



**T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAROT BOĞMA DENEYİ (CST)' NİN BOŞLUKLU KAYALARDA
KURU VE YAŞ KOŞULLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE
ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FATİH GÜLMEZ
201592081413**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Işık YILMAZ

**SİVAS
Eylül, 2019**

Fatih GÜLMEZ' in hazırladığı “**KAROT BOĞMA DENEYİ (CST)' NİN BOŞLUKLU KAYALARDA KURU VE YAŞ KOŞULLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Işık YILMAZ

(Tez Danışmanı)

Doç.Dr. İnan KESKİN

(Jüri Üyesi)

Dr.Öğr.Üyesi Yavuz GÜL

(Jüri Üyesi)

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

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)' nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M- 738 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Fatih GÜLMEZ, 2019

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

26.08.2019

Fatih GÜLMEZ

ÖZET

KAROT BOĞMA DENEYİ (CST)' NİN BOŞLUKLU KAYALARDA KURU VE YAŞ KOŞULLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA

Fatih GÜLMEZ

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2019, 35 + XII sayfa

Kayalar genelde farklı ve değişken dayanımlar ve davranışlar sergilerler. Bu nedenle tasarım projelerinin hazırlanması aşamasında kayaların kendine özgü durumları dikkate alınmalıdır. Kayaların dayanım parametreleri tek eksenli basınç, üç eksenli basınç, çekme, disk makaslama ve dolaylı olarak, blok zımbalama, Schmidt deneyi, nokta yük gibi deneylerle bulunur. Bazı durumlarda, yeterli yüksekliğe sahip standart numunelerin elde edilemesi mümkün olmamaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş olan Karot Boğma Deneyi (CST) bu durumlarda dayanımın dolaylı olarak belirlenmesine olanak tanımaktadır. Bu deney yöntemi özellikle gerekli karot boyundan daha küçük karot numunelerinin tek eksenli basınç ve çekme dayanımının dolaylı olarak belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş yeni bir yöntemdir. CST ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda ilgili yöntemi ile elde edilen dayanım sonuçlarının boşluklu kayalarda kuru ve yaş koşullarda kullanılabilirliği üzerine bir araştırma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Karot Boğma Deneyi (CST)' nin boşluklu kayalarda kuru ve yaş koşullarda kullanılabilirliği ve performansı araştırılmıştır. Çalışmada, yüksek bir performans elde edilmiş olup, nokta yükle karşılaştırıldığında CST 'nin dayanım belirlemede hatayı önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kaya, tek eksenli basınç dayanımı, su içeriği, karot boğma deneyi (CST).

ABSTRACT

A RESEARCH ON THE USEFULLNESS OF THE CORE STRANGLE TEST (CST) ON THE POROUS ROCKS IN WET AND DRY CONDITIONS

Fatih GÜLMEZ

Master of Science Thesis, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2019, 35 + XII pages

In nature, rocks show generally the hard rock characteristics, and some of them has the characteristics of soft rock. Therefore, the characteristics of the rocks must be taken into the consideration during the design process. The strength of the rocks can be measured by the direct tests of uniaxial, triaxial, tensile, and indirect test of disc shear, block punch, Schmidt, point load, etc. In some cases, standard core samples having a sufficient height cannot be obtained because of the rock mass properties. In this conditions, Core Strangle Test (CST) allows to determine the strength indirectly. This testing method had been proposed to determine uniaxial compressive and tensile strength indirectly especially for the smaller cores than needed core size. There is no research on the performance of CST on the porous rocks in dry and wet conditions. In this thesis, the performance of the Core Strangle Test (CST) on the porous rocks in dry and wet conditions were researched. A higher performance was obtained, and *CST* led to considerably lower errors in determining the strength when compared with the results obtained from point load index.

Key words: Rock, uniaxial compressive strength, water content, Core Strangle Test (CST).

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin tez konusunun belirlenmesini sağlayan, çalıőmalarım süresince bana titizlikle ve sabırla destek sağlayan, bilgi, deneyim ve kaynaklarından yararlandığım, sayın hocam Prof. Dr. Işık YILMAZ 'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez kapsamındaki laboratuvar çalıőmalarım ve yazım aőamalarında, fikirlerinden faydalandığım Jeo. Yük. Müh. Mustafa YILDIRIM 'a verdiği katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen AİLEME sonsuz teşekkür ederim.

İnő. Müh. Fatih GÜLMEZ

2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	7
2.1 Numunelerin Hazırlanması	8
2.2 Deneysel Yöntemler	11
2.2.1 İndeks Özelliklerin Belirlenmesi	11
2.2.2 Ultrasonik Hız Deneyi	12
2.2.3 Nokta Yük Dayanım Deneyi	13
2.2.4 Tek Eksenli Basınç Deneyi (UCS)	15
2.2.5 Karot Boğma Deneyi (CST)	17
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	23
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	35

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Blokların alındığı traverten ocağının konumu	7
Şekil 2.2. Traverten ocağı işletmesi ve stok sahası	7
Şekil 2.3. Traverten ocağında istiflenmiş traverten blokları	8
Şekil 2.4. Numunelerin alındığı 30x30x30 cm ölçülerindeki bloklar ve NX çapında karot alınmış blok	8
Şekil 2.5. Numunelerin karot makinasıyla kesilmesi ve istiflenmesi	9
Şekil 2.6. Karot numunesinin kesilmesi	9
Şekil 2.7. Karot numunenin aşındırma makinesi ile düzeltilmesi	10
Şekil 2.8. Karot numunelerinin numaralandırılarak deney öncesi hazır hale getirilmesi	10
Şekil 2.9. Deneyde kullanılan Ultrasonik Dalga Hızı Test Cihazı	12
Şekil 2.10. Nokta Yükleme Deney Düzenegi	13
Şekil 2.11. Çapsal Nokta Yük Dayanım Deneyi	14
Şekil 2.12. Tek Eksenli Serbest Basınç Deneyi	15
Şekil 2.13. Nokta yük dayanım deneyi (a) ve CST (b) deneyinde yükleme	17
Şekil 2.14. CST deney aleti	18
Şekil 2.15. Deney aletinde yükleme bölümünün genel görünümü	18
Şekil 2.16. Deney aletinin yükleme bölümünün plan, kesit görünümü ve temel parçaları	19
Şekil 2.17. Yükleme esnasında yük aktarma halkası ve yükleme başlıklarının konumunun değişimi	20
Şekil 2.18. CST deney aleti	21
Şekil 2.19. CST aleti ile deneyin yapılışı ve yenilme sonrasında numunenin durumu	22
Şekil 3.1. Kuru ve yaş numuneler için elde edilen UCS değerleri arasındaki ilişki	26
Şekil 3.2. Kuru ve yaş numuneler için elde edilen Is değerleri arasındaki ilişki	27
Şekil 3.3. Kuru ve yaş numuneler için elde edilen CSI değerleri arasındaki ilişki	28
Şekil 3.4. Is – UCS Deneylerinin karşılaştırılması grafiği	29

Şekil 3.5.	CSI – UCS Deneylelerinin karşılaştırılması grafiği	29
Şekil 3.6.	Is – UCS Deneylelerinin karşılaştırılması grafiği	30
Şekil 3.7.	CSI – UCS Deneylelerinin karşılaştırılması grafiği	31



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Karot örneğinin alındığı bloktaki delik çapı ve alınan karotun çapı	2
Tablo 1.2. ISRM (2007) 'ye göre Minimum ve Maksimum Karot Boyutları	2
Tablo 3.1. Deney sonuçlarının temel istatistiksel değerlendirmeleri	23
Tablo 3.2. Nokta Yük Dayanım Deneyinden elde edilen sonuçlar	24
Tablo 3.3. UCS Deneylerinde elde edilen sonuçlar	24
Tablo 3.4. CST Deneylerinde elde edilen sonuçlar	25
Tablo 3.5. Denklemler üzerinden hesaplanan Kuru UCS verileri	32
Tablo 3.6. Denklemler üzerinden hesaplanan Yaş UCS verileri	32

1. GİRİŞ

Kayaçların dayanım parametreleri; taşıma gücünü hesaplarken, kayaların kullanım alanlarını belirlerken, kaya sınıflandırması yaparken, kazı yöntemini, kazı sonrası şev duraylılığını, tünellerde tavanın göçmeden tahkimatsız durabilirliği ve açıklığını hesaplayabilmek için, madenlerde delme patlatma işlemleri yapılırken kayanın kazılabilirliğini belirlemek ve böylece ekonomik ve güvenli iş ve imalatların yapılmasının sağlanmasında ve diğer inşaa işlerinin hesaplarında bir parametre olarak kullanılmaktadır.

Kayaç dayanım parametrelerinin bulunmasında çeşitli metotlardan yararlanır. En çok kullanılan metotlardan birisi de Tek Eksenli Basınç Deneyi (Uniaxial Compressive Strength Test - UCS)' dir. Tek eksenli serbest basınç dayanım deneyi, kaya malzemesi örneğine ait dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan bir deney metodudur.

ISRM 2007 'ye göre Tek Eksenli Serbest Basınç Deneyi için minimum AX (30 mm) çapında, boy/çap oranı 2,5-3,0 (ASTM (1984) için 2,0-2,5) sayısal değerinde hazırlanmış olan kaya karot numunelerine ihtiyaç vardır. Numunelerin alt ve üst kısımları 0.02 mm duyarlılıkta birbirine paralel olmalı ve yan yüzeylerinde görünen bir kırılma ve çatlak olmamalıdır. Karot çaplarına göre olması gereken karot boyutları Tablo 1.1' de verilmiştir.

Ancak standart kayaç numunesi elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumlar genellikle düşük dayanımlı, karot ile kesildiği esnada parçalanabilen zayıf yapılı kayaçlarda gözlenmektedir.

