılmış, YNY’den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.27, 5.28).

Çizelge 5.27’ye bakıldığında 1 no’lu cihazda 3 farklı kayaç için 6 farklı operatörün elde ettiği $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalama değişim katsayısı % 11,05 olarak hesaplanmıştır. Yeni cihazda operatör etkisi olmadan bu 3 tür kayaç için elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin değişim katsayısının ortalaması ise % 4,97 olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer arasındaki fark (operatörler tarafından yapılan deneylerden elde edilen sonuçların, otomatik yükleme yapan cihazda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan farkı) % 6,08 olarak hesaplanmıştır ki bu da operatörün etkisini göstermektedir.

Çizelge 5.28'e bakıldığında 3 no'lu cihazda 3 farklı kayaç için 6 farklı operatörün elde ettiği $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalama değişim katsayısı % 9,69 olarak hesaplanmıştır. Yeni cihazda operatör etkisi olmadan bu 3 kayaç için elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin değişim katsayısının ortalaması ise % 4,97 olduğu için, bu iki değer arasındaki fark % 4,72 olarak hesaplanmıştır ki bu da operatörün etkisini bir kez daha göstermektedir.

Çizelge 5.27. 1 no'lu cihaz için farklı operatörler ve yeni cihaz için $I_{s(50)}$ değerleri ve değişim katsayıları

1 no'lu Cihaz										
Operatör Kodu	K-1 kodlu kayaç			M kodlu kayaç			G kodlu kayaç			Ort. Değişim Katsayısı (%)
	$I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)	$I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)	$I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)	
OP-1	3,34	0,56	16,77	3,40	0,46	13,53	6,74	0,62	9,20	Ort. Değişim Katsayısı (%)
OP-2	3,64	0,34	9,36	3,07	0,55	17,92	6,72	0,46	6,85	
OP-3	3,91	0,42	10,74	3,55	0,45	12,68	6,71	0,51	7,60	
OP-4	5,13	0,55	10,72	3,82	0,22	5,76	7,04	0,54	7,67	
OP-5	3,98	0,28	7,04	3,40	0,42	12,35	7,29	0,31	4,25	
OP-6	4,24	1,13	26,71	2,98	0,41	13,76	6,61	0,39	5,96	
Ortalama	4,04	0,55	13,56	3,37	0,42	12,67	6,85	0,47	6,92	11,05
Yeni Cihaz	4,22	0,24	5,68	3,31	0,20	5,92	6,96	0,23	3,30	4,97
OP: Operatör; $I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı; Std. Sap.: Standart sapma										6,08

Çizelge 5.28. 3 no'lu cihaz için farklı operatörler ve yeni cihaz için $I_{s(50)}$ değerleri ve değişim katsayıları

3 no'lu Cihaz										
Operatör Kodu	K-1 kodlu kayaç			M kodlu kayaç			G kodlu kayaç			Ort. Değişim Katsayısı (%)
	$I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)	$I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)	$I_{s(50)}$ (MPa)	Std. Sap.	Değişim Katsayısı (%)	
OP-1	2,74	0,31	11,31	2,67	0,31	11,61	5,36	0,65	12,13	Ort. Değişim Katsayısı (%)
OP-2	2,58	0,25	9,69	2,34	0,15	6,41	5,61	0,57	10,16	
OP-3	2,50	0,11	4,40	2,27	0,12	5,29	5,86	0,50	8,53	
OP-4	2,67	0,59	22,10	2,59	0,31	11,97	5,78	0,51	8,82	
OP-5	2,48	0,10	4,03	1,76	0,47	26,70	5,79	0,27	4,66	
OP-6	2,94	0,15	5,27	2,59	0,09	3,64	5,67	0,44	7,75	
Ort.	2,65	0,25	9,47	2,37	0,24	10,94	5,68	0,49	8,68	9,69
Yeni Cihaz	4,22	0,24	5,68	3,31	0,20	5,92	6,96	0,23	3,30	4,97
OP: Operatör; $I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı; Std. Sap.: Standart sapma										4,72

Deneyler yapılırken 1 no'lu cihazda çok fazla yükleme hamlesi yapılması gerekmektedir ve örneklerin üzerinde sıkışma etkisi meydana geldiği gözlenmiştir. Bunun etkisiyle nokta yükleme dayanımı değerlerindeki saçılım fazla olmuş bu da değişim katsayılarının yüksek çıkmasına neden olmuştur. İki farklı cihaz için hesaplanan operatör etkisinin aritmetik ortalaması alınırsa $(\frac{\% 6,08 + \% 4,72}{2})$ % 5,4'lük bir değişim yaptığı görülmektedir.

Muhakkak ki operatörün nokta yükleme dayanımı değeri üzerinde bir etkisi olduğu aşikârdır. Bunun derecesini net olarak belirlemek ise tüm değişkenleri sabit tutmak ve sadece operatörü değiştirerek mümkün olabilir. Fakat pratikte mevcut klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının buna müsaade etmeyeceği de çalışmanın başından itibaren sıkça vurgulanmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan cihaz sayısı, operatör sayısı ve çeşidi ve kayaç çeşidi arttırılması durumunda daha sağlıklı değerler elde edileceği düşünülmektedir.

Farklı operatörler tarafından 1 ve 3 no'lu cihazlarda yapılan deney sonuçlarına göre YNY'den elde edilen değerlerin standart sapmaları ve değişim katsayılarının daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 5.27, 5.28). Bu da operatör farklılığının etkisini/önemini/değişkenliğini göstermektedir. YNY'de sabit yükleme hızında sürekli yükleme yapıldığından, sonuçların saçılımı/dağılım aralığı nispeten daha az olmaktadır. Diğer taraftan aynı örnekler, aynı deney cihazlarında, aynı operatörler tarafından deneye tabi tutulduğunda dahi çok farklı nokta yükleme dayanımı değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bu da mevcut nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının birçok nedenden dolayı hatalı olduğunu tekrar göstermektedir.

5.9. Yükleme Hızının Nokta Yükleme Dayanımına Etkisi

Bu tez çalışmasında kullanılan 7 farklı kayaç türü için aynı yükleme hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Kayaçların yenilmesi için geçen süreler ve yenilme (maksimum) yükleri farklı olduğu için yükleme hızları da her kayaç için doğal olarak farklı olmaktadır. YNY'deki yükleme hızları Eşitlik 4.1 ile hesaplanmış ve Çizelge 5.29'da

verilmiştir. Çizelge 5.29’a bakıldığında ortalama 26,3 saniye ile en kısa sürede yenilen kayaç K-2 kodlu kayaç olurken, en uzun sürede yenilen kayaç ortalama 59,9 saniye ile D kodlu kayaç olmuştur. En düşük yükleme hızı ortalama 0,16 kN/s ile K-3 kodlu kayaç için hesaplanırken en yüksek yükleme hızı ortalama 0,32 kN/s ile G kodlu kayaç için hesaplanmıştır.

Çizelge 5.29. YNY’deki yükleme yenilme süreleri ve yükleme hızları

Kayaç Kodu	Yenilme Süresi (s)				Yükleme Hızı kN/s			
	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sap.	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sap.
K-1	27,1	31,8	29,2	1,5	0,25	0,34	0,29	0,03
K-2	19,0	31,4	26,3	4,0	0,14	0,32	0,22	0,07
K-3	49,1	59,2	51,8	3,2	0,13	0,18	0,16	0,02
M	26,4	39,6	34,2	4,5	0,16	0,24	0,19	0,03
A	54,7	60,7	58,0	2,1	0,14	0,28	0,21	0,05
G	37,3	49,4	43,8	4,0	0,29	0,35	0,32	0,02
D	57,5	60,7	59,9	1,2	0,26	0,33	0,29	0,03

Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama; Std. Sap.: Standart sapma

Yükleme hızının nokta yükleme dayanımı üzerinde bir etkisinin olup olmadığını belirlemek için bu tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların dışındaki 6 çeşit kayaç üzerinde deneyler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında 15 farklı KNY’de deneyler gerçekleştirilirken yapılan gözlemler ile tez izleme komitesi (TİK) üyeleri ile yapılan tartışma ve katkılar sonucu yapılmasına karar verilen bu deneyler, çalışmanın planlanması aşamasında öngörülemediği için, çalışma için temin edilen numune sayılarına, bu deneyler için gereken numune sayısı eklenmemiştir. Bu nedenlerden dolayı bu deneylerde kullanılan kayaç türleri çalışmanın genelinde kullanılan 7 kayaçtan farklı olarak hazırlanmıştır (Çizelge 5.30).

Çizelge 5.30. Yükleme hızının nokta yükleme dayanımı değerine etki derecesini belirlemek için YNY ile yapılan deneylerde kullanılan kayaçlar

Kayaç Adı	Kayaç Kodu	Köken
Kireçtaşı	YHK-1	Sedimanter
Killi Kireçtaşı	YHK-2	Sedimanter
Traverten-1	YHT-1	Sedimanter
Traverten-2	YHT-2	Sedimanter
Mermer	YHM	Metamorfik
Andezit	YHA	Magmatik

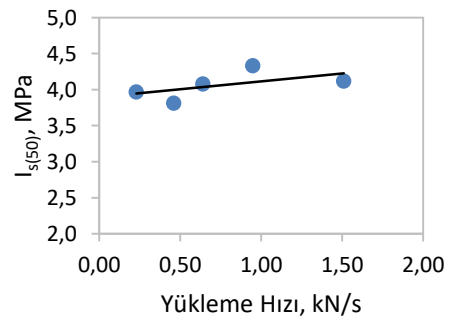
Yükleme hızının nokta yüklemeye dayanımı değeri üzerindeki etkisini belirlemek için hazırlanan 6 farklı kayaç türü üzerinde farklı yüklemeye hızlarında deneyler yapılmıştır. Her yüklemeye hızında deneyler en az 5 kez tekrarlanmıştır (Çizelge 5.31-5.36). Cihaz kontrol panelinde bulunan hız düğmesinden (potansiyometre) hız değiştirilerek yüklemeye işlemleri yapılmıştır (Şekil 5.53). Çizelge 5.31-5.36 incelendiğinde en düşük süre ortalama 5,6 saniye ile YHK-1 kodlu numune için hız düğmesi 5 konumundayken ölçülmüştür. En uzun süre ortalama 75 saniye ile YHT-2 kodlu numune için hız 0,75 konumundayken ölçülmüştür. Şekil 5.54-5.59'a bakıldığında yüklemeye hızı arttıkça $I_{s(50)}$ değeri normal bir standart dağılım içerisinde değişim göstermektedir. Ölçülen yenilme sürelerinin ilgili standartta belirtilen (ISRM, 1985; 2007) süre (10-60 s)'nin çok üzerinde veya altında olmadığı (5,7-75 s) gözlemlenmiştir. Eğer yüklemeye işlemi sabit hızda ve sürekli olarak uygulanabilirse ve standartta belirtilen süreler içerisinde yenilme gerçekleşirse yüklemeye hızının nokta yüklemeye dayanımı değerine etkisinin az olduğu görülmüştür.



Şekil 5.53. Kontrol paneli üzerinde bulunan hız (potansiyometre) düğmesi

Çizelge 5.31. YHK-1 kayacı için farklı yüklemeye hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

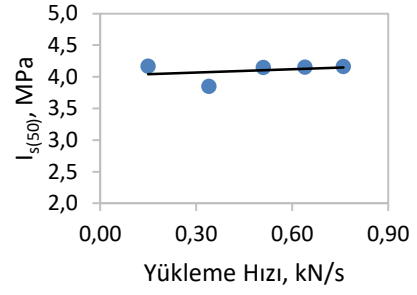
YHK-1					
Yüklemeye Hızı Ayarı	Yüklemeye Hızı kN/s	Yenilme Süresi s	$I_{s(50)}$ MPa	Std. Sap.	
0,75	0,23	33,14	3,97	0,24	
2	0,46	11,4	3,81	0,17	
3	0,64	8,7	4,08	0,40	
4	0,95	7,6	4,33	0,17	
5	1,51	5,7	4,12	0,20	



Şekil 5.54. YHK-1 kayacı farklı yüklemeye hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

Çizelge 5.32. YHK-2 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

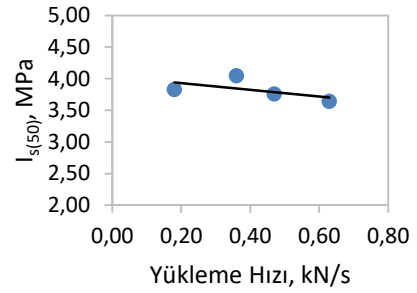
YHK-2				
Yükleme Hızı Ayarı	Yükleme Hızı kN/s	Yenilme Süresi s	$I_{s(50)}$ MPa	Std. Sap.
0,75	0,15	54,8	4,17	0,15
2	0,34	23,0	3,85	0,22
3	0,51	16,3	4,15	0,15
4	0,64	13,0	4,15	0,32
5	0,76	11,0	4,16	0,03



Şekil 5.55. YHK-2 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

Çizelge 5.33. YHT-1 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

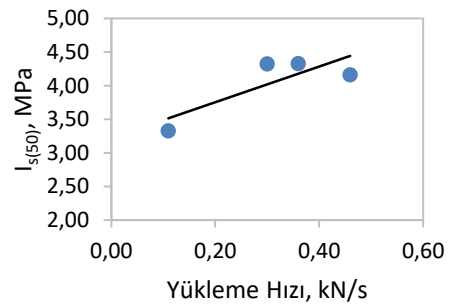
YHT-1				
Yükleme Hızı Ayarı	Yükleme Hızı kN/s	Yenilme Süresi s	$I_{s(50)}$ MPa	Std. Sap.
0,75	0,18	44,1	3,83	0,40
2	0,36	23,0	4,05	0,26
3	0,47	16,7	3,76	0,12
4	0,63	12,0	3,64	0,09



Şekil 5.56. YHT-1 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

Çizelge 5.34. YHT-2 kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

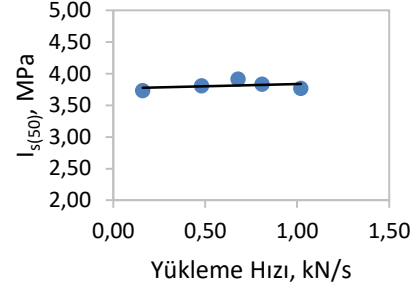
YHT-2				
Yükleme Hızı Ayarı	Yükleme Hızı kN/s	Yenilme Süresi s	$I_{s(50)}$ MPa	Std. Sap.
0,75	0,11	75,0	3,33	0,31
2	0,30	29,5	4,32	0,45
3	0,36	24,7	4,33	0,07
4	0,46	18,3	4,16	0,32



Şekil 5.57. YHT-2 kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

Çizelge 5.35. YHM kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

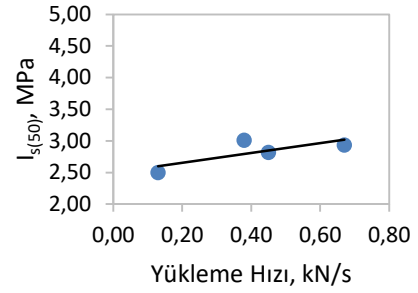
YHM				
Yükleme Hızı Ayarı	Yükleme Hızı kN/s	Yenilme Süresi s	$I_{s(50)}$ MPa	Std. Sap.
0,75	0,16	50,1	3,73	0,14
2	0,48	16,7	3,81	0,26
3	0,68	11,7	3,92	0,10
4	0,81	9,7	3,83	0,08
5	1,02	7,5	3,77	0,08



Şekil 5.58. YHM kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

Çizelge 5.36. YHA kayacı için farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