Tek eksenli basınç deneyinin uygulanamadığı durumlarda dolaylı yöntemler üzerinden deneyler yapıp her deneyin kendine özgü formülleriyle tek eksenli dayanım değerine ulaşılmaya çalışılır. Sonuçlar birbirine tamamen eşit olmasa da yakın değere ulaşıldığı daha önce yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Standart numune elde edilemeyen durumlarda kaya malzemesinin dayanımının bulunmasında en çok Nokta Yük Dayanım Deneyi ve sonrasında da Schmidt Çekici Deneyi, Shore Skleroskobu Deneyi, Blok Zımbalama Deneyi, Dolaylı Çekme Dayanım Deneyi, Ultrasonik Hız Deneyi ve son olarak ağırlıkla üzerinde duracağımız en yeni deney yöntemi olan ve Yılmaz (2009) tarafından önerilmiş olan Karot Boğma Deneyi (Core Strangle Test - CST) kullanılmaktadır.

Tablo 1.1. Karot örneğinin alındığı bloktaki delik çapı ve alınan karotun çapı
(Yılmaz, 2000' den)

Boru Tipi	Delik Çapı (mm)	Karot Çapı (mm)
ZX	199,3	165,1
UX	173,9	139,7
SX	145,2	112,0
PX	120,0	92,1
HX	98,9	76,2
NX	75,4	54,0
BX	59,5	41,3
AX	47,5	30,2
EX	37,4	20,6
XRT	29,5	17,5

Tablo 1.2. ISRM (2007)' ye göre önerilen minimum ve maksimum Karot Boyutları
(Ulusay vd., 2011)

Karot Tipi (Çapı, mm)	En Kısa Boy (mm)	En Uzun Boy (mm)
AX (30,0)	75,0	90,0
BQ (36,5)	91,3	109,5
BX (42,0)	105,0	126,0
NQ (47,6)	119,0	142,8
NX (54,7)	136,8	164,1

Nokta yük dayanım deneyi, deney düzeneğinin kolaylıkla taşınabilir oluşu, arazide kolayca uygulanabilir oluşu ve beraberinde maliyetinin düşük oluşu nedenleriyle yaygın kullanılan bir metottür. Ancak günümüzde dolaylı yöntemlerin üzerine birçok çalışma yapılmış ve bu yöntemlerin sakıncalı ve sınırlı kaldığı durumlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Başlıca sorunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Nokta yük dayanım deneyi' nde başlıca problemler:

- 1) Kayaçlar genellikle anizotrop özelliktedirler. Süreksizlerin yükleme yönü ile farklı açılar yapabiliyor oluşu geçersiz yenilmelere neden olmaktadır ve

deneyin defalarca tekrarlanması gerekir. Yani çok miktarda numuneye ihtiyaç vardır.

- 2) Yükleme alanı çok küçük olduğundan gerçek dayanım değerine ulaşmak için çok sayıda deney yapmak gerekir. ISRM 2007' ye göre en az 10 numune ile deney tekrarlanmalıdır.
- 3) Konik uçlar arasına yerleştirilen numunenin basınç yükü uygulanırken kayması ve akabinde numunenin hasar alarak tahlil dışında kalmasına neden olmaktadır. Bununla beraber kayaç yapısından ötürü deneyler yapıldığı esnada geçersiz kırılma şekli oluşan numuneler meydana gelmektedir. Bu da numune sayısını artıran bir etkidir (Topal, 2000).

Schmidt Çekici Deneyi için başlıca problemler:

- 1) Nokta yük dayanım deneyinde olduğu gibi deneyin yapıldığı yükleme alanı çok küçüktür. Bu nedenle çok sayıda deneyin yapılması gerekmektedir.
- 2) Uygulamanın yapıldığı kayacın test sırasında titreşime maruz kalması ve kayacı kayması test değerini çok büyük miktarda değiştirmektedir.
- 3) Test çekicinin uygulama yönüne göre farklı grafikler ve ampirik formüllerle serbest basınç dayanım değerinin tahmini yapılır.
- 4) Numune üzerindeki pürüzler test değerini etkiler.
- 5) Çekicinin kalibrasyonuna çok dikkat edilmelidir.

Shore Skleroskopu Deneyi için başlıca problemler:

- 1) Test değerlerinin ortalamasının alınarak hesaplamaların yapılması kayacın anizotrop ve heterojen oluşundan ötürü gerçek dayanım değerlerinden uzaklaşılabilir.

Blok Zımbalama Deneyi için başlıca problemler:

- 1) Deney numunesi ince ve dairesel olması gerektiğinden uygulanması için özel laboratuvar ortamlarına ihtiyaç vardır.

- 2) Nokta yük dayanım deneyinde olduğu gibi geçersiz yenilmeler meydana gelebilmekte ve fazlaca numuneye ihtiyaç duyulabilmektedir.
- 3) Doğru test sonucuna ulaşabilmek için tekrarlı deney yapılması gerekir ve fazlaca numuneye ihtiyaç bulunmaktadır.

Dolaylı Çekme Dayanım Deneyi için başlıca problemler:

- 1) Deney için kullanılacak numuneler en az NX (54,7 mm) çapında standart ölçülere sahip karot numuneler oluşur.
- 2) Numunelerin kalınlıkları karot yarıçapına eşit olmalıdır. Bu nedenle karot çapına göre özel boyutta numune hazırlanması gerekmektedir.
- 3) Karot boyutları özel uğraşı gerektirdiğinden test toplam süresi uzundur.

Yukarıda belirtildiği üzere dolaylı yöntemlerin birçok sınırlayıcı özelliği bulunmaktadır. Son yıllarda literatürde yer edinen Yılmaz (2009)' ın geliştirdiği Karot Boğma Deneyi' nde yukarıdaki problemleri azaltan bir çalışma sunulmuştur. Bu deney karotun eksenine dik ve karotun dairesel düzlemi boyunca yükleme yapılarak gerçekleştirilir.

Yöntemin avantajları Yılmaz (2009)' a göre aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- 1) Deney, karot eksenine dik bir çember boyunca uygulanan basınç kuvveti ile gerçekleştirildiğinden karot uzunluğunun karot çapı kadar olması yeterlidir. Bu nedenle karot boyutunu önemi büyük oranda azalmaktadır.
- 2) Uygulama yüzeyi karotun çapı olduğundan ötürü karotun alt ve üst kısmının düzgün ve birbirine paralel olması bu yöntemde önemli değildir.
- 3) Nokta yük dayanım deneyi ve Schmidt çekici deneyinde yükleme noktasal uygulanır ve deney defalarca tekrarlanarak değerlendirme yapılırken, bu yöntemde disk şeklinde yapılmış yükleme sonsuz sayıda noktaya karşılık gelmektedir ve tek bir deneyin yapılması yeterlidir. Bu yönüyle hem zamandan hem de az numune ihtiyacından dolayı avantajlı bir yöntemdir.

- 4) Nokta yük dayanım deneyinde geçersiz yenilmeler meydana gelirken, CST 'de numuneye disk şeklinde yükleme yapıldığından deney sonunda geçersiz yenilmeye maruz kalmış bir numune ile karşılaşılmaz.
- 5) CST deney aleti taşınabilir olduğundan karot teminin yapıldığı bir konumda da CST deneyi gerçekleştirilebilir. Diğer bir deyişle CST deneyi arazide de yapılabilir. Laboratuvar ortamında uygulanmasına yönelik gibi bir zorunluluk yoktur.

CST, yeni bir deney metodu olduğundan bu yöntem üzerine yapılmış çalışmalar da fazla değildir. Farklı tip ve özelliklerdeki kayaçlarda uygulanabilirliğine yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bu zamana kadar yapılan çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Yılmaz (2009), Karot Boğma Deneyi' ni (CST) bilim dünyasına kazandıran araştırmacı bu yeni yöntemi tanıtmış; dolaylı yöntemlerden olan Nokta Yük Dayanım Deneyi, Schmidt Çekici Deneyi, Shore Skleroskobu Deneyi, Blok Zımbalama Deneyi, Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanım Deneyi, Ultrasonik Hız Deneyi yöntemlerinin birbirleriyle olan ilişkileriyle birlikte olumsuz ve sınırlayıcı özelliklerini açıklamıştır. Nokta Yük Dayanım Deneyi, Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi ve Karot Boğma deneylerini jips, mermer, kumtaşı, volkanik (granit, andezit ve bazalt) kullanarak yapmış, sayısal değerlerle ve grafiklerle karşılaştırmalar yaparak CST 'nin güvenilirliğini açıklamıştır. Yeni deney yönteminin avantajlarından bahsetmiştir.

Yılmaz (2010), Karot Boğma Deneyi (CST) ile Dolaylı (Brazilian) Çekme Dayanımı Deneyi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda CST 'nin Dolaylı çekme dayanımı deneyine göre daha performanslı sonuç verdiği görmüştür. Nokta yük dayanım deneyi ile karşılaştırıldığında UCS' ye daha yakın sonuçlara ulaşmıştır. UCS ve CST için RMR ve M-RMR değerleri bir grafikte birleştirilerek CST 'ye yönelik bir sınıflandırma tablosu vermiştir.

Yücel (2012), Karot Boğma Deneyi (CST)' nin kayalarda dayanım anizotropisinin belirlenmesinde kullanılabilirliği ve performansının değerlendirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Farklı anizotropi açılarında numunelerle Serbest Basınç Dayanımı (UCS), Karot Boğma Deneyi (CST), Nokta Yük Dayanım Deneyi ve Dolaylı Çekme Dayanım deneyleri yapılmıştır. Farklı açılarda deneylere göre dayanım değerinin değişimi ve birbirlerine olan üstünlükleri incelenmiştir. Anizotropi açısının 45° 'den yüksek

olduğu durumlarda dolaylı yöntemlerin UCS ile uyumlu değerlere sahip olduğu, 45° nin altındaki açılarda ise hata payının arttığı ve bu açının alt değerleri için dolaylı yöntemlerden kaçınılması gerektiği belirtilmiştir.

Yılmaz vd. (2014), Anizotropinin belirlenmesinde Karot Boğma Deneyi' nin (CST) faydasını değerlendirmek ve doğruluğunu ispatlamak için Nokta Yükleme Deneyi, Dolaylı (Brazilian) Çekme Dayanımı Deneyi, Serbest Basınç Deneyi ve Karot Boğma Deneyi yöntemleri ile karşılaştırılmalar yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda CST' nin kuvvet anizotropisinin belirlenmesinde oldukça düşük hata payı ile sonuçlara ulaştığı görülmüştür. Beraberinde kuvvet anizotropisinin belirlenmesinde dolaylı yöntem olarak kullanılabileceği bulmuştur.

Yılmaz (2018), Karot Boğma Deneyi 'nin gözenekli (boşluklu) kayalarda uygulanabilirliğini ve performansını gösteren bir çalışma yapmıştır. Çalışmada traverten kullanılmıştır. Kaya üzerindeki gözeneklerin kayaların dayanım gücünü önemli seviyede etkilediği deney verileriyle çizilen grafikler yardımıyla göstermiştir.

CST oldukça yeni bir yöntem olmasından dolayı, farklı su içeriğine sahip boşluklu kayalardaki performansı henüz çalışılmamış olmakla birlikte açıklığa kavuşmamıştır. Bu tez çalışmasında ise bu yeni deney yöntemine ilişkin olarak henüz ortaya konulmamış olan, farklı su içeriklerine sahip boşluklu kayalarda CST' nin uygulanabilirliği ve performansının araştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında kullanılan numuneler, Sivas şehir merkezinin batısında yer alan Sıcak Çermik civarında yer alan travertenlerden alınan bloklardan elde edilmiştir. Traverten ocağı, Sivas – Yıldızeli şehir merkezleri arasında D200 karayolu üzerinde kurulu olup Sivas şehir merkezine yaklaşık 30 km, Yıldızeli ilçe merkezine de yaklaşık 15 km mesafe konumundadır (Şekil 2.1, 2.2, 2.3).



Şekil 2.1. Blokların alındığı traverten ocağının konumu



Şekil 2.2. Traverten ocağı işletmesi ve stok sahası



Şekil 2.3. Traverten ocağında istiflenmiş traverten blokları (Özmersan A.Ş.)

2.1. Numunelerin Hazırlanması

ÖZMERSAN A.Ş.' den alınan 30x30x30 cm ölçülerindeki traverten numuneler (Şekil 2.4) Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarına getirilmiştir. Blok numunelerden NX çapında 30 cm boyunda yaklaşık yüz adet karot numuneler alınmıştır (Şekil 2.5). Alınan numuneler ASTM (1984)' ye uygun olarak yapılacak deneylerde kullanmak üzere kesme makinasıyla uygun boyutlara getirilmiş (Şekil 2.6), son olarak karot numunelerin alt ve üst yüzeyleri numune yüzey aşındırma makinasıyla (Şekil 2.7) birbirlerine paralel ve karot eksenine dik olacak şekilde numunelerin uçları 0,02 mm hassasiyetle düzeltilmiş numaralandırılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.4. Numunelerin alındığı 30x30x30 cm ölçülerindeki bloklar ve NX çapında karot alınmış blok



Şekil 2.5. Numunelerin karot makinasıyla kesilmesi ve istiflenmesi



Şekil 2.6. Karot numunesinin kesilmesi



Şekil 2.7. Karot numunenin aşındırma makinesi ile düzeltilmesi



Şekil 2.8. Karot numunelerinin numaralandırılarak deney öncesi hazır hale getirilmesi

2.2. Deneysel Yöntemler

Boşluklu kayaçlarda kuru ve yaş numuneye göre tek eksenli basınç dayanımının değişimi üzerine çeşitli yöntemlerle deneyler yapılmış ve sonrasında CST ile karşılaştırmalar yapılarak CST 'nin boşluklu kayaçlarda dolaylı bir yöntem olarak uygulanabilirliği ve performansı araştırılmıştır. Bu kapsamda Ultrasonik Hız Deneyi, Nokta Yük Dayanım Deneyi, Karot Boğma Deneyi (CST) ve Tek Eksenli Serbest Basınç Deneyleri (UCS) yapılmıştır. Deneyler, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

2.2.1. İndeks Özelliklerin Belirlenmesi

Deney çalışmalarında kullanılmak üzere bazı laboratuvar deneyleri Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri (Ulusay vd. 2011) kitabında verilen talimatlara göre gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere doğrudan ihtiyaç olmasa da tez konusu olan deneylerin uygulanması esnasında gereksinim duyulmuştur. Deneyler; birim hacim ağırlığın belirlenmesi deneyi, tane özgül ağırlığın bulunması deneyi, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri ve toplam porozitenin hesaplanması şeklindedir.

Deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi bakımından üzerinde deney yapılacak tüm numunelerin birbirleri ile mümkün olduğunca aynı olması gerekliliğinden yola çıkarak, yaklaşık aynı porozite değerine sahip, kırık ve çatlaksız, anizotropiye neden olacak tabakalanma gibi herhangi bir unsur içermeyen numuneler seçilerek sadece bunlar çalışmaya dâhil edilmiştir. Ayrıca numuneler bu tez çalışmasının amacına yönelik olarak kuru ve yaş olmak üzere deneylerde kullanılmışlardır. Kuru numuneler 24 saat süreyle etüvde kurutulmaya bırakıldıktan sonra deneyler yapılmak üzere hazır hale getirilmişlerdir. Deneylerde kullanılacak yaş numunelerin elde edilebilmesi için de aşağıdaki yöntem kullanılmıştır. Numuneler su dolu bir kovada bekletilmeye alınmış ve 6 hafta boyunca her bir haftanın sonunda hassas terazide tartılarak ağırlığındaki değişim takip edilmiştir. Her ölçüm sonunda numune içerisinde hava kalmaması için yönleri değiştirilerek tekrar su içerisinde beklemeye bırakılmıştır. Altı hafta boyunca yapılan tartımlara ait sonuçlara bakıldığında 4. haftanın sonundan itibaren numune ağırlığında değişim olmadığı, yani 5., 6. haftalarda da 4. hafta sonundaki değerlerin aynısının elde edildiği görülmüştür. Böylece yaş numunelerin

elde edilebilmesi için gerekli olan süre 4 hafta olarak seçilmiş ve numuneler 4. hafta boyunca suda bekletilmiştir.

2.2.2. Ultrasonik Hız Deneyi

Tahribatsız bir yöntem olan Ultrasonik Hız Deneyi kaya numuneleri içerisine verilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızının ölçülmesiyle yapılan bir deney metodudur. Çalışmada kuru ve ıslak NX karot numuneleriyle P dalga hızının ölçümü yapılmıştır. Deney, ASTM (1984)' ye uygun şekilde yapılmıştır.

Numune hazırlanma esnasında her karot numunenin alt ve üst yüzeyleri kesilerek 0,2 mm hassasiyetle düzgün hale getirilmiştir. Numunelerin son halinin uzunluğu kumpas ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Dalga (Sinyal) üretim cihazı, cihaz üreticisi firmanın direktifleri doğrultusunda deneye hazır hale getirilmiş olup, alıcı-verici ile karot numunesi arasında boşluk kalmaması için karotun her iki ucuna gres sürülerek karot numunesi alıcı ve verici ünitelerin arasına yerleştirilmiştir.

Deney başlatılmadan önce boşluk kalmamasını sağlamak için el gücüyle numune sıkıştırılmış ve bu esnada numuneye ve alıcı-verici ünitelerin sinyali ileten ve alan bölgelerine temas edilmemeye özen gösterilmiştir. Deneylerde dakikada bir veya iki okuma alınacak şekilde sinyal gönderilerek P (Sıkışma) dalgasının geçiş süresi (t_p) ölçülmüştür.

Daha sonra, P dalgasının yayılma hızı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_p = \frac{L}{t_p} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1' de; V_p P dalgasının yayılma hızı (m/s), L sinyal ilerleme mesafesi (mm) ve t_p ise P dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs) 'dır.



Şekil 2.9. Deneyde kullanılan Ultrasonik Dalga Hızı Test Cihazı

2.2.3. Nokta Yük Dayanım Deneyi

Tek Eksenli Serbest Basınç Deneyine (UCS) dolaylı yöntem olarak en çok tercih edilen yöntemlerden birisi olan Nokta Yük Dayanım Deneyi verileri ile kayacın nokta yükü dayanım indeksi hesaplanmaktadır. Deney, ISRM (2007)' ye uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında ortalama $I_{s(50)}$ değerini bulabilmek için numuneler üzerinde, en az 10 adet geçerli deney yapılmış, en düşük ve en yüksek ikişer değer göz ardı edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması alınmıştır.

Nokta Yük Dayanım Deneyi' nde kullanılan deney aleti, bir yükleme pompası, iki adet yük göstergesi, konik başlıklar ve bununla beraber yenilme anındaki okumalar için gövdeye monte edilmiş bir cetvelden oluşur. Cihazdaki iki göstergeden birisi hassas ölçümler için diğeri de daha büyük yükler olduğunda ayrıca devreye giren bir

gösterge dir. İlk gösterge 5,6 kN ikinci gösterge 56 kN dayanıma kadar ölçüm yapabilir. Yükleme, numune konik uca merkezle ndikten sonra başlatılır. İşlem 60 sn içerisinde tamamlanır. Numune yük karşısında yenildiğinde yapılan maksimum yük göstergede sabit kalır ve cetveldeki değ erle birlikte kaydedilir. Her yeni numune için gösterge sıfırlanarak bir diğ er numuneye deney uygulanır. Deney için hazırlanmış numuneler NX (54 mm) silindirik numuneler olup çapsal yükleme ile deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.10. Nokta Yükleme Deney Düzen eđ i

Hazırlanan karot numuneler için uzunluğ un çapa oranı birden büyük tutulmuştur. Numune sayısı ne kadar fazla olursa deneyin güvenilirliğ i o kadar artar. Kullanılacak olan numune, öncesinde kumpas yardımıyla ölçülerek boyutları kayıt altına alınmıştır. Cihazın konik uçları numunenin eksenine dik gelecek şekilde yerleştirilerek deneye başlanılmış tır. Deney 10 - 60 sn içerisinde bitirilecek şekilde yükleme hızı ayarlanmış ve ekrandaki sonuç kayıt altına alınarak diğ er numune için deneye geçilmiştir.