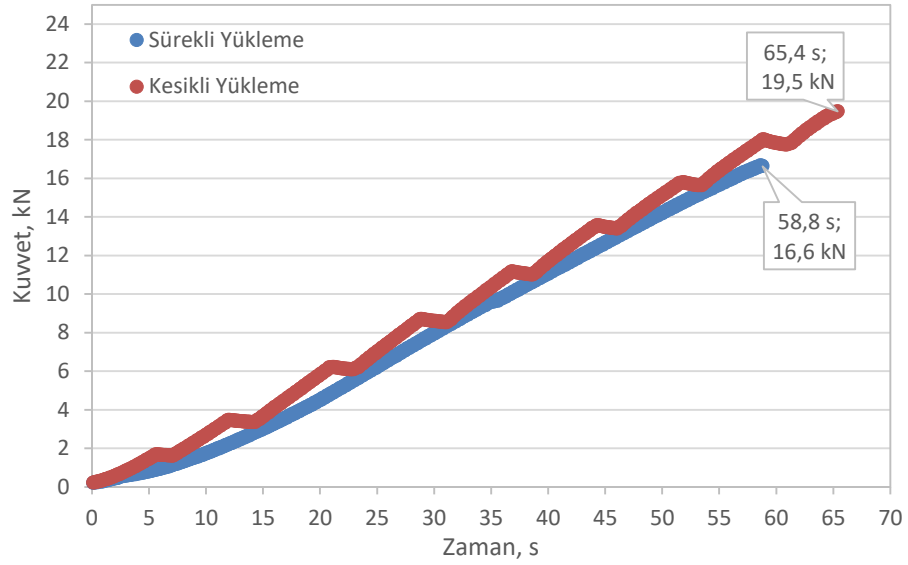
YHA				
Yükleme Hızı Ayarı	Yükleme Hızı kN/s	Yenilme Süresi s	$I_{s(50)}$ MPa	Std. Sap.
0,75	0,13	38,1	2,50	0,13
2	0,38	16,0	3,01	0,33
3	0,45	12,5	2,82	0,11
4	0,67	8,7	2,93	0,15



Şekil 5.59. YHA kayacı farklı yükleme hızları için $I_{s(50)}$ değerleri

5.10. Kesikli ve Sürekli Yüklemenin Nokta Yükleme Dayanımına Etkisi

Nokta yükleme dayanımını etkileyen parametrelerden bir tanesinin de kesikli yükleme olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.60'da YNY'de bu tez çalışmasında kullanılan D kodlu kayaca ait sürekli ve kesikli yükleme şeklinde yapılan iki farklı deney sonucunda oluşan yük-zaman grafiği görülmektedir. Sürekli yükleme sonucunda 58,8 saniyede 16,6 kN yük altında yenilen örnek, kesikli yükleme yapılırsa 65,4 saniyede 19,5 kN yük altında yenilmiştir. Yaklaşık % 17,5 daha fazla bir yük değeri altında kayacın yenilmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 5.60. YNY'de sürekli ve kesikli yükleme için yük-zaman grafiği

Kesikli yükleme işleminin YNY yardımıyla nokta yükleme dayanımı üzerinde bir etkisinin olup olmadığını belirlemek adına bu tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların dışındaki 6 çeşit kayaç üzerinde deneyler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında 15 farklı KNY'de deneyler gerçekleştirilirken yapılan gözlemler ile tez izleme komitesi (TİK) üyeleri ile yapılan tartışma ve katkılar sonucu yapılmasına karar verilen bu deneyler, çalışmanın planlanması aşamasında öngörülemediği için, çalışma için temin edilen numune sayılarına, bu deneyler için gereken numune sayısı eklenmemiştir. Bu nedenlerden dolayı bu deneylerde kullanılan kayaç türleri çalışmanın genelinde kullanılan 7 kayaçtan farklı olarak hazırlanmıştır (Çizelge 5.37).

Çizelge 5.37. Kesikli yüklemenin nokta yükleme dayanımı değerine etki derecesini belirlemek için yapılan deneylerde kullanılan kayaçlar

Kayaç Adı	Kayaç Kodu	Köken
Kireçtaşı	KYK-1	Sedimanter
Killi Kireçtaşı	KYK-2	Sedimanter
Traverten-1	KYT-1	Sedimanter
Traverten-2	KYT-2	Sedimanter
Mermer	KYM	Metamorfik
Andezit	KYA	Magmatik

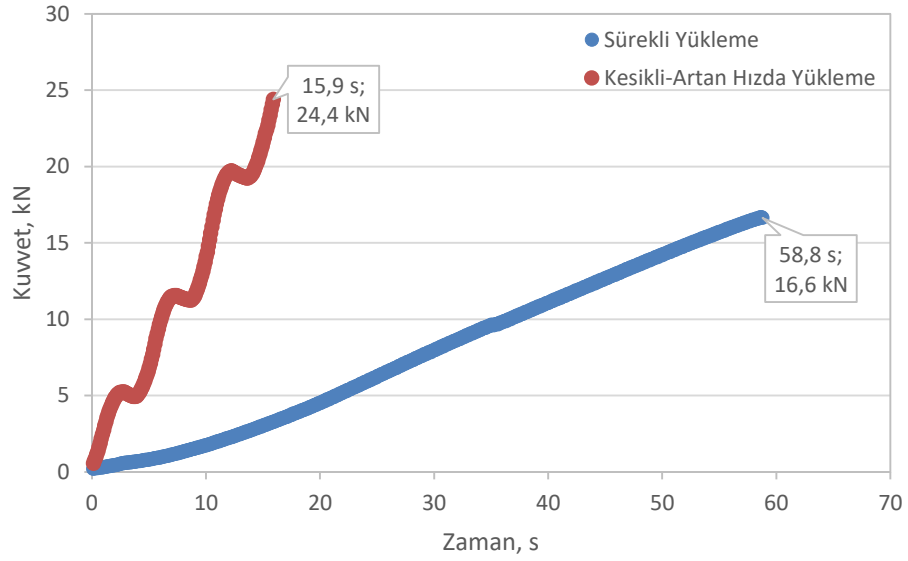
Kesikli yüklemenin nokta yükleme dayanımı üzerindeki etkisini belirleyebilmek için 6 farklı kayaç üzerinde sürekli yükleme ve kesikli yükleme yapılarak nokta yükleme

dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.38). Çizelge 5.38 incelendiğinde yenilme yükündeki artış % 15,3 ile % 24,4 oranında, yenilme süresindeki artış ise % 14,4 ile % 26,3 arasında olduğu görülmüştür. Bu da deney esnasında sabit hızda sürekli yüklemenin nokta yükleme dayanımı değeri açısından önemini göstermektedir. Kesikli yükleme işlemi yapıldığında hem yenilme yükleri artmış hem de yenilme süreleri bazı kayalar için standartta belirtilen sürenin üzerinde olmuştur. Bu da deneyin geçersiz olması anlamına gelmektedir.

Çizelge 5.38. Sürekli ve kesikli yükleme sonucu meydana gelen değişimler

Kayaç Kodu	Sürekli Yükleme		Kesikli Yükleme		Süredeki Değişim (%)	Yükteki Değişim (%)
	Yenilme Süresi (sn)	Yenilme Yüğü (kN)	Yenilme Süresi (sn)	Yenilme Yüğü (kN)		
KYK-1	39,8	3,02	49,4	3,67	24,1	21,5
KYK-2	54,8	4,17	65,7	4,81	19,9	15,3
KYT-1	56,5	3,20	68,3	3,70	20,9	15,6
KYT-2	44,1	3,83	55,7	4,52	26,3	18,0
KYM	50,1	3,73	57,3	4,58	14,4	22,8
KYA	33,2	2,50	41,9	3,11	26,2	24,4

Mevcut klasik nokta yükleme dayanımı deney aletlerinde yükleme işlemi manuel olarak yapıldığında yükleme işlemi süresiz olmakta ve anlık hız değişimleri meydana gelmektedir. Kesikli yükleme sonucu yenilmenin olmadığını gören operatör bir sonraki krika hamlesinde yenilmenin limit süre içerisinde gerçekleşmesini sağlamak için istemsizce krika kolunu daha hızlı aşağıya indirmektedir. Bu durum da her hamlede farklı hızlarda yükleme işlemi yapılmasına neden olmaktadır. Şekil 5.61’de YNY’de bu tez çalışmasında kullanılan D kodlu kayaca ait sürekli ve kesikli-artan hızda yükleme şeklinde yapılan iki farklı deney sonucunda oluşan yük-zaman grafiği görülmektedir. Sürekli yükleme sonucunda 58,6 saniyede 1699 kgf yük altında yenilen örnek, kesikli yükleme yapılırsa (her 5 saniyede bir hız 1 birim arttırılarak) 15,9 saniyede 2487 kgf yük altında yenilmiştir. Yaklaşık % 32 daha fazla bir yük değeri altında kayacın yenilmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 5.61. YNY’de sürekli ve kesikli-artan hızda yükleme için yük-zaman grafiği

Kesikli-artan hızda yükleme işleminin nokta yükleme dayanımı üzerinde bir etkisinin olup olmadığını belirlemek adına bu tez çalışması kapsamında kullanılan kayaçların dışındaki 6 çeşit kayaç üzerinde deneyler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında 15 farklı KNY’de deneyler gerçekleştirilirken yapılan gözlemler ile tez izleme komitesi (TİK) üyeleri ile yapılan tartışma ve katkılar sonucu yapılmasına karar verilen bu deneyler, çalışmanın planlanması aşamasında öngörülemediği için, çalışma için temin edilen numune sayılarına, bu deneyler için gereken numune sayısı eklenmemiştir. Bu nedenlerden dolayı bu deneylerde kullanılan kayaç türleri çalışmanın genelinde kullanılan 7 kayaçtan farklı olarak hazırlanmıştır (Çizelge 5.39).

Çizelge 5.39. Kesikli-artan hızda yüklemenin nokta yükleme dayanımı değerine etki derecesini belirlemek için yapılan deneylerde kullanılan kayaçlar

Kayaç Adı	Kayaç Kodu	Köken
Kireçtaşı	KYK-1	Sedimanter
Killi Kireçtaşı	KYK-2	Sedimanter
Traverten-1	KYT-1	Sedimanter
Traverten-2	KYT-2	Sedimanter
Mermer	KYM	Metamorfik
Andezit	KYA	Magmatik

Kesikli ve artan yükleme hızı ile yüklemenin nokta yükleme dayanımı üzerindeki etkisini belirleyebilmek için 6 farklı kayaç üzerinde sürekli yükleme ve kesikli (her 5

saniyede hız 1 birim arttırılarak) yükleme yapılarak nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.40). Çizelge 5.40 incelendiğinde yenilme yükündeki artış % 4,2 ile % 23,3 oranında, yenilme süresindeki azalma ise % 52,6 ile % 67,7 arasında olduğu görülmüştür. Bu da deney esnasında sabit hızda sürekli yüklemenin nokta yükleme dayanımı değeri açısından önemini göstermektedir. **Mevcut klasik nokta yükleme dayanımı deney aletlerinde yükleme işlemi manuel olarak yapıldığında yükleme işlemi süreksiz olmakta ve yukarıda tespit edilen sürelerden çok daha kısa olmaktadır. Böyle durumlarda olması gerekenden uzak, daha yüksek $I_{s(50)}$ değerleri ölçülmektedir.**

Çizelge 5.40. Sürekli ve kesikli yükleme sonucu meydana gelen değişimler

Kayaç Kodu	Sürekli Yükleme		Kesikli Yükleme		Süredeki Değişim (%)	Yükteki Değişim (%)
	Yenilme Süresi (sn)	Yenilme Yüğü (kN)	Yenilme Süresi (sn)	Yenilme Yüğü (kN)		
KYK-1	39,8	3,02	14,9	3,21	-62,6	5,9
KYK-2	54,8	4,17	21,0	4,63	-61,7	9,9
KYT-1	56,5	3,20	19,6	4,17	-65,3	23,3
KYT-2	44,1	3,83	20,9	4,10	-52,6	6,6
KYM	50,1	3,73	16,2	3,92	-67,7	4,8
KYA	33,2	2,50	15,4	2,61	-53,6	4,2

5.11. Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile $I_{s(50)}$ Değerleri Arasındaki İlişkiler

İki değişken arasındaki ilişkinin doğrudan ifadesine korelasyon denir. İki değişken arasındaki ilişkinin ya da korelasyon derecesini belirlemek için kullanılan istatistiksel yöntem ise korelasyon analizi denir. Korelasyon analizinde amaç; bağımsız değişken (x) değiştiğinde, bağımlı değişkenin (y) ne yönde değişeceğini görmektir. Bağımlı değişken tahmin edilen ya da hesaplanan değişkendir. Bağımsız değişken tahmin için kullanılan değişkendir. Korelasyon analizi sonucunda, ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Korelasyon katsayısı r ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında değerler alır. Korelasyon katsayısı 0,00-0,25 aralığında "Çok Zayıf"; 0,26-0,49 aralığında "Zayıf"; 0,50-0,69 aralığında "Orta"; 0,70-0,89 aralığında "Yüksek", 0,90-1,00 aralığında ise "Çok Yüksek" olarak yorumlanır (Doymuş, 2016).

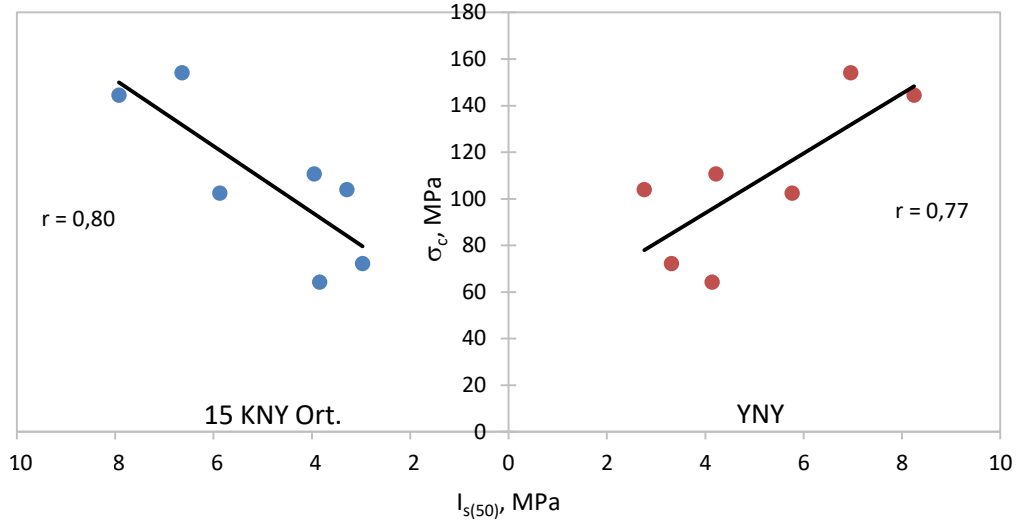
Bu tez çalışmasında kullanılan kayaçların tasarlanan ve imalatı yaptırılan YNY'den elde edilen ve 15 farklı KNY'de yapılan deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalaması ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiş (Şekil 5.62-5.69) belirlenen ilişkiler ve korelasyon katsayıları Çizelge 5.41'da verilmiştir.