Şekil 2.11. Çapsal Nokta Yük Dayanım Deneyi

2.2.4. Tek Eksenli Basınç Deneyi (UCS)

Kaya numunelerinin dayanımının hesaplanmasında ve de sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntemdir. Deney, ISRM (2007)' ye uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. NX (54,7 mm) çaplı karot numunesi alt ve üst yüzeyleri oldukça en iyi düzlük ve paralellikte kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin yüksekliği ve çapı kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Yüksekliğin çapa oranı 2,0 olarak seçilmiştir.

Kaya numunesi çelik silindirler merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş ve deneye başlanmadan önce kırılma esnasında sıçramaları engellemek amacıyla kapak kapalı konuma getirilmiştir. Numune cihaza yerleştirip kapak kapatıldıktan sonra bilgisayara bağlı halde hazır bulunan dijital cihazın yazılımına giriş yapıp numune çapı ve yüksekliği girilerek deney gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12. Tek Eksenli Serbest Basınç Deneyi

Yüklemeye hızı, deneyin 5-10 dk içinde bitmesini sağlayacak hız ile yüklemeye yapılacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ayarlar cihazın kullanım kılavuzunda belirtildiği üzere cihaz yazılımı üzerinden ayarlanmıştır.

Yüklemeye kayanın taşıma kapasitesinin üzerine çıkınca ekrandaki hareketli sayısal verilerin (yük ve gerilme) azaldığı ve grafik eğrisinin aşağı yöne döndüğü görülmüştür. Artık yük karşısında kaya yenilmeye uğramış ve deformasyon meydana gelmiştir. Yenilme görüldükten sonra deney durdurulmuş ve yeni bir numune için deney tekrarlanmıştır.

Gerilme, yük değerinin yükleme alanına bölünmesiyle bulunmuştur.

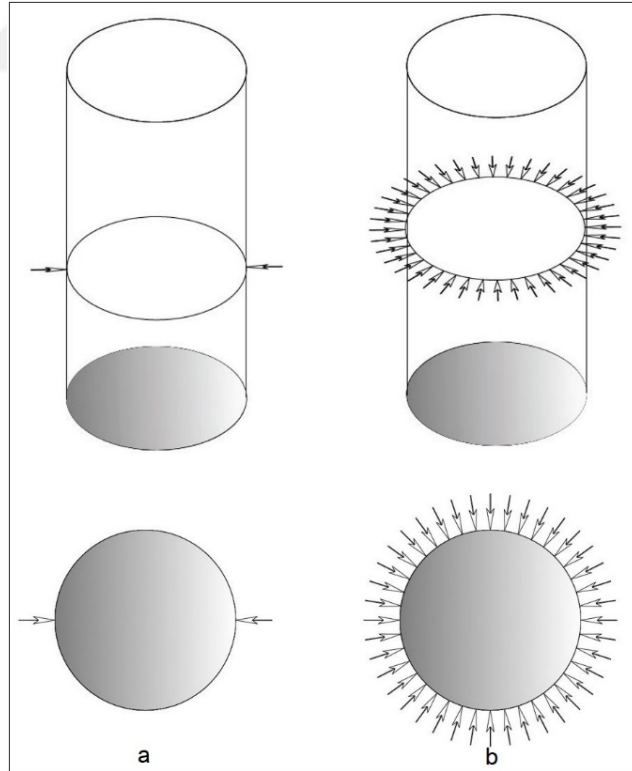
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Burada; σ Gerilmeyi (N/mm^2), F Yük Değerini (N) ve A Silindir Karot Alanını ($\pi r^2/2$) ifade etmektedir.

2.2.5. Karot Boğma Deneyi (CST)

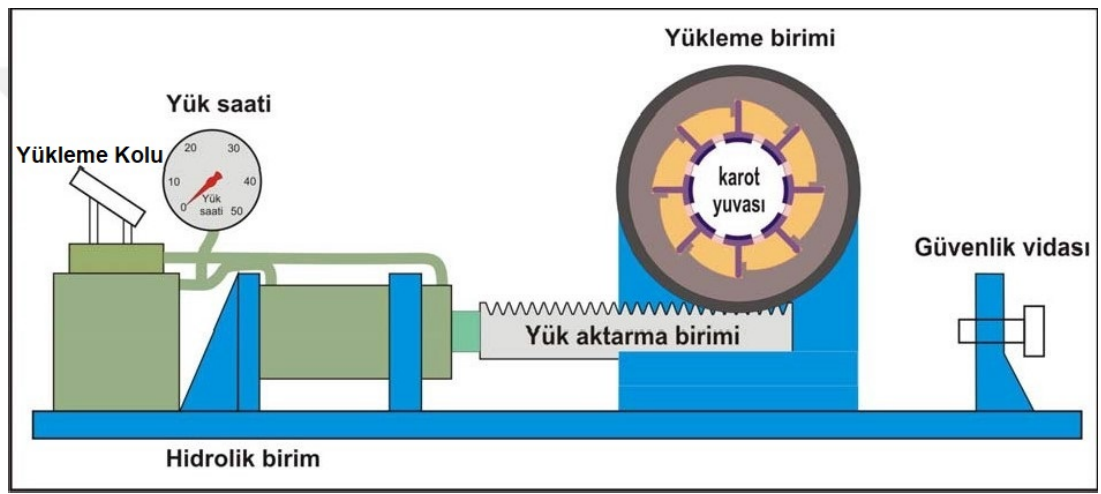
Karot Boğma Deneyinin avantajları, giriş kısmında detaylıca açıklanmıştır. Nokta yük dayanım deneyinde çok küçük bir alana yükleme yapılırken, CST' de sonsuz sayıda noktaya bir disk boyunca kuvvet uygulanması, deneyin hassasiyetini ve doğruluğunu artırmakla birlikte tek numune ile deney gerçekleştirilebildiğinden zamandan da büyük oranda tasarruf sağlanmaktadır.

Sistem yüksek basınç dayanımına sahip kayalarda teste tabi tutulacağından ötürü yüksek dayanıma sahip mekanik parçalardan imal edilmiştir (Şekil 2.13).

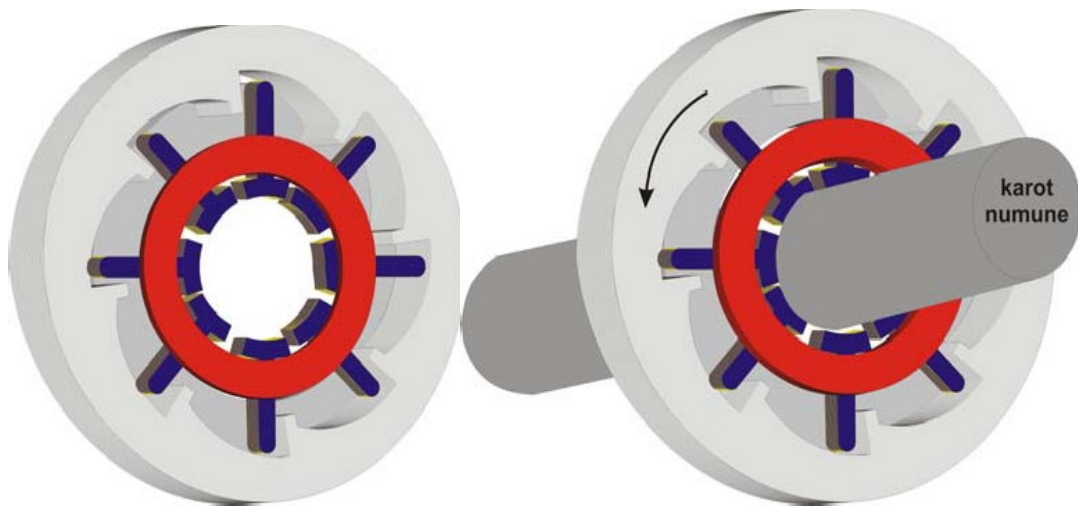


Şekil 2.13. Nokta yük dayanım deneyi (a) ve CST (b) deneyinde yükleme (Yılmaz, 2009).