Çizelge 5.41. Nokta yükleme dayanımı ile arasında ilişki belirlenen fiziksel ve mekanik özellikler ve korelasyon katsayıları

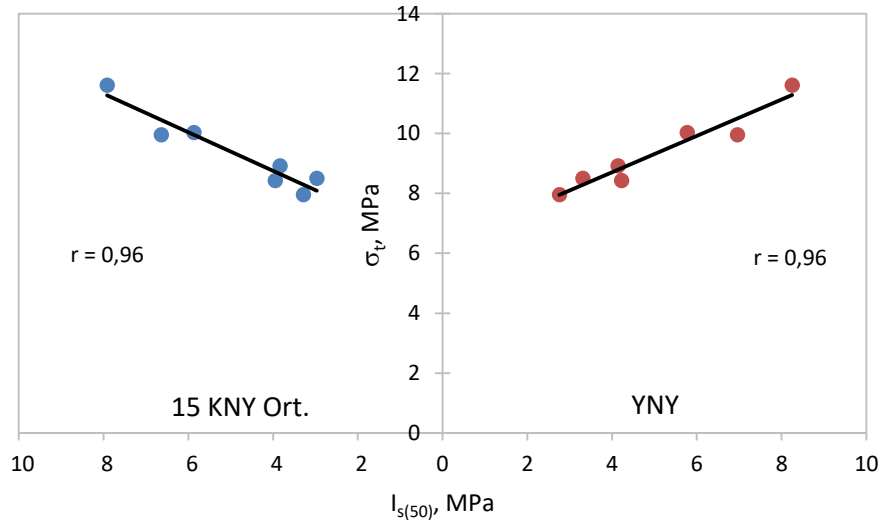
Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Korelasyon Katsayısı (r)		İlişki
	15 KNY Ort.	YNY	
$I_{s(50)}-\sigma_c$	0,80	0,77	Doğrusal
$I_{s(50)}-\sigma_t$	0,96	0,96	Doğrusal
$I_{s(50)}-\sigma_{e\tilde{g}(3)}$	0,84	0,88	Doğrusal
$I_{s(50)}-\sigma_{e\tilde{g}(4)}$	0,75	0,78	Doğrusal
$I_{s(50)}-BYA$	0,74	0,73	Ters yönlü doğrusal
$I_{s(50)}-Vp$	0,52	0,46	Ters yönlü doğrusal
$I_{s(50)}-d_0$	0,83	0,88	2. Derece Polinom
$I_{s(50)}-BHA$	0,79	0,75	2. Derece Polinom

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı; σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; σ_t : Brazilian çekme dayanımı; $\sigma_{e\tilde{g}(3)}$: 3 nokta eğilme dayanımı; $\sigma_{e\tilde{g}(4)}$: 4 nokta eğilme dayanımı; BYA: Böhme aşınma dayanımı; Vp : P-dalga hızı; d_0 : Özgül ağırlık; BHA: Birim hacim ağırlık

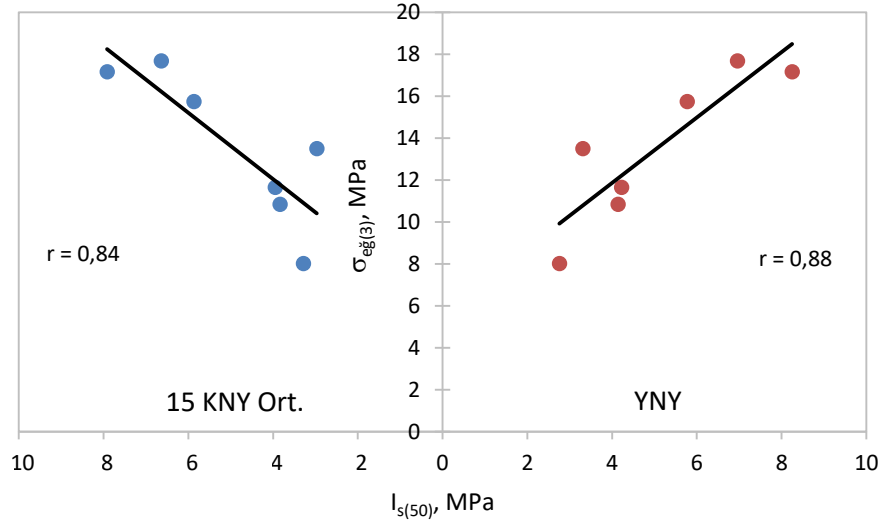
Çizelge 5.41 incelendiğinde 15 farklı KNY'den ve YNY'den elde edilen değerler ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler ve korelasyon katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu demektir ki YNY'den (otomatik yüklemeli, konik başlık geometrisi standartlara uygun) elde edilen veriler ya da 15 farklı KNY'de deney yapıp elde edilen verilerin ortalaması $I_{s(50)}$ değeri olarak kabul edebilir. Her çalışma için 15 farklı KNY'de deney yapmak pratik ve olası olmadığına göre YNY'nin kullanılması yeterli görünmektedir. Ayrıca 15 cihazdan ve yeni cihaz elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilere incelendiğinde en yüksek korelasyonlu ilişkinin çekme dayanımı ile olduğu belirlenmiştir.



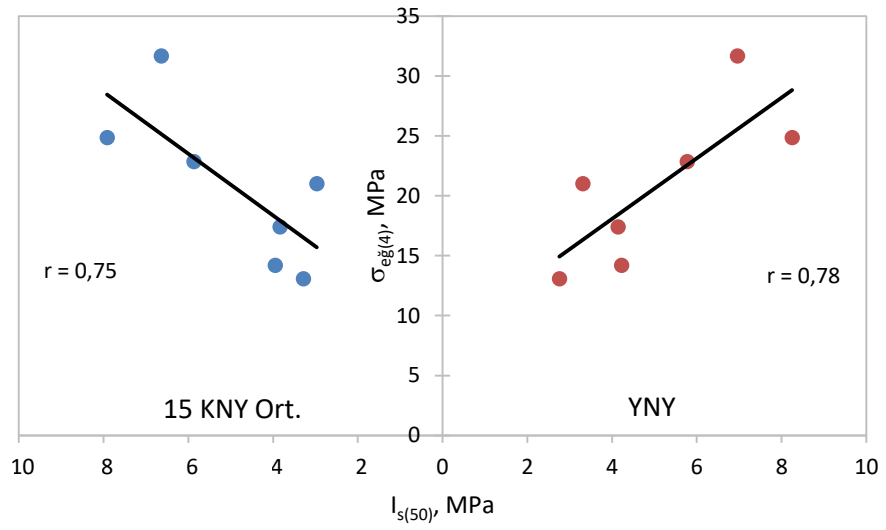
Şekil 5.62. $I_{s(50)}$ ile σ_c arasındaki ilişki



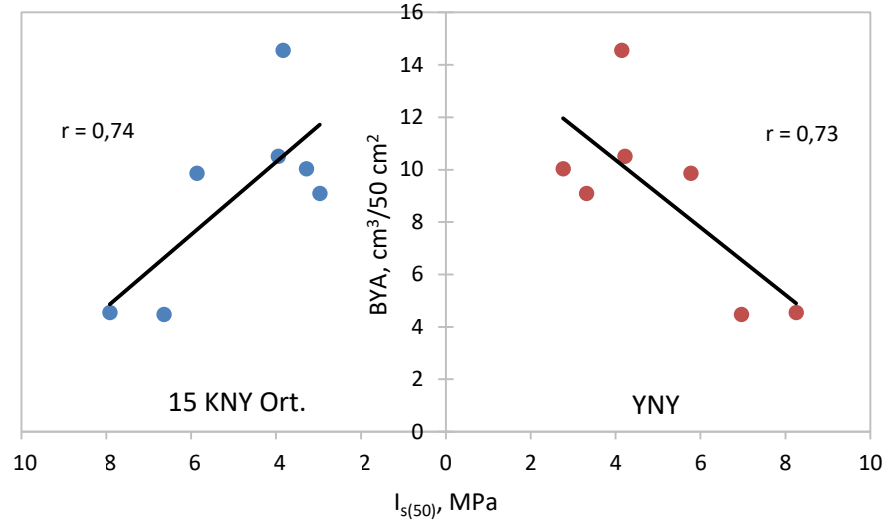
Şekil 5.63. $I_{s(50)}$ ile σ_t arasındaki ilişki



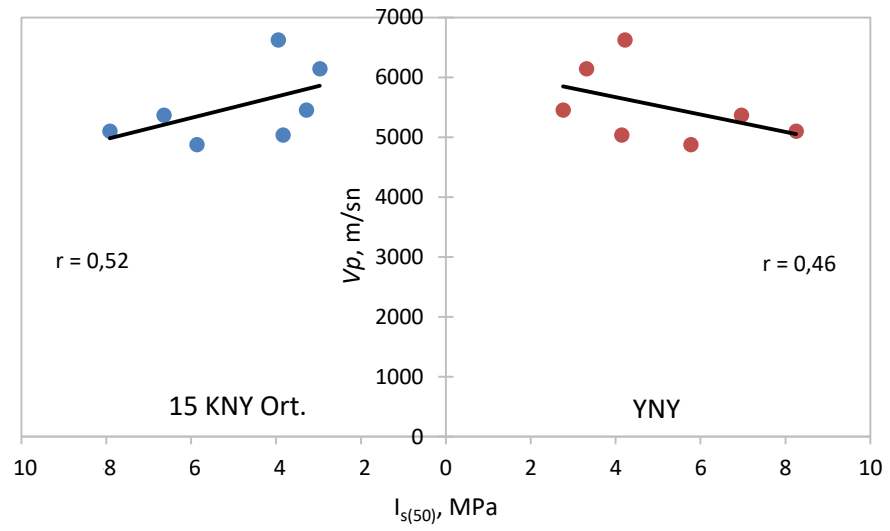
Şekil 5.64. $I_{s(50)}$ ile $\sigma_{egg(3)}$ arasındaki ilişki



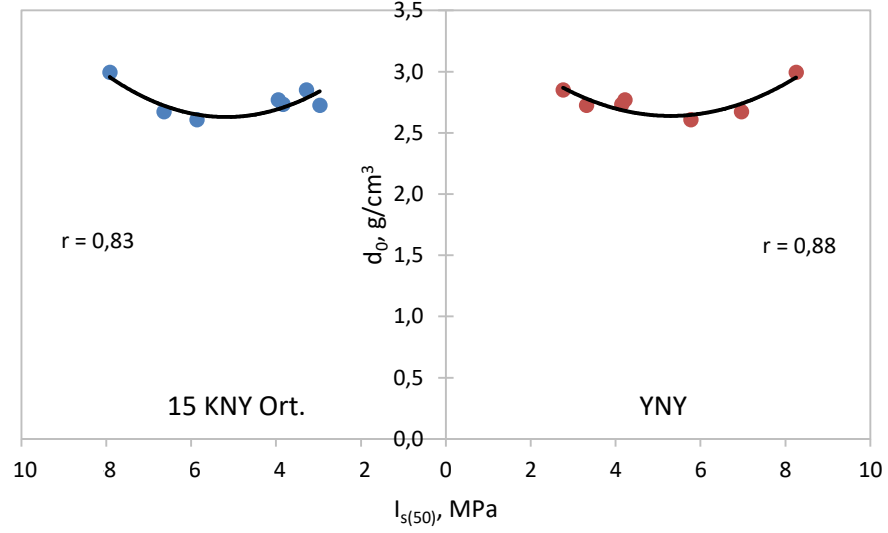
Şekil 5.65. $I_{s(50)}$ ile $\sigma_{egg(4)}$ arasındaki ilişki



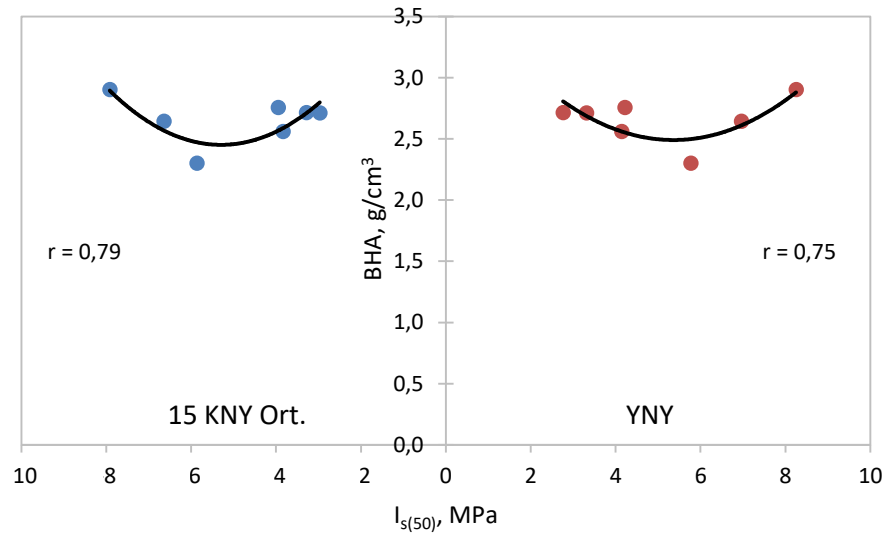
Şekil 5.66. $I_{s(50)}$ ile BYA arasındaki ilişki



Şekil 5.67. $I_{s(50)}$ ile V_p arasındaki ilişki



Şekil 5.68. $I_{s(50)}$ ile d_0 arasındaki ilişki



Şekil 5.69. $I_{s(50)}$ ile BHA arasındaki ilişki

5.12. Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazından Elde Edilen $I_{s(50)}$ Değerleri ile Kayaçların Bazı Mekanik Özelliklerinin Tahmini

Regresyon analizi, aralarında nedensellik ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla kullanılan bir metottur. Regresyon analizi ile

değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı ve eğer ilişki var ise bunun gücü hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Çalışma kapsamında YNY' elde edilen değerlerle kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmin edilmesine yönelik basit regresyon analizleri yapılmış ve önerilen modellerin istatistiksel olarak anlamlılıkları incelenmiştir (Çizelge 5.42). Hem yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değeri hem de 15 cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalaması ile tahmin modelleri kurulmuştur. Hem tahmin modelleri hem de ilişkiler birbirine yakın çıkmıştır. En iyi tahmin modelinin de çekme dayanımı için kurulduğu görülmüştür. Sadece yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değeri ile $\sigma_{eğ(4)}$ değeri arasında anlamlı bir tahmin modeli kurulabiliyorken, 15 cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerini ortalaması ile $\sigma_{eğ(4)}$ değeri arasında anlamlı bir tahmin modeli kurulamamıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi ya 15 farklı KNY'de deney yapıp ortalaması kullanılabilir ya da YNY'den elde edilen veriler kullanılabilir. Her çalışmada 15 farklı KNY'de deney yapıp ortalamalarının alınması pratik ve olası görünmediğine göre YNY'den elde edilen değerlerin kullanılması yeterlidir.

Çizelge 5.42. $I_{s(50)}$ değeri kullanılarak kayaçların bazı mekanik özelliklerin tahmini için önerilen basit eşitlikler

YNY		15 KNY Ort.	
Eşitlik	r	Eşitlik	r
$\sigma_c = 12,822 \times I_{s(50)} + 42,526$	0,770	$\sigma_c = 14,225 \times I_{s(50)} + 37,320$	0,804
$\sigma_t = 0,607 \times I_{s(50)} + 6,274$	0,965	$\sigma_t = 0,642 \times I_{s(50)} + 6,182$	0,961
$\sigma_{eğ(3)} = 1,574 \times I_{s(50)} + 5,539$	0,880	$\sigma_{eğ(3)} = 1,593 \times I_{s(50)} + 5,652$	0,839
$\sigma_{eğ(4)} = 2,534 \times I_{s(50)} + 7,924$	0,781	$\sigma_{eğ(4)}$ için ilişki anlamsız	
$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı; σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı; σ_t : Brazilian çekme dayanımı; $\sigma_{eğ(3)}$: 3 nokta eğilme dayanımı; $\sigma_{eğ(4)}$: 4 nokta eğilme dayanımı			

5.13. Nokta Yükleme Dayanımı Değeri ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değeri Tahmini

Birçok araştırmacı nokta yükleme dayanımını kullanarak tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik çok sayıda çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri deneysel verilerle istatistiksel analizler yaparak, yapay zekâ yöntemlerini kullanarak çeşitli

eşitlikler önermişlerdir. Bazı dönüşüm katsayıları belirlemişler ve bunların daha anlamlı olması için farklı jeolojik kökene, farklı dayanıma, farklı gözenek oranına sahip kayaçları gruplandırarak konuyu irdelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında elde edilen nokta yükleme dayanımı değerleri ile tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik istatistiksel bir çalışma yapılmış ve basit regresyon analizi ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Grafik yöntemi ile de dönüşüm katsayıları (K) belirlenmiştir (Çizelge 5.43, 5.44).

Hem yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değeri hem de 15 cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalaması kullanılarak elde edilen dönüşüm katsayıları ve korelasyon katsayıları birbirine yakın olarak belirlenmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi ya 15 farklı KNY’de deney yapıp ortalaması kullanılabilir ya da YNY’den elde edilen veriler kullanılabilir. Elde edilen K değerlerinin literatürde yer alan K değerlerine yakın olduğu görülmekte, fakat yine de her kayaç için ayrı ayrı K değerlerinin belirlenmesi gerekliliği görülmüştür.

Çizelge 5.43. σ_c değerinin $I_{s(50)}$ değeri kullanılarak tahmini için önerilen eşitlikler

	Eşitlik	r
YNY	$\sigma_c = 12,822 \times I_{s(50)} + 42,526$	0,770
15 KNY Ort.	$\sigma_c = 14,225 \times I_{s(50)} + 37,320$	0,804

Çizelge 5.44. σ_c değerinin $I_{s(50)}$ değeri kullanılarak tahmini için önerilen dönüşüm katsayıları (K)

	Dönüşüm Katsayısı (K)				
	Min.	Maks.	$I_{s(50)} < 5 \text{ MPa}$	$I_{s(50)} > 5 \text{ MPa}$	Tüm kayaçlar
YNY	15,51	37,66	23,51	19,06	20,23
15 KNY Ort.	16,73	31,60	24,80	19,59	20,95

$I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; Ort.: Ortalama

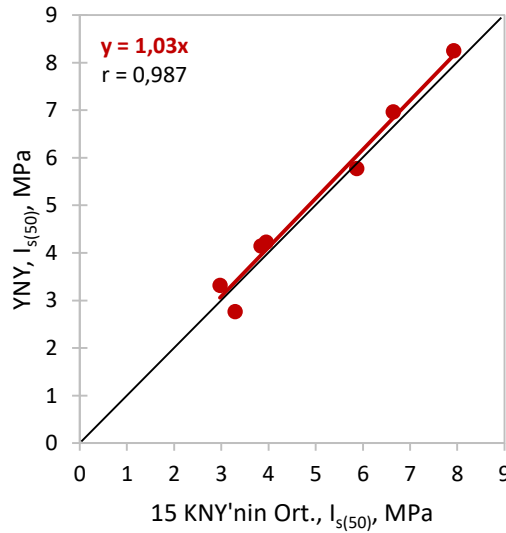
5.14. Klasik Nokta Yükleme Deney Cihazından Elde Edilen Değerlerle Yeni Nokta Yükleme Deney Cihazından Elde Edilen Değerlerin Tahmini

Bu tez çalışması kapsamında KNY’nin cihaz ve operatör kaynaklı hataları belirlenmeye elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerinin güvenilirliği sorgulanmaya

çalışılmıştır. Bu amaçla tasarlanan YNY'den (operatör hatalarından arındırılmış) elde edilen sonuçların daha güvenilir olduğu aşikârdır. Araştırmacıların 15 farklı KNY'de deney yapıp elde ettikleri nokta yükleme dayanımı değerlerinin aritmetik ortalamasını alması çok mümkün değildir. İlk etapta YNY'de deney yapma şansı olmayan araştırmacılar KNY'den elde ettikleri değerleri YNY'den elde edecekleri değeri tahmin etmek için kullanabilirler. Bu tez çalışması kapsamında YNY'den elde edilen nokta yükleme dayanımı değerlerini tahmin etmek için bazı analizler gerçekleştirilmiştir. Kayaçların gerçek nokta yükleme dayanımı değerlerinin tahmin edilmesine yönelik basit regresyon analizleri yapılmış, bir tahmin modeli oluşturulmuş ve grafik yöntemiyle bir dönüşüm katsayısı belirlenmiştir (Çizelge 5.45; Şekil 5.70).

Çizelge 5.45. $I_{s(50)}$ tahmini için önerilen basit eşitlikler

Eşitlik	r
$I_{s(50)} = 1,049 \times I_{s(50)(15 \text{ Cihaz})} - 0,110$	0,987
$I_{s(50)} = 1,03 \times I_{s(50)(15 \text{ Cihaz})}$	0,987
$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı; $I_{s(50)(15 \text{ Cihaz})}$: 15 farklı KNY'den elde edilen düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı	



Şekil 5.70. YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin tahmini için grafik yöntemi ile dönüşüm katsayısının (K) belirlenmesi

Deney yapılan 15 farklı KNY'den elde edilen değerlerden basit regresyon analizi sonucu belirlenen tahmin modeli ve dönüşüm katsayısı (DK) kullanılarak yeni cihazda

yapılan deneyler sonucunda elde edilen nokta yükleme dayanımı değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır (Çizelge 5.46). Çizelge 5.46 incelendiğinde K-1, K-3, M, G ve D kodlu kayaçlar için belirlenen dönüşüm katsayısı (DK) ve tahmin modeli normalleştirilmesi 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamasını yeni cihazdan elde edilen nokta yükleme dayanımı değerine yaklaştırmıştır. K-2 ve A kodlu kayaçlar için belirlenen dönüşüm katsayısı ve tahmin modeli normalleştirilmesi 15 farklı KNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin ortalamasını yeni cihazdan elde edilen nokta yükleme dayanımına değerinden uzaklaştırmıştır.

Çizelge 5.46. Dönüşüm katsayısı ve tahmin modeli kullanılarak elde edilen ve YNY'de yapılan deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Kayaç Kodu	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	DK ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
K-1	3,95	4,10	4,04	4,22
K-2	3,29	3,39	3,34	2,76
K-3	3,84	3,98	3,92	4,14
M	2,97	3,06	3,01	3,31
A	5,87	6,13	6,05	5,77
G	6,64	6,95	6,86	6,96
D	7,92	8,31	8,20	8,25

Klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarından elde edilen değerlerden basit regresyon analizi sonucu belirlenen tahmin modeli ve dönüşüm katsayısı yardımıyla yeni cihazda yapılan deneyler sonucunda elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerine ulaşmak çok mümkün görünmemektedir. Ortalama değerlere bakıldığında dahi sabit bir normalleştirme işlemi ile değişmeyen nokta yükleme dayanımı değeri tahmin edilememektedir. Deney yapılan 15 farklı KNY'den elde edilen ortalama $I_{s(50)}$ değerleri yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerinin altında veya üstünde olabiliyorken Çizelge 5.47-5.53'e bakıldığında her cihaz için bir normalleştirme belirlenmesi gerekliliği görülmektedir. Ortalama $I_{s(50)}$ değeri yeni cihazdan elde edilen $I_{s(50)}$ değerinin altındayken sonuçlar tek tek incelendiğinde bazı cihazlardan elde edilen $I_{s(50)}$ değerlerinin yeni cihazdan elde edilen değerlerin üstünde olduğu bazı cihazlardan elde edilen değerlerin de altında olduğu görülmektedir. Klasik nokta yükleme deney cihazlarının her birinin sahip olduğu kendilerine has teknik özelliklerinden dolayı bu mümkün olmamaktadır. **Mevcut teknik özellikler, standart dışı konik başlıklar,**

bakımsız cihazlar, farklı operatörler vb. faktörler bir araya geldiğinde değişmeyen nokta yükleme dayanımı değerini tahmin etmeyi olanaksız kılmaktadır.

Çizelge 5.47. K-1 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	<i>L</i> (cm)	<i>r</i> (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	4,33	4,50	4,43	4,22
2	45,0	6,1	3,71	3,84	3,78	
3	45,0	5,2	3,08	3,17	3,12	
4	39,5	2,2	3,11	3,20	3,15	
5	50,5	6,2	5,10	5,31	5,24	
6	44,5	4,4	3,59	3,71	3,65	
7	35,0	5,9	4,34	4,51	4,44	
8	45,0	5,6	3,90	4,05	3,99	
9	47,0	4,0	3,18	3,28	3,22	
10	40,0	5,6	4,78	4,97	4,90	
11	45,0	5,6	4,74	4,94	4,87	
12	43,5	5,0	3,55	3,67	3,61	
13	39,5	3,9	4,01	4,16	4,10	
14	36,5	3,9	4,08	4,23	4,17	
15	44,5	5,4	3,82	3,96	3,90	
Ortalama	43,4	5,0	3,95	4,10	4,04	

Çizelge 5.48. K-2 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	<i>L</i> (cm)	<i>r</i> (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	2,87	2,95	2,90	2,76
2	45,0	6,1	3,36	3,47	3,42	
3	45,0	5,2	2,35	2,40	2,35	
4	39,5	2,2	2,53	2,59	2,54	
5	50,5	6,2	4,95	5,15	5,08	
6	44,5	4,4	3,45	3,57	3,51	
7	35,0	5,9	3,17	3,27	3,22	
8	45,0	5,6	3,85	3,98	3,92	
9	47,0	4,0	2,37	2,42	2,37	
10	40,0	5,6	3,51	3,63	3,57	
11	45,0	5,6	4,58	4,76	4,69	
12	43,5	5,0	3,97	4,12	4,05	
13	39,5	3,9	2,42	2,47	2,43	
14	36,5	3,9	3,15	3,25	3,19	
15	44,5	5,4	2,79	2,87	2,82	
Ortalama	43,4	5,0	3,29	3,39	3,34	

Çizelge 5.49. K-3 kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	<i>L</i> (cm)	<i>r</i> (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	3,96	4,11	4,04	4,14
2	45,0	6,1	3,40	3,51	3,46	
3	45,0	5,2	2,83	2,91	2,86	
4	39,5	2,2	3,01	3,10	3,05	
5	50,5	6,2	4,56	4,74	4,67	
6	44,5	4,4	3,79	3,93	3,87	
7	35,0	5,9	4,73	4,93	4,86	
8	45,0	5,6	4,03	4,18	4,12	
9	47,0	4,0	3,98	4,13	4,07	
10	40,0	5,6	3,87	4,01	3,95	
11	45,0	5,6	4,44	4,62	4,55	
12	43,5	5,0	3,26	3,36	3,31	
13	39,5	3,9	3,77	3,90	3,84	
14	36,5	3,9	3,72	3,85	3,79	
15	44,5	5,4	4,26	4,43	4,36	
Ortalama	43,4	5,0	3,84	3,98	3,92	

Çizelge 5.50. M kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	<i>L</i> (cm)	<i>r</i> (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	3,04	3,13	3,08	3,31
2	45,0	6,1	2,76	2,83	2,78	
3	45,0	5,2	2,72	2,79	2,74	
4	39,5	2,2	2,77	2,84	2,79	
5	50,5	6,2	3,59	3,71	3,66	
6	44,5	4,4	2,76	2,84	2,79	
7	35,0	5,9	3,79	3,93	3,87	
8	45,0	5,6	2,20	2,24	2,20	
9	47,0	4,0	2,40	2,45	2,41	
10	40,0	5,6	3,29	3,39	3,34	
11	45,0	5,6	3,52	3,64	3,58	
12	43,5	5,0	3,08	3,18	3,12	
13	39,5	3,9	3,11	3,21	3,15	
14	36,5	3,9	2,92	3,00	2,95	
15	44,5	5,4	2,63	2,70	2,65	
Ortalama	43,4	5,0	2,97	3,06	3,01	

Çizelge 5.51. A kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

Cihaz Kodu	<i>L</i> (cm)	<i>r</i> (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	6,69	7,00	6,90	5,77
2	45,0	6,1	5,46	5,70	5,62	
3	45,0	5,2	4,64	4,82	4,75	
4	39,5	2,2	4,59	4,77	4,71	
5	50,5	6,2	7,00	7,33	7,24	
6	44,5	4,4	5,71	5,96	5,88	
7	35,0	5,9	7,44	7,79	7,69	
8	45,0	5,6	6,23	6,51	6,42	
9	47,0	4,0	5,16	5,38	5,30	
10	40,0	5,6	6,42	6,72	6,63	
11	45,0	5,6	7,06	7,39	7,29	
12	43,5	5,0	4,55	4,73	4,66	
13	39,5	3,9	6,43	6,72	6,63	
14	36,5	3,9	5,76	6,02	5,94	
15	44,5	5,4	4,89	5,09	5,02	
Ortalama	43,4	5,0	5,87	6,13	6,05	

Çizelge 5.52. G kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

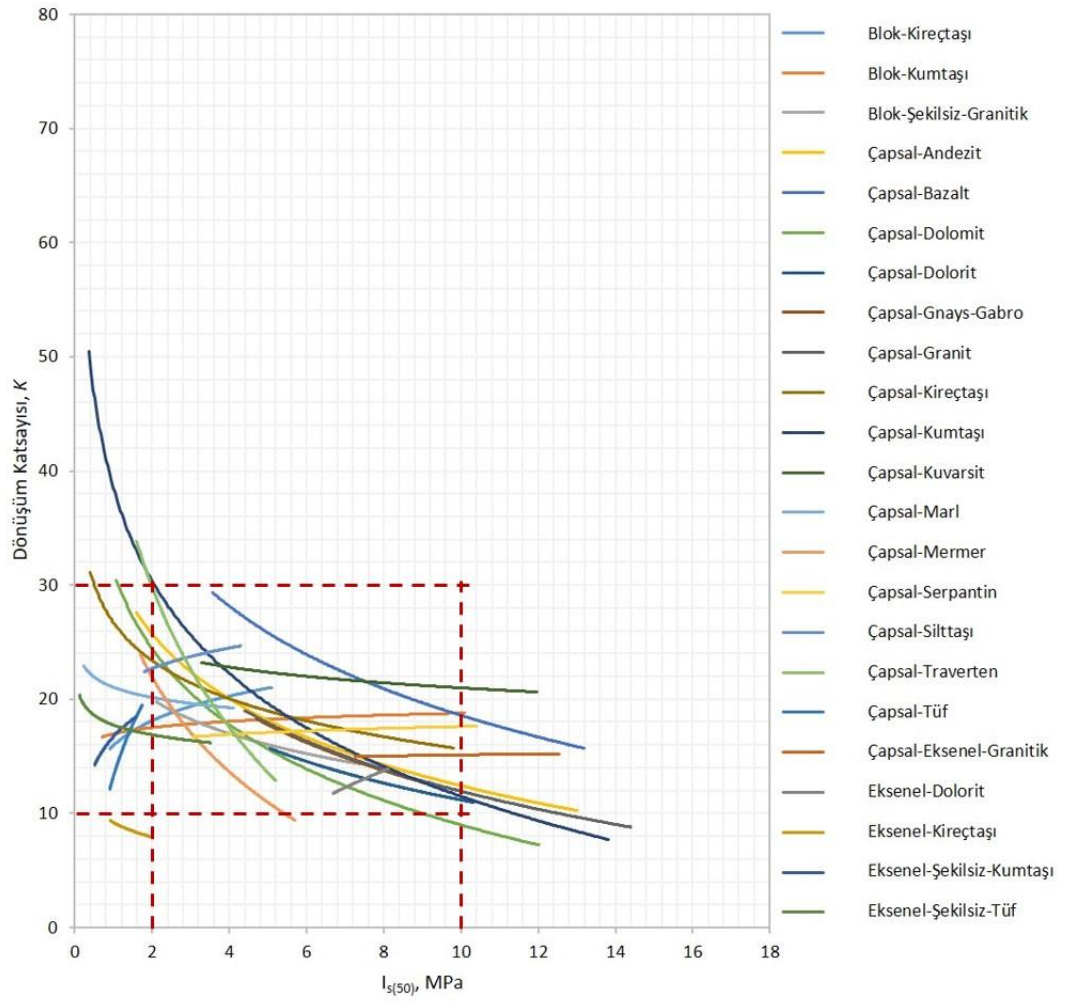
Cihaz Kodu	<i>L</i> (cm)	<i>r</i> (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	6,75	7,06	6,97	6,96
2	45,0	6,1	6,90	7,22	7,13	
3	45,0	5,2	5,82	6,08	6,00	
4	39,5	2,2	5,47	5,70	5,63	
5	50,5	6,2	8,08	8,47	8,37	
6	44,5	4,4	6,38	6,67	6,58	
7	35,0	5,9	8,04	8,43	8,32	
8	45,0	5,6	7,36	7,71	7,61	
9	47,0	4,0	5,55	5,79	5,71	
10	40,0	5,6	7,01	7,34	7,24	
11	45,0	5,6	7,53	7,89	7,79	
12	43,5	5,0	5,98	6,25	6,16	
13	39,5	3,9	6,82	7,14	7,04	
14	36,5	3,9	6,05	6,32	6,23	
15	44,5	5,4	5,90	6,17	6,08	
Ortalama	43,4	5,0	6,64	6,95	6,86	