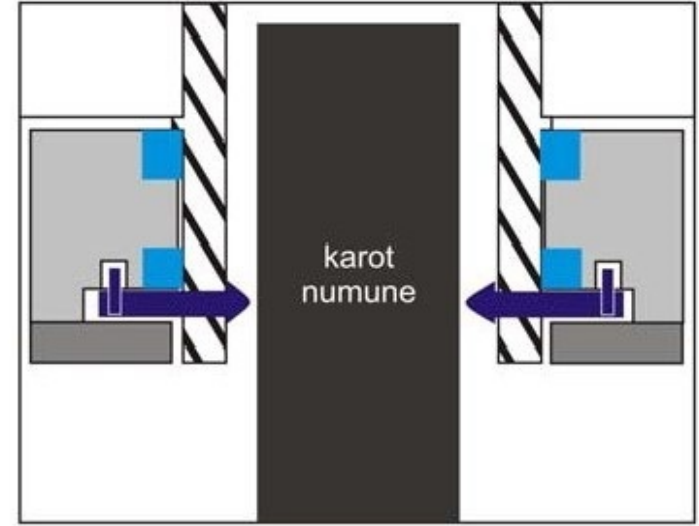
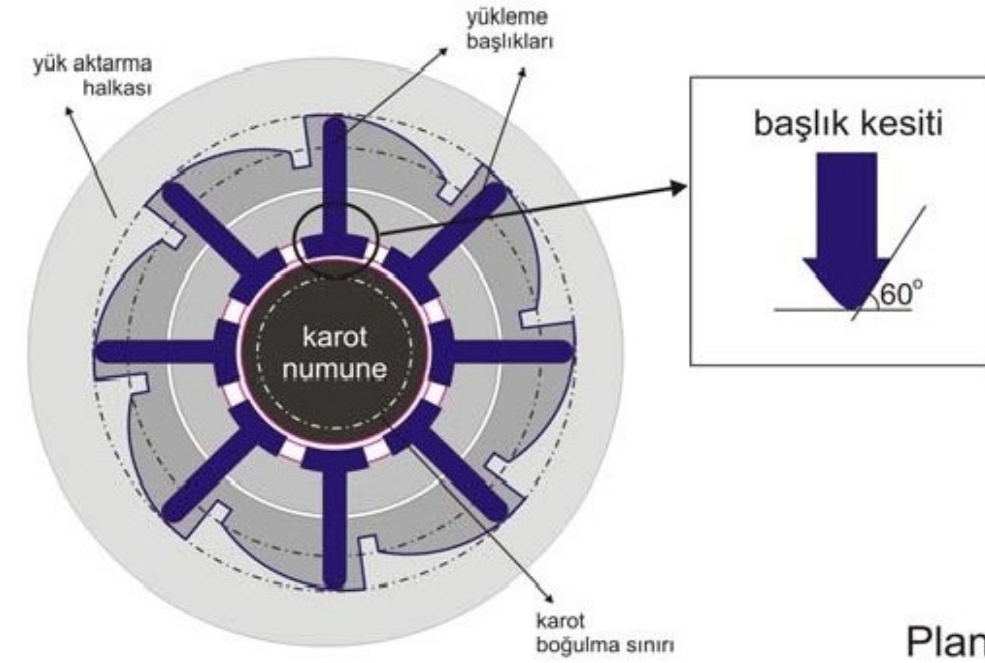
Yükleme koluna art arda yapılan yüklemelerle pnömatik piston ileri doğrultuda hareket eder. Hareketle birlikte kol, yükleme halkasını saat yönünün tersine doğru döndürmeye başlar (Şekil 2.14). Halka içerisindeki yay şeklindeki bölgeler dönmeye karşı sabit konumlu yükleme başlıklarını karot numuneye doğru iter ve numune üzerinde üniform yayılı yük oluşur (Şekil 2.15, 2.16). Kaya numunesi yük karşısında yenildiği zamana kadar yüklemeye devam edilir. Pnömatik sistemin bağlı olduğu hidrolik basınç sıvısına aynı zamanda bir dijital hidrolik basınç saati de bağlıdır. Yüklemenin artmasıyla birlikte saatin ölçtüğü basınç değeri de artmakta ve kırılma anında % 0,2 hata payıyla son basınç değeri dijital ekranda sabit kalmaktadır.



Şekil 2.14. CST deney aleti (Yılmaz, 2009)



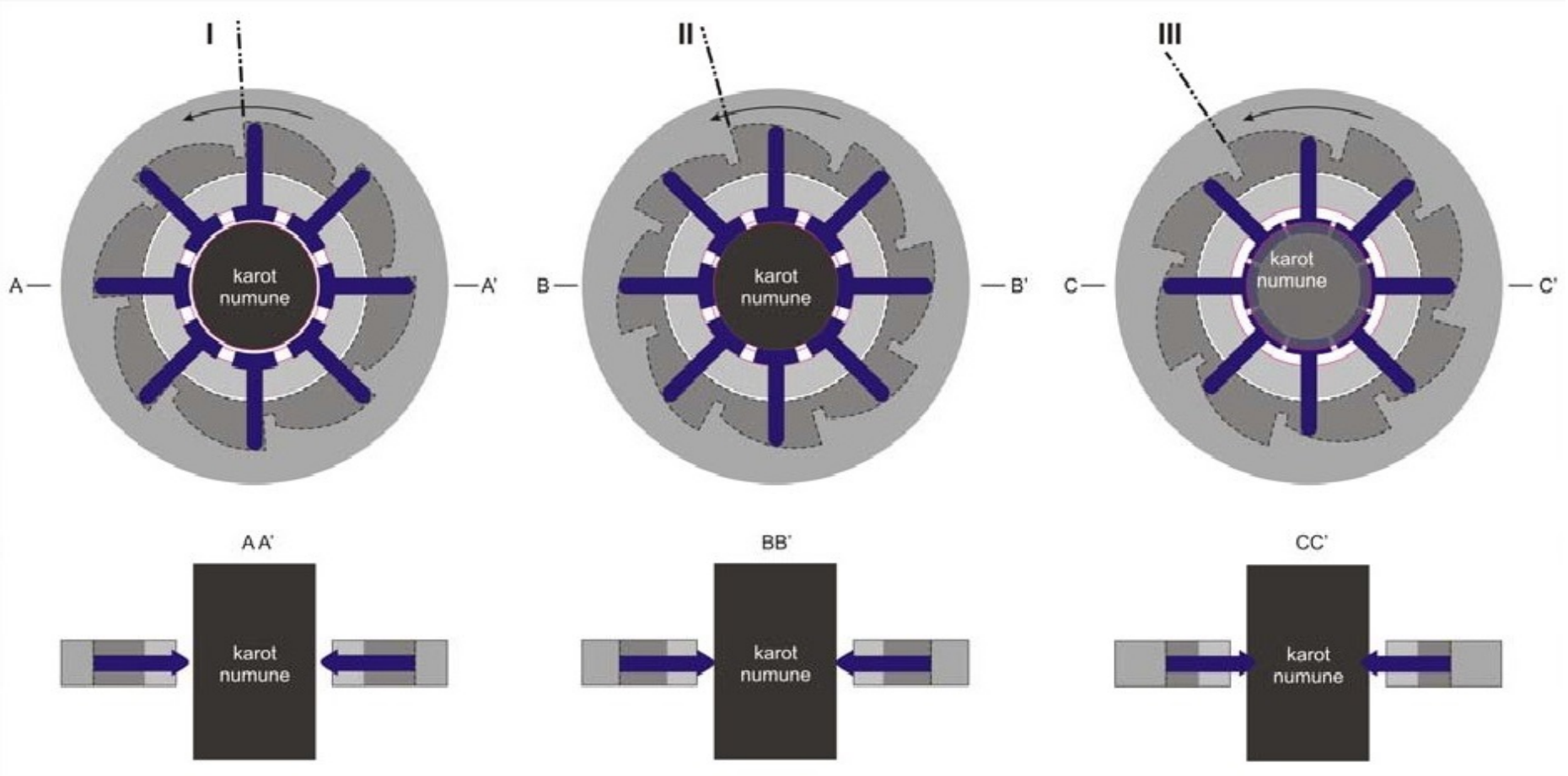
Şekil 2.15. Deney aletinde yükleme bölümünün genel görünümü (Yılmaz, 2009)



Plan

Kesit

Şekil 2.16. Deney aletinin yükleme bölümünün plan, kesit görünümü ve temel parçaları (Yılmaz, 2009).

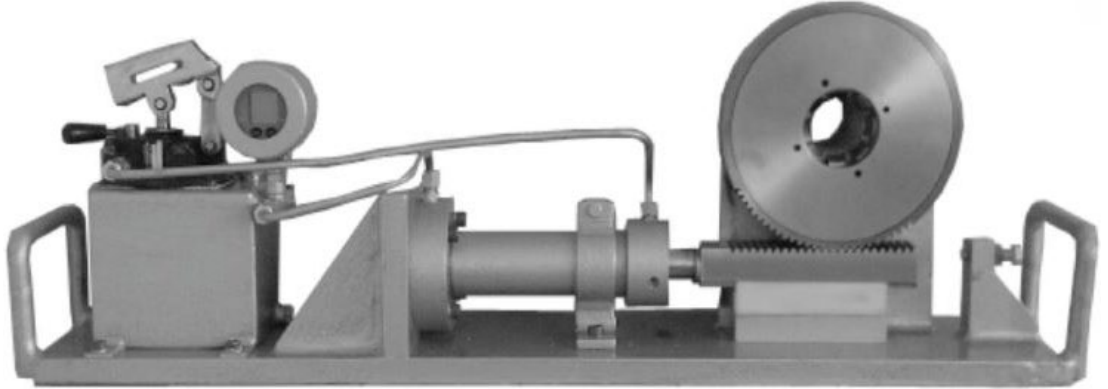


Şekil 2.17. Yükleme esnasında yük aktarma halkası ve yükleme başlıklarının konumunun değişimi (Yılmaz, 2009).

Tasarlanmış olan deney düzeneğinde silindirik numune yükleme halkası içerisine yerleştirildikten sonra, "yük aktarma halkası" dışarıdan uygulanan kuvvetle saat yönü tersinde döndürülmekte ve yük aktarma halkasındaki dönme hareketi ile birlikte yükleme başlıkları eksenleri boyunca karota doğru hareket etmeye zorlanmaktadır (Şekil 2.17).

İlerleyen dönme sırasında yükleme başlıklarının karot eksenine dik bir çember boyunca oluşturduğu artan basınç sonunda kırılma meydana gelmekte ve yaklaşık 10-60 sn aralığındaki zaman içerisinde meydana gelen kırılma anındaki yük kaydedilmektedir. Kırılma anında elde edilen yüklerin, yüklemenin uygulandığı çember uzunluğuna bölünmesi ile o kayaca ait Boğulma Dayanımı İndeksi (CSI) olarak kabul edilen değer hesaplanmaktadır.

Aşağıda CST deney aleti (Şekil 2.18) ile deneyin yapılışı ve numunenin yenilme sonrasındaki durumu görülmektedir (Şekil 2.19) (Yılmaz, 2009).



Şekil 2.18. CST deney aleti (Yılmaz, 2009).

Yılmaz (2009) tarafından UCS' nin belirlenmesi için gerekli ampirik modellerin ortaya konulması ile önerilmiş olan geliştirilmiş denklem aşağıdaki gibidir.

$$UCS \text{ (MPa)} = 6,0981 \text{ CSI} + 7,692 \quad (\text{CSI: kN/cm}) \quad (2.3)$$



Şekil 2.19. CST aleti ile deneyin yapılışı ve yenilme sonrasında numunenin durumu (Yılmaz, 2009).

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Laboratuvara getirilen örnekler üzerinde yapılan tüm indeks ve dayanım deneylerinden elde edilen sonuçların basit istatistiksel değerlendirmesi Tablo 3.1’ de verilmektedir. Sonuçlar arasında kabul edilebilir mukayeseler yapabilmek amacıyla, yaklaşık aynı porozite değerine sahip her grup için en az dörder adet numune seçilerek bunların üzerinde Nokta Yük, UCS ve CST deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 3.1’ den de görüleceği gibi numuneler hemen hemen aynı porozite değerlerine sahip olmakla beraber çok küçük düzeyde farka sahiptirler. Bunu numuneler üzerinde yapılmış olan Ultrasonik Hız Deneyi sonuçları da desteklemektedir. Yani; kullanılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen farklı deneylerin sonuçları birbirleri ile mukayese edilebilir.

Tablo 3.1. Deney sonuçlarının temel istatistiksel değerlendirmeleri

	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Standard Sapma
Yaş CSI (kN/cm)	1,90	5,40	3,75	1,08
Kuru CSI (kN/cm)	3,20	6,90	4,96	1,13
Yaş UCS (MPa)	22,00	45,00	31,91	7,41
Kuru UCS (MPa)	31,00	55,00	41,55	8,09
Yaş $I_{s(50)}$ (MPa)	1,00	3,80	2,14	0,91
Kuru $I_{s(50)}$ (MPa)	0,61	4,40	2,75	1,19
Porozite	0,12	0,16	0,14	0,02
Ultrasonik Hız (V_p)	12,50	13,70	12,96	0,95

Kuru ve yaş koşullarda gerçekleştirilmiş olan en az dörder adet Nokta Yük, UCS ve CST deneylerinden elde edilen ortalama sonuçlara ilişkin tablolar Tablo 3.2, 3.3 ve 3.4’ de verilmektedir.

Tablo 3.2. Nokta Yük Dayanım Deneyinden elde edilen sonuçlar

Grup	Kuru Nokta Yükleme ($I_{s(50)}$) (MPa)	Yaş Nokta Yükleme ($I_{s(50)}$) (MPa)
A1	4,4	3,8
B1	1,6	1,2
C1	3,4	2,6
C1	3,2	2,9
D1	0,6	0,3
E1	4,1	2,8
F1	2,9	1,7
G1	2,1	1,1
H1	3,6	2,4
I1	2,9	2,6
J1	1,4	1,4

Tablo 3.3. UCS Deneylerinde elde edilen sonuçlar (UCS: Serbest Basınç Dayanımı)

Grup	Kuru UCS (MPa)	Yaş UCS (MPa)
A1	55	45
B1	41	27
C1	43	31
C1	36	29
D1	32	25
E1	49	39
F1	50	37
G1	32	22
H1	46	37
I1	42	36
J1	31	23

Tablo 3.4. CST Deneylerinde elde edilen sonuçlar (CSI: Karot Boğma İndeksi)

Grup	Kuru CSI (kN/cm)	Yaş CSI (kN/cm)
A1	6,9	5,4
B1	4,9	3,1
C1	5,1	3,4
C1	3,6	2,9
D1	4,3	3,4
E1	6	4,8
F1	6,3	4,6
G1	4,1	2,7
H1	5,2	4,4
I1	5	4,6
J1	3,2	1,9

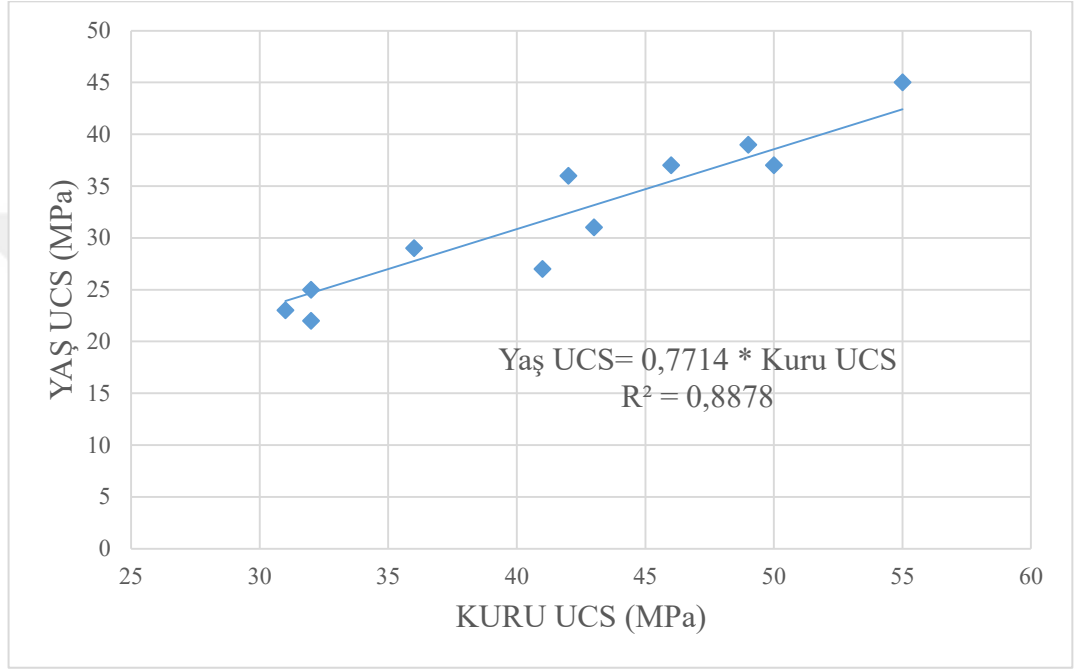
Bu tez çalışması kapsamında kuru ve yaş durumlarda serbest basınç dayanımının nasıl değişim gösterdiğini ve gene yaş ve kuru koşullarda serbest basınç dayanımının dolaylı olarak belirlenmesinde Karot Boğma Deneyi' nin kullanılabilirliğini ortaya koyabilmek amacıyla elde edilen deney sonuçları kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde, en yaygın kullanım alanına sahip Nokta Yük Dayanımı Deneyi de dikkate alınarak Karot Boğma Deneyi sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Regresyon analizleri yapılırken; doğrusal, polinom, logaritmik ve üstel modellere ait eğriler çizilmiştir. Doğrusal modelde en yüksek R^2 değerleri elde edilmiş olup, gerek yüksek doğruluk gerekse kolay hesaplanabilirlik açısından doğrusal modeller dikkate alınmıştır.

Şekil 3.1' de verilen grafikte de görüleceği gibi kuru ve yaş numunelere ait UCS değerleri arasındaki ilişki için regresyon katsayısı %88 olarak hesaplanmış olup oldukça yüksek bir değerdir. Bu ilişki için elde edilen eşitlik denklem 3.1' de verilmektedir.

$$\text{Yaş UCS} = 0,7714 \cdot \text{Kuru UCS} \quad (R^2 = 0,88) \quad (\text{UCS: MPa}) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1' den de görülebileceği gibi; yaş numuneler için Serbest Basınç Dayanımı değeri kuru koşuldan ortalama %23 daha düşüktür.

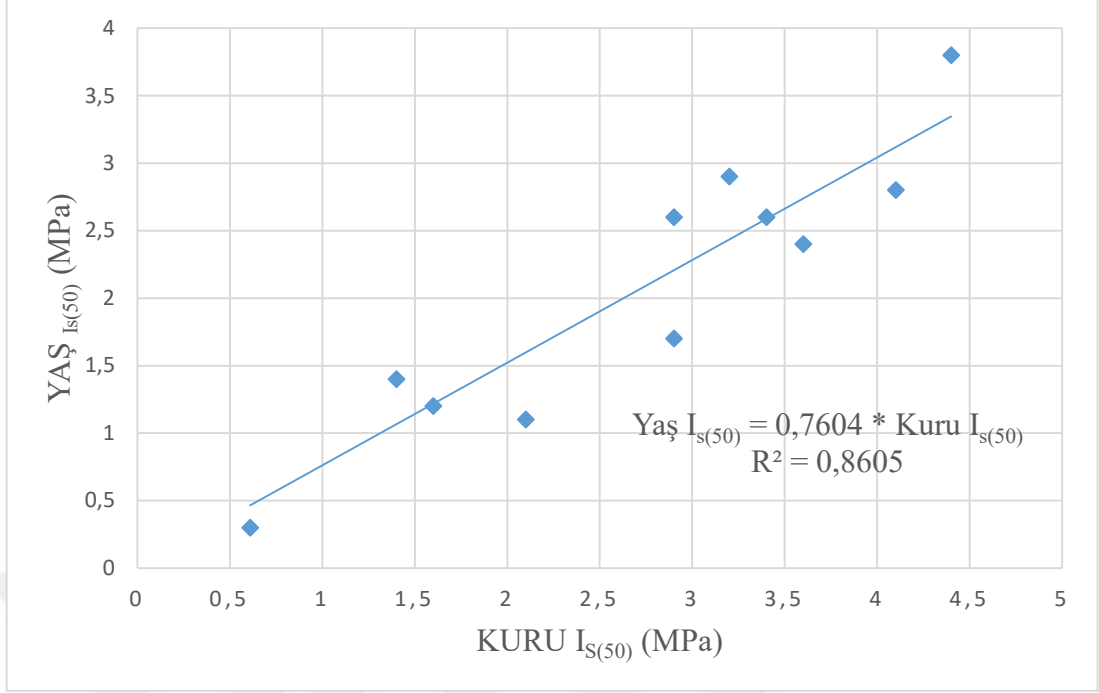


Şekil 3.1. Kuru ve yaş numuneler için elde edilen UCS değerleri arasındaki ilişki

Kuru ve yaş numuneler üzerinde yapılan Nokta Yük Dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçların grafiğe geçirilmesi ile elde edilen ilişki Şekil 3.2' de görülebilmektedir. Bu grafikten de anlaşıldığı gibi oldukça yüksek bir regresyon katsayısı ile tanımlanan bir ilişki söz konusudur. Elde edilen regresyon katsayısı 0.79 olup, Şekil 3.2' deki söz konusu doğrusal modelden elde edilen denklem eşitlik 3.2' de verilmektedir.