Çizelge 5.53. D kodlu kayaç için 15 farklı KNY'den, *DK* kullanılarak, tahmin modeli kullanılarak ve YNY'den elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri

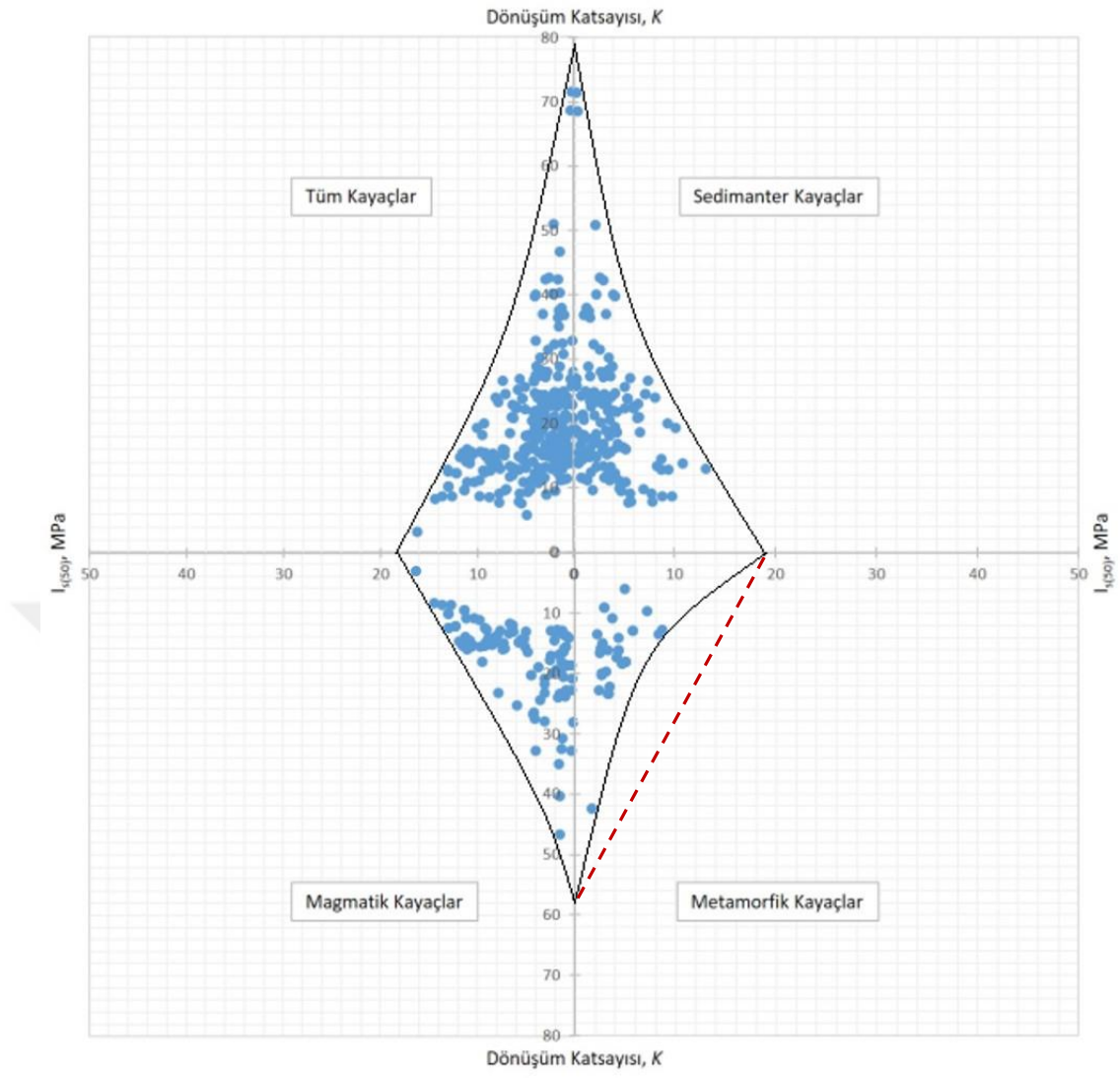
Cihaz Kodu	L (cm)	r (mm)	15 KNY $I_{s(50)}$ (MPa)	<i>DK</i> ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	Tahmin Modeli ile hesaplanan $I_{s(50)}$ (MPa)	YNY $I_{s(50)}$ (MPa)
1	51,0	5,8	8,26	8,66	8,55	8,25
2	45,0	6,1	8,49	8,91	8,80	
3	45,0	5,2	6,92	7,24	7,15	
4	39,5	2,2	6,70	7,01	6,91	
5	50,5	6,2	9,10	9,55	9,44	
6	44,5	4,4	7,25	7,59	7,49	
7	35,0	5,9	9,21	9,67	9,55	
8	45,0	5,6	8,44	8,85	8,74	
9	47,0	4,0	7,14	7,48	7,38	
10	40,0	5,6	8,74	9,17	9,06	
11	45,0	5,6	8,76	9,19	9,08	
12	43,5	5,0	6,05	6,32	6,23	
13	39,5	3,9	8,50	8,92	8,81	
14	36,5	3,9	7,58	7,95	7,85	
15	44,5	5,4	7,71	8,08	7,98	
Ortalama	43,4	5,0	7,92	8,31	8,20	

Literatürde bulunan çalışmalardan 346 farklı kayaç üzerinde (sedimanter, metamorfik, magmatik kökenli) yapılmış deneylerden elde edilen literatür verileri derlenip kayaçların nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$) değerlerine karşılık basınç dayanımı (σ_c) değerlerini dolaylı olarak tahmin etmek için kullanılan dönüşüm katsayıları (K) grafiği çizdirilerek bir abak oluşturulmaya çalışılmıştır (Şekil 5.71). Şekil 5.71 incelendiğinde farklı örnek geometrilerine ve farklı kayaç türlerine karşılık gelen K değerlerine karşılık gelen noktaların eğilim çizgileri çizilmiştir. Şekil 5.71'e bakıldığında saçılımın çok fazla olduğu görülmektedir. Belli bir örnek geometrisi veya kayaç türü için tek bir değer veya bir eğilim görülmemektedir. Bunun sebebinin de literatür çalışmalarına konu olmuş $I_{s(50)}$ değerinin cihaz ve kullanıcı kaynaklı hatalardan dolayı doğru belirlenememiş olmasıdır. Aynı şekilde jeolojik kökenlerine göre kayaçlar gruplandırıldığında dağılımın hangi aralıkta değiştiğini görmek için $I_{s(50)}$ ile K arasındaki ilişkinin grafikleri çizilmiştir (5.72). Şekil 5.72'ye bakıldığında saçılımın genişliği daha net görülmektedir. Neredeyse her çalışmadan farklı bir dönüşüm katsayısı belirlendiği anlaşılmaktadır. Her 3 grup kayaç (sedimanter, metamorfik ve

magmatik) ve tüm kayaçlar için aynı değerlendirme yapıldığında $I_{s(50)}$ ile K arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. İncelenen çalışmalarda 346 farklı kayaçta blok, çapsal ve eksenel örnekler üzerinde deneyler yapıldığı görülmektedir. Nokta yükleme dayanım indeksinin 0-14 MPa ve K katsayısının ise 6-50 arasında geniş bir aralıkta olduğu, yoğunluk olarak da 10-30 arasında, nokta yükleme dayanım indeksinin ise 2-10 MPa arasında yığıldığı görülmektedir. Nokta yükleme dayanım indeksinin bu kadar geniş bir aralıkta dönüşüm katsayısına (K) sahip olmasının temelinde bu tez çalışmasında da somut verilerle ortaya konulmaya çalışılan operatör farklılığı, yüklemenin sabit hızda sürekli olarak uygulanamaması, konik başlıkların küresellik değerlerinin farklılığı gibi parametreler yer almaktadır. Bu hataları/faktörleri minimuma indirmek için YNY'nin kullanılmasının daha doğru/gerçeğe en yakın $I_{s(50)}$ değerlerinin belirlenmesi açısından yararlı olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.71. Literatürde verilen farklı türdeki kayaçlar için $I_{s(50)}$ ve K abağı



Şekil 5.72. Literatürde verilen veriler kullanılarak elde edilen $I_{s(50)}$ ve K arasındaki ilişki

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nokta yükleme dayanım indeksi, kayaçların dayanımını belirlemek için kullanılan diğer yöntemlere göre uygulanması daha basit, daha hızlı, daha ucuz, örnek hazırlanması daha kolay veya örnek hazırlama işlemi gerektirmeyen bir yöntemdir. Bu yüzden daha doğru ve daha hassas sonuçlar elde etmek için 1985'te önerildiği halinden çok fazla bir değişikliğe uğramadan kullanılan nokta yükleme dayanımı deneyinin, mevcut cihaz ve operatör kaynaklı hatalarının belirlenip, bunları önleyici yeni bir deney cihazı tasarlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, 15 farklı KNY'de 7 farklı kayaç türü üzerinde nokta yükleme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler öncesinde yapılan ölçümler, deneyler sonunda elde edilen veriler ile deneyler esnasında yapılan detaylı ve hassas gözlemler sonucunda klasik nokta yükleme cihazının gerek cihaz ve gerek operatör kaynaklı hataları ve sakıncaları belirlenmeye çalışılmıştır. KNY'nin hataları/sakıncaları genel olarak aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir:

- Yükleme hızı (sabit hızda sürekli yükleme)
- Yenilme süresi
- Farklı operatörlerin deneyi uygulaması
- Konik başlık geometrisi
- Düzenli bakımların yapılmaması (veya hemen hemen hiç bakım yapılmaması)
- Farklı tip kriko sistemlerinin kullanılması
- Gösterge hataları
- Konik başlıkların eksenden sapması
- Yumuşak kayaçlarda konik başlıkların kayaca batması (gömülmesi)
- Yükleme kolu boyu etkisi

Bu çalışma kapsamında incelenen 154 bilimsel çalışmadan 57'si 2000 yılından önce diğerleri 2000 yılından sonra yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan 2000 yılından öncesine ait olan 57 çalışmadan sadece 4 tanesinde (Franklin vd., 1971; Hassani vd., 1980; Abbs, 1985; Romana, 1999) arazide yani yerinde nokta yükleme dayanımı

deneyleri yapılmış olup 2000 yılından sonra yapılan çalışmalarda ise arazide nokta yükleme dayanımı deneyinin yapıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Arazi deneyi olarak anılan nokta yükleme dayanımı deneyinin, incelendiği/konu olduğu/faydalandığı çalışmalardan yaklaşık % 2,5'lik bir kısmı arazi deneylerini içermektedir. **Nokta yükleme dayanımı deneyi laboratuvar deneyi olarak anılmalı, portatif deney cihazlarının neden olduğu güvensizlik ve hatalardan arındırılarak, örnek hazırlamadaki pratikliği, ucuzluğu; deneyi uygulamadaki kolaylığı ve hızı ile dayanım parametresi belirlemede hak ettiği yeri almalıdır.** Laboratuvar da, YNY'de yapılacak deneylerden elde edilecek sonuçların daha güvenilir olacağı bu çalışmada görülmüştür.

Bu tez çalışmasında kullanılan 7 farklı türdeki kayacın Bieniawski (1974)'nin dayanım sınıflamasına göre hangi dayanım değeri için hangi sınıfta oldukları belirlenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. M, A, G ve D kodlu kayalar için dayanım sınıfı 3 farklı dayanım değeri için de değişmezken, K-1, K-2 ve K-3 kodlu kireçtaşları $I_{s(50)}$ değerlerindeki **$\pm 0,22 \text{ MPa'lık}$** farktan dolayı farklı dayanım sınıfında yer almışlardır. Bu da $I_{s(50)}$ belirlenirken ne kadar hassas olunması gerektiğini bir kez daha göstermektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaların orta dayanım ve sağlam sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Belirlenen $I_{s(50)}$ değerlerinde % 10-15'lik değişim kayacın dayanım değeri, sınır/geçiş değerine çok yakın değilse sınıf değişimine neden olmayabilir ama özellikle zayıf ve çok zayıf kayalarda (<2 MPa) bu oranlardaki değişimler kayacın sınıflamasında değişime neden olacaktır. Bu nedenle, bu tez çalışmasındaki sabit hızda sürekli yükleme ve operatör etkisi olmadan $I_{s(50)}$ değerlerinin belirlenmesi çok zayıf/zayıf kayaç grupları için çok daha önemlidir. Bu tez çalışmasında kullanılan kayalar orta dayanım sınıfı ve sağlam sınıfta yer almalarına rağmen deney yöntemi ve sonuçlar açısından önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Çok zayıf/zayıf kayalarda bu farklılığın daha da belirgin ve etki derecesinin daha yüksek olacağı anlaşılmaktadır.

Nokta yükleme dayanımına direk etki eden parametrelerden birinin küresellik yarıçapı (r) olduğu yapılan deneylerle belirlenmiştir. “ r ” değeri küçüldükçe konik başlıkların ucu kayaca kolayca batmakta ve $I_{s(50)}$ değeri olması gerekenden düşük olmaktadır. “ r ” değeri arttıkça, başlığın kayaca temas eden yüzey alanı büyüdüğü için konik başlık daha fazla dirençle karşılaşmakta ve $I_{s(50)}$ değeri olması gerekenden yüksek olmaktadır. “ r ” değeri çok büyüdüğü durumlarda sistem nokta yükten basınç dayanımına doğru geçiş yapmaktadır. “ r ” değerindeki her $\pm 0,1$ mm’lik değişimin, değişimin yönüne göre nokta yükleme dayanımı değerinde $\pm \% 0,8$ ’lik bir değişime neden olduğu belirlenmiştir. $r=5$ mm’den farklı değerlere sahip konik başlıklarla deney yapılması durumunda $I_{s(50)}$ değerlerini $r=5$ mm’ye göre normalleştirmek için diğer bir ifadeyle “ r ” etkisinden arındırılmış $I_{s(50)}$ değerlerinin elde edilebilmesi için bir eşitlik önerilmiştir (Eşitlik 5.1).

$$I_{s(50)r} = I_{s(50)r_i} \times \left(1 - \left(\frac{r_i - 5}{0,1}\right) \times 0,008\right) \quad (5.1)$$

Nokta yükleme dayanımı deneyinde yükleme kolu boyu (L) kısaldıkça $I_{s(50)}$ değerinin arttığı, uzadıkça $I_{s(50)}$ değerinin azaldığı belirlenmiş fakat bu azalmanın da “ L ” değerinin 35 cm’nin üzerinde olması durumunda $I_{s(50)}$ değerine çok önemli/fark yaratacak bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan 15 farklı KNY’nin tamamının “ L ” değeri 35 cm’nin üzerinde olduğu için, mevcut “ L ” değerlerinin belirlenen $I_{s(50)}$ değerleri üzerinde çok önemli/fark yaratacak bir etkisi olmamıştır. ***Diğer taraftan ISRM (1985; 2007) ve ASTM (1995; 2008) deney standartlarında “ L ” değeri ile ilgili bir standart olmaması bir eksiklik olarak belirlenmiştir.*** Mevcut standartlara “ L ” değeri ile ilgili bir ifade konulmasının faydalı olacağı düşünülmektedir (35 cm < L < 50 cm gibi). Olası 35 cm’den kısa yükleme kolları ile deney yapılması durumunda $L=35$ cm için, diğer bir ifadeyle “ L ” değeri etkisinden arındırılmış, kol boyuna bağlı olmayan $I_{s(50)}$ değerlerinin belirlenebilmesi için bir eşitlik önerilmiştir (Eşitlik 5.2).

$$I_{s(50)L} = I_{s(50)L_i} \times \left(\frac{35 - L_i}{1}\right) \times 0,01 \quad (5.2)$$

Konik başlığın uç kısmının sertliğinin nokta yükleme dayanımı değerine doğrudan bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında 15 farklı KNY'nin konik başlıklarının uç kısımlarının sertliklerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiş ve bu sertlik değerleri ile $I_{s(50)}$ arasında anlamlı bir ilişki görülmemiştir. Uçun sertliği, uçun aşınmaya karşı olan direncini, dolayısıyla ömrünü, yani uç kısmının küresellik yarıçapının (r) artma süresini etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan 3 farklı türdeki kayaç için operatör farklılığından kaynaklı olarak $I_{s(50)}$ değerinde meydana gelen değişimin % 5,4 olduğu belirlenmiştir. Muhakkak ki operatörün $I_{s(50)}$ değeri üzerinde bir etkisi olduğu aşikârdır. Bunun derecesini net olarak belirlemek ise tüm değişkenleri sabit tutmak ve sadece operatörü değiştirerek mümkün olabilir. Fakat pratikte mevcut (klasik) nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının buna müsaade etmeyeceği de çalışmanın başından itibaren sıkça vurgulanmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan cihaz sayısı, operatör sayısı ve düşük dayanıma sahip kayaç türü artırılacak olursa daha hassas değerler elde edileceği düşünülmektedir.

Yükleme işlemi sürekli bir şekilde sabit hızda yapıldığı ve kayaç 10 ile 60 saniye arasında yenilme gerçekleştiği sürece yüklem hızının nokta yükleme dayanımını üzerinde çok az bir etkisi olduğu görülmüştür. Nokta yükleme dayanımında mevcut standart sapma değerleri içinde bir değişim meydana gelmektedir. Fakat yüklem işlemi kesikli-artan bir hızda yapılırsa kayacın yenilme süresi azalmakta, $I_{s(50)}$ değeri de artmaktadır. Bu artışın derecesi kayaç türüne bağlı olarak değişim göstermektedir.

KNY'den elde edilmiş olan $I_{s(50)}$ değerlerine bir dönüşüm katsayısı uygulayarak YNY'den (operatör faktörü olmadan, sabit hızda sürekli yüklem yapan) elde edilen değerleri kayaç türlerinin kendi içinde bile tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Çalışma boyunca vurgulanan cihaz ve operatör kaynaklı hatalardan dolayı her deney cihazının kendine has bir deney dinamiği olduğu ve her deney cihazı özelinde bir normalleştirme uygulanması gerekliliği görülmüştür. Bu da pratikte çok uygulanabilir bir durum değildir.

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir. Nokta yükleme dayanımını kullanarak tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için dönüşüm katsayısı tüm kayaçlar için yeni cihazdan elde edilen veriler için 20,23 olarak 15 KNY'nin ortalamasından elde edilen veriler için 20,95 olarak belirlenmiştir. Elde edilen K değerlerinin literatürde yer alan K değerlerine yakın olduğu görülmekte, fakat yine de her kayaç için ayrı ayrı K değerlerinin belirlenmesi gerekliliği görülmüştür.

$I_{s(50)}$ değerleri ile kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmin edilmesine yönelik önerilen tahmin modelleri içinde, en yüksek korelasyonlu ilişki çekme dayanımının tahmin modelinde elde edilmiştir. $I_{s(50)}$ değerinin çekme dayanımının tahmininde daha iyi sonuçlar verdiği, çekme dayanımının tahmininde güvenilir bir parametre olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Chau ve Wong (1996), Hoek ve Brown (1997), Bowden vd. (1998) ve Look ve Griffiths (2001) farklı kayaçlar için tek bir dönüşüm katsayısının yeterli, güvenilir olmadığını vurgulamışlardır. Bu tez çalışmasında da farklı türdeki kayaçlar için farklı dönüşüm katsayıları kullanılmasının gerekliliği görülmüştür.

Thuro ve Plininger (2001) tek bir deney sonucu için tahmin modelinin uygun olduğunu fakat farklı cihazlarda veya farklı kayaçlar üzerinde deney gerçekleştirildiğinde tahmin modelinin tahmin yeteneğinin düştüğünü ifade etmişlerdir. Boyut düzeltme faktörünün uygulayıcılar için her zaman bir soru işareti olacağını vurgulamışlardır. Bu tespitler bu tez çalışmasında da ortaya konmuştur.

Deney başlangıcında konik başlıklar kayacın dayanımına göre çok fazla bir dirençle karşılaşmadan bir miktar kayacın içine batmaktadır. Batma miktarının orta dayanım sınıfında yer alan kayaçlarda sağlam sınıfta yer alan kayaçlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Basu ve Aydın (2006) ise yaptıkları çalışmada batma miktarının sağlam kayaçlarda orta dayanıma sahip kayaçlara göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında kullanılan kayaçlar orta dayanım ve sağlam sınıfta yer alan kayaçlar olup böyle bir batma/gömülme durumuyla karşılaşmamıştır.

Karaman ve Kesimal (2012), görünür porozitenin basınç dayanımının tahmini için belirledikleri K değeri üzerine etkisi olduğunu belirlemişler ve görünür porozitesi % 1'in altında olan kayalar için güvenilir olmadığını vurgulamışlardır. Bu tez çalışmasında görünür porozite ile K değeri arasında belirgin anlamlı bir ilişki belirlenememiştir.

İncelenen çalışmalarda 346 farklı kayada blok, çapsal ve eksenel örnekler üzerinde deneyler yapıldığı görülmektedir. Nokta yükleme dayanım indeksi K katsayısı arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında da somut verilerle ortaya konulmaya çalışılan operatör farklılığı, yüklemenin üniform olarak uygulanamaması, konik başlıkların küresellik değerlerinin (r) farklılığı gibi parametreler bu kadar geniş bir aralığın oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenleri/faktörleri minimuma indirmek için YNY'nin kullanılmasının daha doğru/gerçeğe daha yakın $I_{s(50)}$ değerlerinin belirlenmesi açısından yararlı olacağı kanaatine varılmıştır.

Nokta yükleme dayanımında en uygun yükleme hızının belirlenebilmesi için farklı kaya türlerinde, farklı boyutlardaki (farklı L/D oranına sahip) örnekler üzerinde deneyler uygulanmalıdır. Bu tez çalışmasında, örnek boyutu (farklı L/D oranları) dikkate alınmamıştır. İleride yapılacak çalışmalarda daha fazla örnek kullanılarak farklı örnek boyutları üzerinde daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Deney cihazının ve aparatlarının kullanım ömrü, periyodik bakımları ve bunlarla ilgili standartlar tekrar gözden geçirilmelidir. Bilgisayar kontrollü veya otomatik, üniform bir şekilde sabit yükleme hızında yükleme yapabilme kabiliyetine sahip deney cihazlarının kullanımının yaygınlaşması ile operatör etkisinden arındırılmış sonuçlar üzerinde örnek boyutu, küresellik yarıçapı (r) vb. özelliklerin $I_{s(50)}$ değerine etkisi incelenmelidir.

Yeni yapılacak çalışmalarda düşük dayanım sınıfında yer alan kiltası, kumtaşı, çamurtaşı vb. kayalar üzerinde de deneyler yapılarak daha geniş yelpazede bir değerlendirme yapılmalıdır. Böylece özellikle düşük/çok düşük dayanıma sahip kayalar için mevcut (klasik) nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının hataları daha net ortaya konulabilir.

Yapay malzemeler (reçine, beton vb. izotrop malzemeler) kullanılarak yapılacak çalışmalar sonunda elde edilecek $I_{s(50)}$ değerleri incelenecek olursa bu tez çalışmasında belirlenen klasik nokta yükleme dayanımı deney cihazlarının hataları ve bu hataların etki dereceleri daha iyi belirlenebilecektir.



KAYNAKLAR

- Abbs, A.F., 1985. The Use of the Point Load Index in Weak Carbonate Rocks. ASTM STP 883, R. C. Chaney and K. R. Demars, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia 413–421. <https://doi.org/10.1520/STP36349S>
- Abdallah, T., 1993. Towards a Realistic Methodology of Modelling a Rock Blasting Pattern, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi. ss. 289–300.
- Afolagboye, L.O., Talabi, A.O., Oyelami, C.A., 2017. The use of index tests to determine the mechanical properties of crushed aggregates from Precambrian basement complex rocks, Ado-Ekiti, SW Nigeria. Journal of African Earth Sciences 129, 659–667. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.02.013>
- Aggistalis, G., Alivizatos, A., Stamoulis, D., Stournaras, G., 1996. Correlating Uniaxial Compressive Strength With Schmidt Hardness, Point Load Index, Young's Modulus, and Mineralogy of Gabbros and Basalts (Northern Greece). Bulletin of the International Association of Engineering Geology 54, 3–11. <https://doi.org/10.1007/BF02600650>
- Agustawijaya D.S., 2007. The uniaxial compressive strength of soft rock. Civil Engineering Dimension 9, 1, 9–14.
- Akram M., Bakar Z.A., 2007. Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks. Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences, 1 (1), 1–8.
- Alitalesh, M., Mollaali, M., Yazdani, M., 2016. Correlation between uniaxial strength and point load index of rocks. Japanese Geotechnical Society Special Publication The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 2, 504–507. <https://doi.org/10.3208/jgssp.IRN-08>
- Al-Jassar, S.H., Hawkins, A.B., 1979. Geotechnical Properties of The Carboniferous Limestone of The Bristol Area The Influence of Petrography And Chemistry, 4th ISRM Congress, 2-8 September, Montreux, Switzerland. pp. 3–14.
- Altindag, R., 2012. Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. the journal of the south african institute of mining and metallurgy 112, 229–237.
- Armaghani, D.J., For, M., Amin, M., Yagiz, S., Faradonbeh, R.S., Abdullah, R.A., 2016. Prediction of the uniaxial compressive strength of sandstone using various modeling techniques. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 85, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.03.018>
- ASTM, 1995. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock. American Society for Testing And Materials 22, 1–9. <https://doi.org/10.1520/D5731-08.2>

- ASTM, 2008. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock. American Society for Testing And Materials, 1–11. <https://doi.org/10.1520/D5731-08>
- Aston, T.R.C., MacIntyre, J.S., Kazi, H.A., 1991. The effect of worn and chipped points on point load indices. *Mining Science and Technology* 13, 69–74.
- Azimian, A., Ajalloeian, R., Fatehi, L., 2014. An Empirical Correlation of Uniaxial Compressive Strength with P-wave Velocity and Point Load Strength Index on Marly Rocks Using Statistical Method. *Geotechnical and Geological Engineering* 32, 205–214. <https://doi.org/10.1007/s10706-013-9703-x>
- Basu, A., Aydin, A., 2006. Predicting uniaxial compressive strength by point load test: Significance of cone penetration. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 39, 483–490. <https://doi.org/10.1007/s00603-006-0082-y>
- Basu, A., Kamran, M., 2010. Point load test on schistose rocks and its applicability in predicting uniaxial compressive strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 47, 823–828. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.04.006>
- Basu, A., Mishra, D.A., Roychowdhury, K., 2013. Rock failure modes under uniaxial compression, Brazilian, and point load tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 72, 457–475. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0505-4>
- Başarır, H., Kumral, M., Özsan, A., 2004. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımının basit deney yöntemleriyle tahmini, VII. Bölgesel Kaya Mekanik Sempozyumu.
- Beake RH, Suttcliffe G., 1980. Pipe pile drivability in the carbonate rocks of the southern Arabian Gulf. In: *Proceedings of the international conference on structural foundations on rock*, Sydney, Australia. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.
- Bearman, R.A., 1999. The use of the point load test for the rapid estimation of Mode I fracture toughness. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 36, 257–263. [https://doi.org/10.1016/S0148-9062\(99\)00015-7](https://doi.org/10.1016/S0148-9062(99)00015-7)
- Beavis, F.C., Roberts, F.I, Minskaya, L., 1982. Engineering aspects of weathering of low grade metapelites in an arid climatic zone. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 15, 29-45.
- Bieniawski, Z.T., 1974. Estimating the strength of rock materials. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* March, 312–320. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(74\)91782-3](https://doi.org/10.1016/0148-9062(74)91782-3)
- Bieniawski, Z.T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology* 9, 1–11. <https://doi.org/10.1016/0013>

- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. Wiley, New York, 264 p.
- Binal, A., 2009. Prediction of mechanical properties of non-welded and moderately welded ignimbrite using physical properties, ultrasonic pulse velocity, and point load index tests. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 42, 107–122. <https://doi.org/10.1144/1470-9326/07-067>
- Botsen, B.P., 1977. A Hand-Portable Point Load Tester For Field Measurements, The 18th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 22-24 June, Golden, Colorado. pp. 5C2-1-5C2-4.
- Bowden, A.J., Lamont-Black, J., Ulliyott, S., 1998. Point load testing of weak rocks with particular reference to chalk. Quarterly Journal of Engineering Geology 31, 95–103.
- Broch J.A., Broch, E., Walton, G., 1971. Geological Society Working Party RepOrt. The logging of rock cores for engineering purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 4, 131–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1971.004.02.04>
- Broch, E., 1983. Estimation of strength anisotropy using the point-load test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and 20, 181–187. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(83\)90942-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(83)90942-7)
- Broch, E., Franklin, J.A., 1972. The Point-Load Strength Test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 9, 669–697.
- Brook, N., 1977. The use of irregular specimens for rock strength tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and 14, 193–202. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(77\)90948-2](https://doi.org/10.1016/0148-9062(77)90948-2)
- Brook, N., 1980. Size Correction for Point Load Testing. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts 17, 231–235.
- Brook, N., 1985. The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts 22, 61–70. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(85\)92328-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(85)92328-9)
- Bureau of Indian Standards, 1998. IS 8764: 1998 Method for determination of point load strength index of rocks.
- Butenuth, C., 1997. Comparison of Tensile Strength Values of Rocks Determined by Point Load and Direct Tension Tests. Rock Mechanics and Rock Engineering 30, 65–72.
- Cargill, J.S., Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. International Journal of Rock

Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts 27, 495–503.
[https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)91001-N](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)91001-N)

Carter, P.G., Sneddon, I., 1977. Comparison of Schmidt hammer, point load and unconfined compression tests in Carboniferous strata. Proceedings of Conference on Rock Engineering, Newcastle, UK, 197-210.