Denklem 3.1' den de görülebileceği gibi; yaş numuneler için Nokta Yük Dayanımı değeri kuru koşuldan ortalama %24 daha düşüktür.

$$\text{Yaş } I_{s(50)} = 0,7604 \cdot \text{Kuru } I_{s(50)} \quad (R^2 = 0,86) \quad (I_{s(50)}: \text{MPa}) \quad (3.2)$$



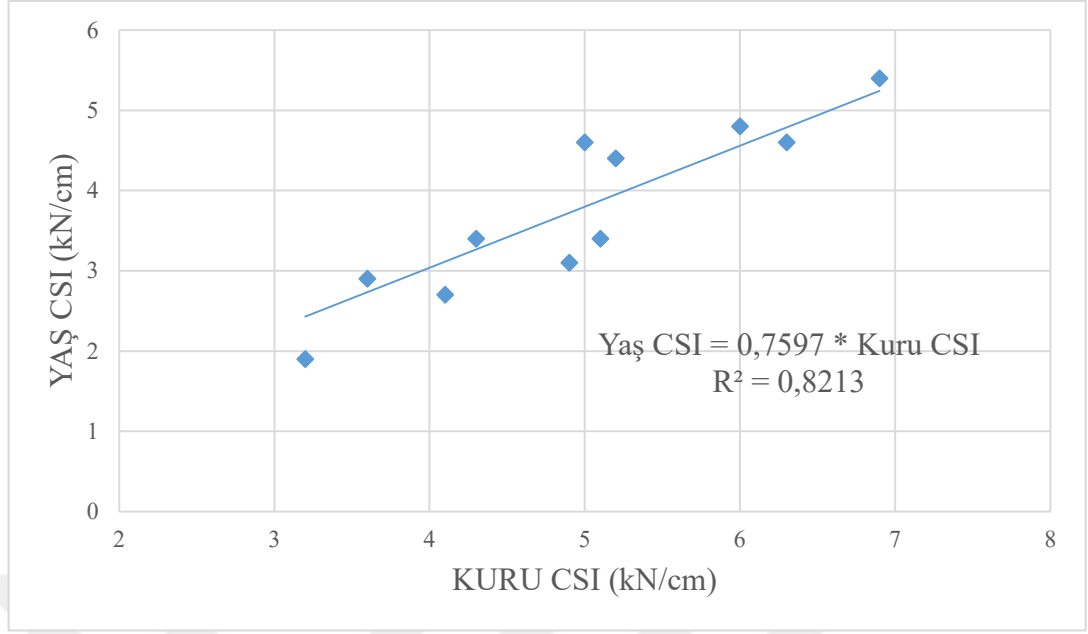
Şekil 3.2. Kuru ve yaş numuneler için elde edilen $I_{s(50)}$ değerleri arasındaki ilişki

Bu tez çalışmasının asıl konusunu oluşturan Karot Boğma Deneyi kuru ve yaş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlgili kuru ve yaş numuneler üzerinde yapılan Karot Boğma Deneylerinden elde edilen Karot Boğma İndeksi (CSI) sonuçlarının grafiğe geçirilmiş ve bir ilişki elde edilmiştir. Elde edilen ilişkiye ait grafik Şekil 3.3’ de verilmektedir. Bu grafikten de görüldüğü gibi oldukça yüksek bir regresyon katsayısı ile tanımlanan bir ilişki söz konusu olup, elde edilen regresyon katsayısı %82 ‘dir.

Şekil 3.3’ deki söz konusu doğrusal modelden elde edilen denklem aşağıdaki eşitlik 3.3’ de görülmektedir.

$$\text{Yaş } CSI = 0,7597 \cdot \text{Kuru } CSI \quad (R^2 = 0,82) \quad (CSI: \text{kN/cm}) \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’ den de görülebileceği gibi; yaş numuneler için Karot Boğma İndeksi (CSI) değeri kuru koşuldan ortalama %25 daha düşüktür.



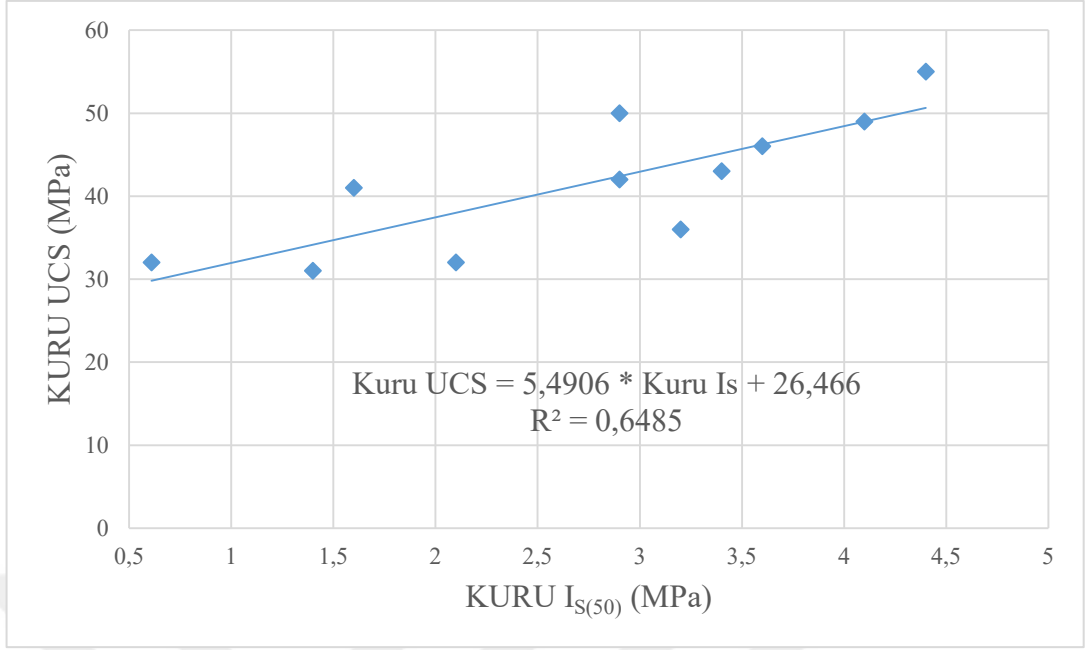
Şekil 3.3. Kuru ve yaş numuneler için elde edilen CSI değerleri arasındaki ilişki

Kuru ve yaş numunelerde Serbest Basınç Dayanımı değerlerinin Nokta Yük Dayanımı ve Karot Boğma Deneyi kullanılarak dolaylı olarak elde edilmesi ve kullanılan bu deney yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılabilmesi için bahsedilen bu dolaylı yöntemlerden elde edilen sonuçlar aynı numunelere ait Serbest Basınç Dayanımı değerlerine karşı grafiklere geçirilerek basit regresyon analizleri yapılmıştır.

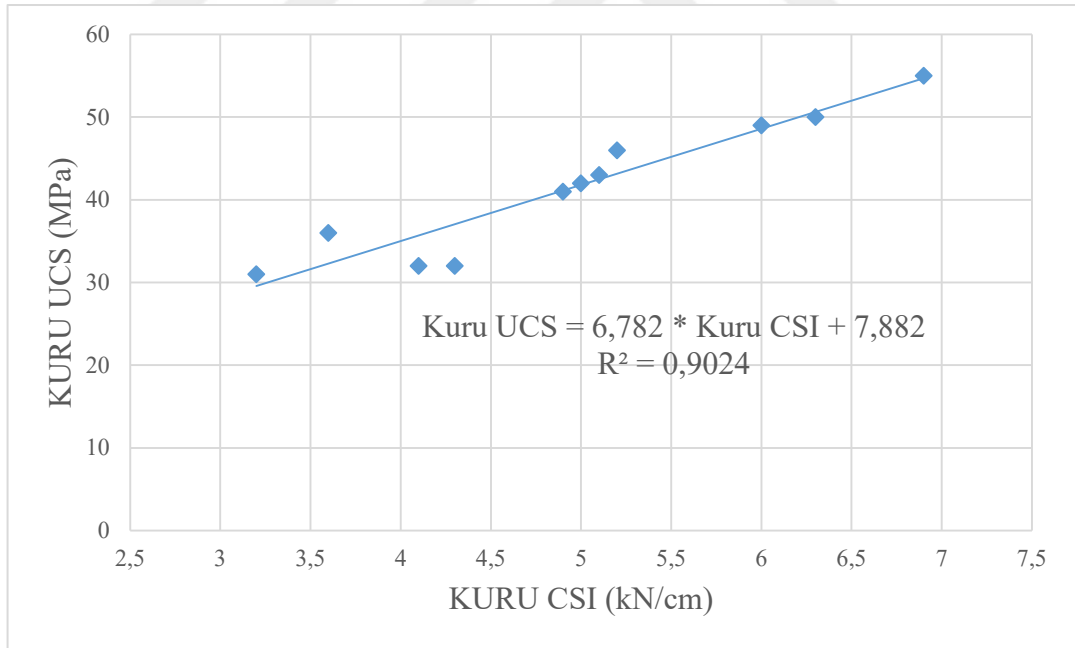
Kuru numuneler için Nokta Yük Dayanımı ve Serbest Basınç Dayanımı sonuçları arasındaki doğrusal modelle tanımlanan ilişki Şekil 3.4' de görülmektedir. Bu ilişkiye ait regresyon katsayısı %65 olup oldukça düşüktür. Bu ilişkiyi tanımlayan denklem aşağıdaki Eşitlik 3.4' de verilmektedir.

$$\mathbf{Kuru UCS = 5,4906 \cdot Kuru I_{s(50)} + 26,466 \quad (R^2 = 0,65) \quad (UCS: MPa, I_{s(50)} : MPa) \quad (3.4)}$$

Söz konusu kuru numunelerde yapılan Karot Boğma Deneyi sonuçlarının Serbest Basınç Dayanımı deney sonuçlarına karşı grafiğe geçirilmesi ile UCS ile CSI arasındaki ilişki elde edilmiş olup Şekil 3.5' de verilmektedir.