Cavagnaro, R.L., 1980. Geotechnical Testing for Leigh Creek Coalfield. Proceedings of the 3rd ANZ Conference on Geomechanics, Wellington, 1, 237-242.

Cha A.R., Song J.H., Choi H.S., Chun B.S., 2007. The study on the correlation between unconfined compressive strength and point load strength within the gneiss complex in Gyeonggi Province. Journal of the Korean Geo-Environmental Society 8, 1, 21-6.

Chau, K.T., 1998. Analytic solutions for diametral point load strength tests. Journal of Engineering Mechanics 124, 875–883.

Chau, K.T., Wei, X.X., 2001. New analytic solution for the diametral point load strength test on finite solid circular cylinders. International Journal of Solids and Structures 38, 1459–1481. [https://doi.org/10.1016/S0020-7683\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0020-7683(00)00122-0)

Chau, K.T., Wong, R.H.C., 1996. Uniaxial compressive strength and point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 33, 183–188. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(95\)00056-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(95)00056-9)

Çapık, M., Yılmaz, A.O., 2017. Modeling of Micro Deval abrasion loss based on some rock properties. Journal of African Earth Sciences 134, 549–556. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.006>

Çobanoğlu, I., Çelik, S.B., 2008. Estimation of uniaxial compressive strength from point load strength, Schmidt hardness and P-wave velocity. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 67, 491–498. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0158-x>

D’Andrea, D.V., Fischer, R.L., Mining, M., 1965. Prediction of Compressive Strength From Other Rock Properties (Rep. Invest. U.S. Bur. Mines 6702).

Das, B.M., 1985. Evaluation of the Point Load Strength for Soft Rock Classification. Proceeding of the 4th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, pp. 220-226.

Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock, Technical report No. AFWL-TR, AFWL-TR, 65-116, University of Illinois, 300.

Demir, M., 2011. Nokta Yüğü Dayanımı Deneyine Etki Eden Faktörlerin Yapay Örnekler Kullanılarak Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s., Ankara.

- Diamantis, K., Gartzos, E., Migiros, G., 2009. Study on uniaxial compressive strength, point load strength index, dynamic and physical properties of serpentinites from Central Greece: Test results and empirical relations. *Engineering Geology* 108, 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.07.002>
- Doymuş, K., 2016. Korelasyon Analizi. Erişim Tarihi: 05.01.2016. <https://kemaldoymus.files.wordpress.com/2009/12/korelasyon.ppt>
- Edet, A.E., Teme, S.C., 1990. Strength classification of some nigerian limestones using the point load testing technique. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 41, 97–106. <https://doi.org/10.1007/BF02590210>
- Elhakim, A.F., 2015. The use of point load test for Dubai weak calcareous sandstones. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 7, 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.06.003>
- Elkateb, T., 2009. The point load test in the Persian Gulf carbonate rocks. *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* 1, pp. 372- 5.
- Fakir, M., Ferentinou, M., Misra, S., 2017. An Investigation into the Rock Properties Influencing the Strength in Some Granitoid Rocks of KwaZulu-Natal, South Africa. *Geotechnical and Geological Engineering* 35, 1119–1140. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0168-1>
- Fener, M., Ince, I., 2012. Influence of orthoclase phenocrysts on point load strength of granitic rocks. *Engineering Geology* 141–142, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.05.003>
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., Gunaydin, O., 2005. A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 38, 329–343. <https://doi.org/10.1007/s00603-005-0061-8>
- Fereidooni, D., Khajevand, R., 2017. Correlations Between Slake-Durability Index and Engineering Properties of Some Travertine Samples Under Wetting–Drying Cycles. *Geotechnical and Geological Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0376-8>
- Ferentinou, M., Fakir, M., 2017. An ANN Approach for the Prediction of Uniaxial Compressive Strength, of Some Sedimentary and Igneous Rocks in Eastern KwaZulu-Natal. *Procedia Engineering* 191, 1117–1125. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.286>
- Forster, I.R., 1983. The influence of core sample geometry on the axial point-load test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 20, 291–295. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(83\)90599-5](https://doi.org/10.1016/0148-9062(83)90599-5)

- Franklin, J.A., Broch, E., Walton, G., 1971. Logging the Mechanical Character of Rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy 80, 1–9.
- Galvan, M., Preciado, J., Seron, J., 2014. Correlation between the point load index, $I_{s(50)}$, and the resistance to unconfined compression in limestone from the comunidad valenciana, Spain. Acta Geotechnica Slovenica 11, 35–45.
- Geological Society Engineering Group, 1972. The Preparation of Maps and Plans in Terms of Engineering Geology, Q.J. Engineering Geology. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1972.005.04.01>
- Ghosh, D.K., Srivastava, M., 1991. Point-Load Strength : An Index for Classification of Rock Material. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 44, 27–33. <https://doi.org/10.1007/BF02602707>
- Grasso, P., Xu, S., Mahtab, A., 1992. Problems and promises of index testing of rocks, The 33th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 3-5 June, Santa Fe, New Mexico. pp. 879–888.
- Greminger, M., 1982. Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and 19, 241–246. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(82\)90222-4](https://doi.org/10.1016/0148-9062(82)90222-4)
- Guidicini, G., Nieble, C.M., De, C.A.T., 1973. Analysis of point load test as a method for preliminary geotechnical classification of rocks. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 37–52.
- Gunsallus, K.L., Kulhawy, F.H., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts 21, 233–248.
- Gurocak, Z., Solanki, P., Alemdag, S., Zaman, M.M., 2012. New considerations for empirical estimation of tensile strength of rocks. Engineering Geology 144–145, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.06.005>
- Hassani, F.P., Scoble, M.J., Whittaker, B.N., 1980. Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for a new size-correction chart. 21st US Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 28–30 May 1980 543–555.
- Hawkins, A.B., 1998. Aspects of rock strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 57, 17–30. <https://doi.org/10.1007/s100640050017>
- Heidari M., Khanlari G.R., Kaveh, M.T., Kargarian S., 2012. Predicting the Uniaxial Compressive and Tensile Strengths of Gypsum Rock by Point Load Testing. Rock Mechanics and Rock Engineering, 45, 265–273. <https://doi.org/10.1007/s00603-011-0196-8>

- Hiramatsu, Y., Oka, Y., 1966. Determination of the tensile strength of rock by a compression test of an irregular test piece. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 3, 89–90.
- Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 34, 1165–1186. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(97\)80069-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)80069-X)
- ISRM, 1973. Suggested Methods for Determining Point-Load Strength, ISRM Comission of Laboratory Tests, Document 1, pp. 8–12.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, ISRM, pp. 53–60.
- ISRM, 2007. The complete suggested methods for rock character- ization, testing and monitoring: 1974–2006 ISRM. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commis- sion on testing methods. ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara.
- Jabbar, M.A., 2011. Correlstions of Point Load Index and Pulse Velocity With The Uniaxial Compressive Strength for Rocks. *Journal of Engineering* 17, 992–1006.
- JahanGer, Z.K., Ahmed, A.A., 2013. Correlation Between Point Load Index And Very Low Uniaxial Compressive Strength Of Some Iraqi Rocks General Director of Andrea Engineering Test Laboratory. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 7, 216–229.
- Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khamsehchiyan, M., Zarei Sahamieh, R., Abdi, Y., 2016. A correlation between P-wave velocity and Schmidt hardness with mechanical properties of travertine building stones. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 568. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2542-3>
- Jenni, J.P., Balisat, M., 1979. Rock testing methods performed to predict the utilization possibilities of tunnel boring machine. *Proceedings of 4th Congress International Society Rock Mechanics, Montreux* 2, 267-273.
- Jermy C.A., Bell F.G., 1991. Coal bearing strata and the stability of coal mines in South Africa. Paper in *Proceedings of the 7th International Congress on Rock Mechanics International Society Rock Mechanics, Aachen, Germany*, pp. 1125-1131.
- Kabilan, N., Muttharam, M., Elamathi, V., 2017. Prediction of Unconfined Compressive Strength for Jointed Rocks Using Point Load Index Based on Joint Asperity Angle. *Geotechnical and Geological Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0266-0>
- Karaman, K., Kesimal, A., 2012. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Nokta Yüğü Deney Yöntemleri ve Porozitenin Değerlendirilmesi. *Madencilik* 51, 3–14.

- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 38, 981–994. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(01\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(01)00039-9)
- Kahraman, S., 2014. The determination of uniaxial compressive strength from point load strength for pyroclastic rocks. *Engineering Geology* 170, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.12.009>
- Kahraman, S., Gunaydin, O., 2007. Empirical methods to predict the abrasion resistance of rock aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 66, 449–455. <https://doi.org/10.1007/s10064-007-0093-2>
- Kahraman, S., Gunaydin, O., 2009. The effect of rock classes on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 68, 345–353. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0195-0>
- Kahraman, S., Gunaydin, O., Fener, M., 2005. The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 42, 584–589. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.02.004>
- Karaman, K., Kaya, A., Kesimal, A., 2015a. Use of the point load index in estimation of the strength rating for the RMR system. *Journal of African Earth Sciences* 106, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.006>
- Karaman, K., Kesimal, A., Ersoy, H., 2015b. A comparative study of Schmidt hammer test methods for estimating the uniaxial compressive strength of rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 74, 2393–2403. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0617-5>
- Karpuz, C., 1990. A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures. *Mining Science and Technology*, Vol.11, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 157-163.
- Kassim, A., Mohammad, E.T., 2007. Laboratory study of weathered rock for surface excavation works. Research Project Report, VOT 75055. University of Technology, Malaysia, pp. 61.
- Kaya, A., Karaman, K., 2015. Utilizing the strength conversion factor in the estimation of uniaxial compressive strength from the point load index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0721-1>
- Kezhi, S., Huaxun, Y., Kai, A., Qingpo Ml, Z., 2009. Shield Tunneling Rate Prediction Model for Complex Rock Stratum. *Journal of Highway and Transportation Research and Development J. Highway Transp. Res. Dev. English Ed.* 4, 73–76.

- Khanlari, G., Rafiei, B., Abdilor, Y., 2014. Evaluation of strength anisotropy and failure modes of laminated sandstones. *Arabian Journal of Geosciences* 3089–3102. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1411-1>
- Kılıc, A., Teymen, A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67 (2), 237–244. doi:10.1007/s10064-008-0128-3
- Kim, G.M., Kim, D.H., Kang, J.S., Kang, S.S., Baek, H., 2012. A study of the correlation between uniaxial compressive strength and point load strength index of limestone of Imgye area. *Tunnel and Underground Space*; 22 (5), 330e8.
- Kim, H.G., Koh, Y.K., Oh, K.H., 2004. A study on the mechanical properties of the cretaceous tuffs in Goheung area. *The Journal of Engineering Geology* 14, 3, 273-85.
- Kohno, M., Maeda, H., 2012. Relationship between point load strength index and uniaxial compressive strength of hydrothermally altered soft rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 50, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.01.011>
- Koohmishi, M., Palassi, M., 2016. Evaluation of the Strength of Railway Ballast Using Point Load Test for Various Size Fractions and Particle Shapes. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 49, 2655–2664. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-0914-3>
- Kotsanis D, Nomikos PP, Rozos D, Sofianos AI, 2016. Correlations Between Physical Properties And Point Load Strength Index of Prasinites: A Case Study From East Attica Prefecture. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 50, 788–797. <https://doi.org/10.12681/bgsg.11785>
- Li, D., Wong, L.N.Y., 2012. Discussion on “predicting the uniaxial compressive and tensile strengths of gypsum rock by point load testing” by M. Heidari et al., *rock mechanics and rock engineering* (2012) 45:265-273. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 45, 1127–1130. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0260-z>
- Li, D., Wong, L.N.Y., 2013. Point load test on meta-sedimentary rocks and correlation to UCS and BTS. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 46, 889–896. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0299-x>
- Liang, W., Hou, K., Yang, Z., Sun, H., 2015. Evaluation of Uniaxial Compressive Strength by Point Load Tests for Irregular Specimens of Different Rock Types. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 20, 11265–11271.
- Look, B.G., Griffiths, S.G., 2001. An Engineering Assessment of the Strength and Deformation Properties of Brisbane Rocks. *Australian Geomechanics* 36, 17–30.

- Masoumi, H., Horne, J., Timms, W., 2017. Establishing Empirical Relationships for the Effects of Water Content on the Mechanical Behavior of Gosford Sandstone. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 50, 2235–2242. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1243-x>
- Masoumi, H., Saydam, S., Hagan, P.C., 2016. Unified Size-Effect Law for Intact Rock. *International Journal of Geomechanics* 16, 04015059 – (1–15). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000543](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000543)
- McFeat, S, and Tarkoy, P.J., 1979. Assessment of tunnel boring, machine performance. *Tunnels and Tunnelling*, 11 (10), pp. 33-37.
- Min T.K., Moon J.K., 2006. A review of strength estimation method on Ulsan sedimentary rocks. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 22 (8), 63-75.
- Minaeian, B., Ahangari, K., 2017. Prediction of the uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength of weak conglomerate. *International Journal of Geo-Engineering* 8, 19. <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0056-9>
- Mishra, D.A., Basu, A., 2013. Estimation of uniaxial compressive strength of rock materials by index tests using regression analysis and fuzzy inference system. *Engineering Geology* 160, 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.04.004>
- Momeni, A.A., Khanlari, G.R., Heidari, M., Sepahi, A.A., Bazvand, E., 2015. New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks. *Engineering Geology* 185, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.11.012>
- Müftüoğlu, Y.V., 1983. A Study Of Factors Affecting Diggability İn British Surface Coal Mines. Ph.D.Thesis, University of Nottingham, England.
- Norbury, D.R., 1986. The Point Load Test. Geological Society, Engineering Geology Special Publication.
- O'Rourke, J. E., (1988): Rock index properties for geo engineering design in underground development, SME pre- print, 88, 48, 5 p.
- Palassi, M., 2011. Axially confined point load testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 48, 311–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.08.004>
- Palchik, V., Hatzor, Y.H., 2004. The influence of porosity on tensile and compressive strength of porous chalks. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 37, 331–341. <https://doi.org/10.1007/s00603-003-0020-1>
- Panek, L.A., Fannon, T.A., 1992. Size and shape effects in point load tests of irregular rock fragments. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 25, 109–140. <https://doi.org/10.1007/BF01040515>

- Paşamehmetoğlu, A.G., Karpuz, C., Müftüoğlu, Y., Özgenoğlu, A., Bilgin, A., Ceylanoğlu, A., Bozdağ, T., Topper, Z., Dinçer, T., 1988. TKİ Dekapaj İhale Panoları için Makina Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/m³) Saptanması, Jeoteknik ve Performans Verilerinin Değerlendirilmesi, Kazılabilirlik Sınıflama Sisteminin Önerilmesi. Nihai Rapor, ODTÜ, Cilt 1, 150 s.
- Pells, P.J.N., 1975. The use of the point load test in predicting the compressive strength of rock materials. *Australian Geomechanics Journal*, 65, 1, 54-56.
- Pettifer, G.S., Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 27, 145–164.
- Puech A., Beuce J.P., Colliat J.L., 1988. Advances in the design of piles driven into non- cemented to weakly cemented carbonate formations. In: *Proceedings of the International Conference on Calcareous Sediments*, Perth, Australia, 1, 1988. p. 305-12.
- Quane, S.L., Russell, J.K., 2003. Ranking welding intensity in pyroclastic deposits. *European Journal of Mineralogy* 15, 855–864. <https://doi.org/10.1007/s00445-004-0367-5>
- Raj, K., Pedram, R., 2015. Correlations between direct and indirect strength test methods. *International Journal of Mining Science and Technology* 25, 355–360. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.03.005>
- Read, J.R.L., Thornten P.N., Regan W.M., 1980. Arational approach to the poin load test, *Proceeding of 3th Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, Wellington, 2, 35-39.
- Reichmuth, D.R., 1967. Point load testing of brittle materials to determine tensile strength and relative brittleness, *9th Symposium On Rock Mechanics*. pp. 134–160.
- Romana, M., 1999. Correlation between uniaxial compressive and point-load (Franklin test) strength for different rock classess, *9th ISRM Congress*, 25-28 August, Paris, France. pp. 673–676.
- Rusnak, J., Mark, C., 2000. Using the Point Load Test To Determine the Uniaxial Compressive Strength of Coal Measure Rock, *Proceedings of the 19th International Conference on Ground Control in Mining*, August 8-10, 2000, Morgantown, West Virginia, pp. 362–371.
- Rusnak, J.A., 1998. Application of the Coal Mine Roof Rating, Derived from Drill Core, In the Roof Support Design of a Coal Belt Conveyor Tunnel. *Proceedings of the 17th International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, West Virginia, pp. 221-230.

- Russell, A.R., Wood, D.M., 2009. Point load tests and strength measurements for brittle spheres. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 46, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.04.004>
- Sabatakakis N., Koukis G., Tsiambaos G., Papanakli S., 2009. Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 97, 80–90.
- Santi, P.M., 2006. Field methods for characterizing weak rock for engineering. *Environmental and Engineering Geoscience*, XII (No. 1), 1–11.
- Salah, H., Omar, M., Shanableh, A., 2014. Estimating Unconfined Compressive Strength of Sedimentary Rocks in United Arab Emirates from Point Load Strength Index. *Journal of Applied Mathematics and Physics* 2, 296–303. <https://doi.org/10.4236/jamp.2014.26035>
- Saliu, M.A., Shehu, S.A., 2014. Assessment of Excavation Method of Obajana and Ewekoro Limestone Deposits. *Earth Sciences* 3, 42–49. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20140302.12>
- Selçuk, L., Gökçe, H.S., 2015. Estimation of the compressive strength of concrete under point load and its approach to strength criterions. *KSCE Journal of Civil Engineering* 19, 1767–1774. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-1303-2>
- Sheshde, E.A., Cheshomi, A., 2015. New method for estimating unconfined compressive strength (UCS) using small rock samples. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 133, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.06.022>
- Singh, D.P., 1981. Determination of some engineering properties of weak rocks, *Proceeding of International Symposium on Weak Rock*, Tokyo, 21-24.
- Singh, T.N., Kainthola, A., Venkatesh, A., 2012. Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 45, 259–264. <https://doi.org/10.1007/s00603-011-0192-z>
- Singh, V.K., Singh, D.P., 1993. Correlation between point load index and compressive strength for quartzite rocks. *Geotechnical and Geological Engineering* 11, 269–272. <https://doi.org/10.1007/BF00466369>
- Smith, H.J., 1997. The Point Test for Weak Rock in Dredging Applications. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 34.
- Sönmez, H., Osman, B., 2008. The Limitations of Point Load Index for Predicting of Strength of Rock Material and a New, 61. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*.
- Sundara, P.A., 2009. Correlation between uniaxial compressive strength and point-load index strength. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Tahir, M., Mohammad N., Din F., 2011. Strength parameters and their inter-relationship for limestone of Cherat and Kohat areas of Khyber Pakhtunkhwa. *Journal of Himalayan Earth Sciences* 44, 2, 45–51.
- Taşkoparan, Ö., 2001. Ölçmede Hata ve Hata Çeşitleri. Erişim Tarihi: 16.03.2011. <https://taskoparan.wordpress.com/2011/03/16/olcmede-hata-ve-hata-cesitleri/>
- Thuro, K., Plinninger, R.J., 2001. Scale effects in rock strength properties. Part 2: Point load test and point load strength index. *ISRM Regional Symposium Eurock 2001 “Rock Mechanics A Challenge for Society”*. pp. 175–180.
- Topal, T., 2000. Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler. *Jeoloji Mühendisliği* 24, 73–86.
- TS EN 12372, 2013. Doğal taşlar - Deney yöntemleri – Yoğun yük altında eğilme dayanımı tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 13161, 2010. Doğal taşlar - Deney yöntemleri – Sabit moment altında eğilme dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 13755, 2014. Doğal taşlar - Deney metotları - Atmosfer basıncında su emme tayin, TSE, Ankara.
- TS EN 14157, 2017. Doğal taşlar - Deney metotları – Aşınma direncinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 14579, 2006. Doğal taşlar - Deney metotları – Ses hızı ilerlemesinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 15309, 2007. Atıkların ve toprağın nitelendirilmesi - X ışını floresans yöntemi kullanılarak elementel bileşimin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1926, 2013. Doğal taşlar - Deney yöntemleri – Tek eksenli basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1936, 2010. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, TSE, Ankara.
- Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 2004. Considerations on strength of intact sedimentary rocks. *Engineering Geology* 72, 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2003.10.001>
- Tsiambaos, G., Saroglou, H., 2010. Excavability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 69, 13–27. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0235-9>
- Tsidzi, K.E.N., 1991. Point load-uniaxial compressive strength correlation, *Proceeding of 7th ISRM Congress, Aachen, Germany*, 1, 637-639.

- Tuğrul, A., Zarif, I., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology* 51, 303–317. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4)
- Turk, N., Dearman, W.R., 1985. Improvements in The Determination of Point Load Strength. *Bulringetin of The International Association of Engineering Geology*.
- Tziallas, G.P., Tsiambaos, G., Sarglou, H., 2009. Determination of rock strength and deform ability of intact rocks. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* , 14, 1-12.
- Ukşal, A., 2014. Sporda performansı etkileyen faktörler. Erişim Tarihi: 14.02.2014. <http://www.kayseriehaber.com/sporda-performansi-etkileyen-faktorler-makale,1906.html>
- Ulusay, R., Tureli, K., Ider, M.H., 1994. Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its pet- rographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology*, 37, 135–157.
- Vallejo, L.E., Welsh, R.A.J., Robinson, M.K., 1989. Correlation Between Unconfined Compressive And Point Load Strengths For Appalachian Rocks. *The 30th U.S. Symposium on Rock Mechanics* 1–2.
- Vervoort, A., De Wit, K., 1997. Correlation between dredgeability and mechanical properties of rock. *Engineering Geology* 47, 259–267.
- Wei, X.X., Chau, K.T., 2002. Analytic Solution for Finite Transversely Isotropic Circular Cylinders under the Axial Point Load Test. *Journal of Engineering Mechanics* 128, 209–219. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93992002128:2209>
- Wei, X.X., Chau, K.T., Wong, R.H.C., 1999. Analytic solution for axial point load strength test on solid circular cylinders. *JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS* 125, 1349–1357.
- Wijk, G., 1980. The Point Load Test for the Tensile Strength of Rock. *Geotechnical Testing Journal* 3, 49–54. <https://doi.org/10.1520/GTJ10902J>
- Wijk, G., Rehbinder, G., Lögdstöm, G., 1978. The relation between the uniaxial tensile strength and the sample size for bohús granite. *Rock Mechanics Felsmechanik Mecanique des Roches* 10, 201–219. <https://doi.org/10.1007/BF01891959>
- Wong, R.H.C., Chau, K.T., Yin, J.H., Lai, D.T.W., Zhao, G.S., 2017. Uniaxial compressive strength and point load index of volcanic irregular lumps. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 93, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.02.010>

- Yarali, O., Soyer, E., 2013. Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks. *Tunnelling and Underground Space Technology* 33, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.08.010>
- Yenice, H., 2002. Bazi Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımları İle Diğer Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 4, 65–71.
- Yesiloglu-Gultekin, N., Gokceoglu, C., Sezer, E.A., 2013. Prediction of uniaxial compressive strength of granitic rocks by various nonlinear tools and comparison of their performances. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 62, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2013.05.005>
- Zacoeb, A., Ishibashi, K., 2009. Point Load Test Application for Estimating Compressive Strength of Concrete Structures From Small Core. *Asian Research Publishing Network Journal of Engineering and Applied Sciences* 4, 46–57.
- Zhang, X.-P., Wu, S., Afolagboye, L.O., Wang, S., Han, G., 2016. Using the Point Load Test to Analyze the Strength Anisotropy of Quartz Mica Schist Along an Exploration Adit. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 49, 1967–1975. <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0792-0>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Deniz AKBAY

Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : denizakbay@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Aydın Adnan Menderes Anadolu Lisesi

Lisans : İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Müh. Böl.

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği

Mesleki Deneyim

PSG Mühendislik Ltd. Şti. 2010-2011

SDÜ Mühendislik Fak. Maden Müh. Böl. 2011 (halen)

Yayınları

Akbay D., Şengün N., Altındağ R., Demirdağ S., “Doğal Taşların Tuz Kristallenmesine Karşı Direncinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile İlişkisinin İncelenmesi”, MERSEM’2018 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, s. 411-420, 13-15 Aralık 2017, Antalya/Türkiye.

Altındağ R., Uğur İ., Şengün N., Akbay D., Demirdağ S., Coşkun A., Sert M., “Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Güneş Işığını Yansıtma İndeks Değerlerindeki Değişimin İncelenmesi”, MERSEM’2018 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, s. 395-400, 13-15 Aralık 2017, Antalya/Türkiye.

Ekincioglu G., Güney A., Akbay D., Altındağ R., “Dairesel Testereli Kesme Makinelerinin Saatlik Üretim Miktarının Mermer Yüzey Sertliğine Bağlı Olarak Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Regresyon Analizleri (RA) İle Tahmin

Edilmesi", MERSEM'2018 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, s. 87-96, 13-15 Aralık 2017, Antalya/Türkiye.

Altındag R., Ugur I., Sengun N., Akbay D., Demirdag S., Coskun A., Sert M., Investigation of the solar reflection index values changes of some carbonate rocks depending on the surface properties, "Natural stone for cultural heritage: local resources with a global impact", 26-27, 19-22 September 2017, Prague/Czech Republic.

Akbay D., Altındag R., Sengun N., Demirdag S., Uğur I., "Operating and Maneuver Time Analysis of Tunnel Machineries Used in Altan Ayağ T3 Tunnel in Antalya District", International Black Sea Mining & Tunnelling Symposium, 115-125, 2-4 November 2016, Trabzon/Turkey.

Altındag R., Akbay D., Sengun N., Demirdag S., Uğur I., Mutluturk M., "Underground Structures in Turkey and Their Place in Engineering Education", International Black Sea Mining & Tunnelling Symposium, 369-377, 2-4 November 2016, Trabzon/Turkey.

Tufekci K., Demirdag S., Sengun N., Altındag R., Akbay D., "A new design test apparatus for determining direct tensile strength of rocks", EUROCK 2016 Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future, ISBN 978-1-138-03265-1, 295-300, 29-31 August 2016, Cappadocia/Turkey.

Altındağ R., Akbay D., Şengün N., Demirdağ S., Uğur İ., "Türkiye'de Yeraltı Yapıları ve Mühendislik Eğitiminde Yeri", 1. Ulusal Tünelcilik ve Yer Altı Yapıları Kongresi, 775-786, 26-28 Mayıs 2016, Ankara/Türkiye.

Altındag R., Sengun N., Ugur I., Akbay D., Demirdag S., "Evaluation of the mechanical excavation methods used in underground openings in Turkey", 6th International Symposium on Tunnels and Underground Structures in SEE 2016, 16-18 March 2016, Split/Croatia.

Akbay D., Uğur İ., Demirdağ S., Şengün N., Altındağ R., "Investigation of some mechanical properties of rocks under the effect of different body temperatures", EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium, 45-50, 7-10 October 2015, Salzburg/Austria.

Şengün N., Demirdağ S., Akbay D., Uğur İ., Altındağ R., "The effect of rock properties on the capillary water absorption coefficients of the different natural stone types", EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium, 571-576, 7-10 October 2015, Salzburg/Austria.

Akbay D., Şengün N., Demirdağ S., Altındağ R., Uğur İ., "Bazı Doğal Taşların Farklı Koşullar Altında Dayanım Değerlerinin Değişiminin İncelenmesi", IMCET-2015 Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 710-717, 14-17 Nisan 2015, Antalya/Türkiye.

- Sengun N., Demirdag S., Ugur I., Akbay D., Altindag R., "Assessment of the physical and mechanical variations of some travertines depend on the bedding plane orientation under physical weathering conditions", Construction and Building Materials, 98 (2015) 641–648, 2015.
- Demirdag S., Sengun N., Ugur I., Efe T., Akbay D., Altindag R., "Variation of vertical and horizontal drilling rates depending on some rock properties in the marble quarries", International Journal of Mining Science and Technology, Volume 24, Issue 2, Pages 269–273, 2014.
- Efe T., Akbay D., Demirdag S., Sengun N., Altindag R., Ugur I., Mutluturk M., "Investigation of The Cutting Performance of Some Carbonate Rocks with Circular Diamond Sawing Machine", 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS8), 14-16 October 2014, Sapporo/Japan.
- Akbay D., Altındağ R., "An Investigation of Different Drill Bits and Drilling Angles in Blast Hole Drilling", The 2014 ISRM European Rock Mechanics Symposium (EUROCK 2014) - Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses, 1033-1038, 27-29 May 2014, Vigo/Spain.
- Akbay D., Koççaz C.E., Altındağ R., Uğur İ., Varol M., "Doğal Taşların Nokta Yük Dayanım İndeks Değerlerinin Sıcaklık Etkisine Bağlı Olarak Değişimi", KAYAMEK'2014-XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 381-389, 7-9 Mayıs 2014, Afyonkarahisar/Türkiye.
- Akbay D., Altındağ R., "Antalya-Kemer-Tekirova Güzergahında Açılan Altan Ayağ Tüneli (T3 Tüneli) Kaya Saplaması Uygulaması Delik Delme Performans Analizi", 3. Uluslararası Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu, 239-254, 29-30 Kasım 2013, İstanbul/Türkiye.
- Sengun N, S. Demirdag, Akbay D., Ugur I., Altindag R., Akbulut A., "Investigation of The Relationships Between Capillary Water Absorption Coefficients and Other Rock Properties of Some Natural Stones", V. Dünya Doğaltaş Kongresi, 22-25 Ekim 2014, Antalya/Türkiye.
- Akbay D., Efe T., Şengün N., Demirdağ S., Altındağ R., Koççaz C.E., "Donma-Çözülme ve Termal Şok Koşullarının Bazı Mermerler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", MERSEM'2012 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, 215-226, 13-15 Aralık 2012, Afyonkarahisar/Türkiye.
- Efe T., Akbay D., Demirdağ S., Şengün N., Altındağ R., Uğur İ., "Bej Mermerlerde Epoksi Uygulamasının Atmosferik Şartlar Altında Kayacın Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi", MERSEM'2012 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, 463-470, 13-15 Aralık 2012, Afyonkarahisar/Türkiye.