Şekil 3.4. Is(50) – UCS Deneylerinin karşılaştırılması grafiği



Şekil 3.5. CSI – UCS Deneylerinin karşılaştırılması grafiği

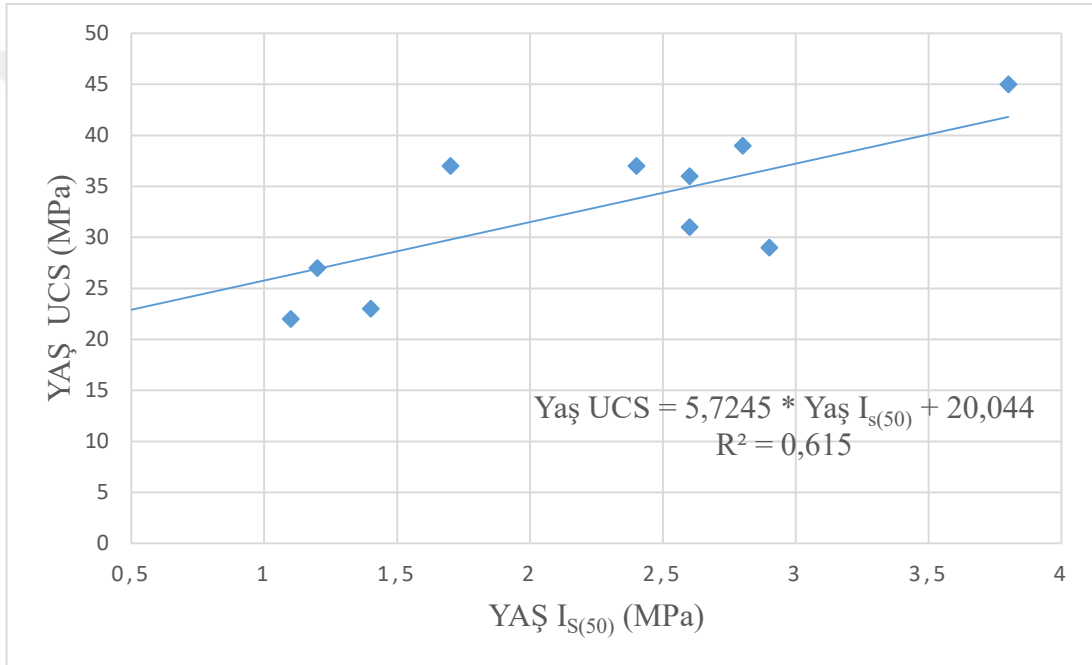
CSI ve UCS deney sonuçlarının karşılaştırılmasında (Şekil 3.5) elde edilen ilişkiye ait regresyon katsayısı %90 gibi oldukça yüksek bir değere ulaşmıştır. Karot Boğma Deneyi için elde edilen bu %90 regresyon katsayısı değeri 'Nokta Yük Dayanımı'ndan

elde edilen değere (%65) göre oldukça yüksek olup, CST' nin güvenilirlikle alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür.

Kuru koşul için UCS ile CSI arasındaki ilişkiyi tanımlayan denklem aşağıdaki Eşitlik 3.5' de verilmektedir.

$$\mathbf{Kuru UCS = 6,782 \cdot Kuru CSI + 7,882} \quad (R^2 = 0,90) \quad (\text{UCS : MPa, CSI : kN/cm}) \quad (3.5)$$

Yukarıda verildiği gibi benzer şekilde aynı numunelerin yaş Nokta Yük Dayanımı ve Serbest Basınç Dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar arasındaki doğrusal modelle tanımlanan ilişki ise Şekil 3.6' daki gibidir.



Şekil 3.6. $I_{s(50)}$ – UCS Deneylerinin karşılaştırılması grafiği

Bu ilişkiye ait regresyon katsayısı kuru koşulda da olduğu gibi oldukça düşüktür. Söz konusu regresyon katsayısı %64 olarak hesaplanmıştır.

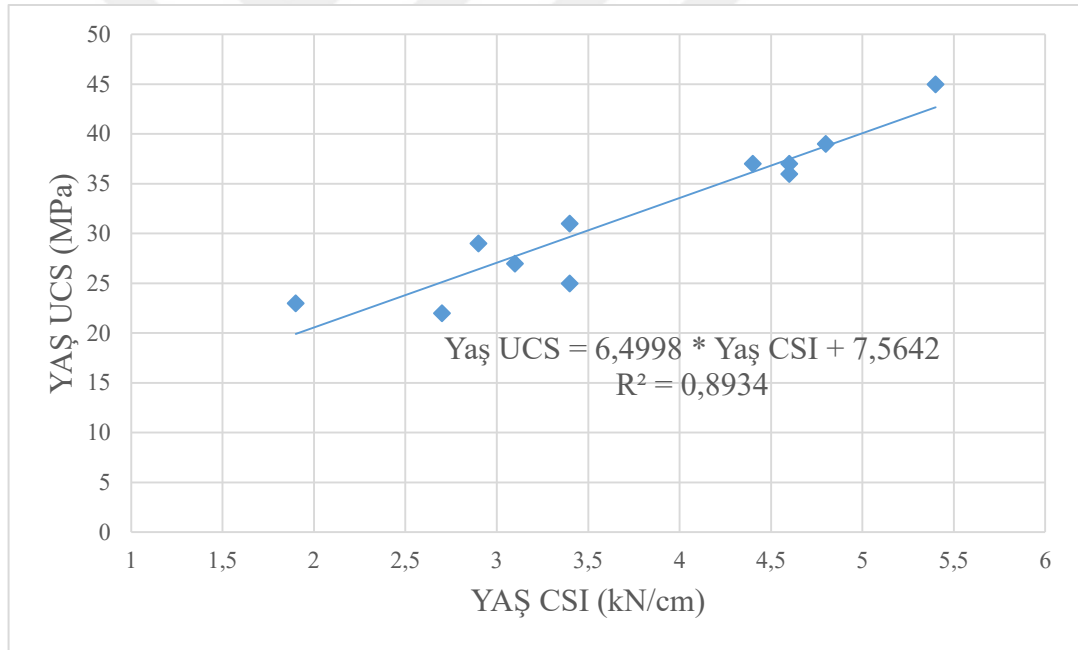
Yaş numuneler için Serbest Basınç Dayanımı ile Nokta Yük Dayanımı arasındaki ilişkiyi tanımlayan denklem aşağıdaki Eşitlik 3.6' daki gibidir.

$$\mathbf{Yaş UCS = 5,7245 \cdot Yaş I_{s(50)} + 20,044} \quad (R^2 = 0,62) \quad (\text{UCS: MPa, } I_{s(50)}: \text{MPa}) \quad (3.6)$$

Yaş numuneler üzerinde yapılan Karot Boğma deneyi ve Serbest Basınç Deneyi sonuçlarının karşılaştırılmasıyla Şekil 3.7’ de görüldüğü gibi elde edilen ilişkiye ait regresyon katsayısı gene kuru koşulda olduğu gibi %89’ a varan oldukça yüksek bir değere ulaşmıştır. Karot Boğma Deneyi için elde edilen bu %89 regresyon katsayısı değeri Nokta Yük Dayanımı’ ndan elde edilen değere (%64) göre oldukça yüksek olup, CST’ nin güvenilirlikle alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür.

Kuru koşul için UCS ile CSI arasındaki ilişkiyi tanımlayan denklem aşağıdaki Eşitlik 3.7’ de verilmektedir.

$$\text{Yaş UCS} = 6,4998 \cdot \text{Yaş CSI} + 7,5642 \quad (R^2 = 0,89) \quad (\text{UCS: MPa, CSI: kN/cm}) \quad (3.7)$$



Şekil 3.7. CSI – UCS Deneylerinin karşılaştırılması grafiği

Daha sonra, Nokta Yük Dayanımı ve Karot Boğma Deneylerinden elde edilen sırasıyla I_s ve CSI verileri kullanılarak UCS değerleri kuru ve yaş numuneler için dolaylı olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.5 ve 3.6).

Tablo 3.5. Denklemler üzerinden hesaplanan Kuru UCS verileri

Grup	Deneyisel Kuru UCS (MPa)	Kuru CSI→UCS	Kuru $I_{s(50)} \rightarrow UCS$
A1	55	54,68	50,62
B1	41	41,11	35,25
C1	43	42,47	45,13
C1	36	32,30	44,04
D1	32	37,04	29,82
E1	49	48,57	48,98
F1	50	50,61	42,39
G1	32	35,69	38,00
H1	46	43,15	46,23
II	42	41,79	42,39
J1	31	29,58	34,15

Tablo 3.6. Denklemler üzerinden hesaplanan Yaş UCS verileri

Grup	Deneyisel Yaş UCS (MPa)	Yaş CSI→UCS	Yaş $I_{s(50)} \rightarrow UCS$
A1	45	42,66	42,81
B1	27	27,71	25,78
C1	31	29,66	34,95
C1	29	26,41	36,91
D1	25	29,66	21,76
E1	39	38,76	36,26
F1	37	37,46	29,05
G1	22	25,11	25,12
H1	37	36,16	33,64
II	36	37,46	34,95
J1	23	19,91	27,09

Yılmaz (2009) yeni bir deney yöntemi geliştirmiş ve önermiş, bu yeni yöntem ile UCS 'nin geleneksel dolaylı yöntemlerin eksik yönlerini incelemiş ve yeni metodu geleneksel yöntemlerle karşılaştırarak sorunların azaltıldığından bahsetmiştir. Nokta yük dayanım yönteminin noktasal bir alana yük etki ettirilerek uygulanışı ve yüzey pürüzlülüğü hata oranını artırırken, yeni CST deneyinin çizgisel bir disk şeklinde yük uygulanarak yapılışı heterojen yapıdaki kayalarda sonsuz sayıda yapılmış nokta yük dayanım deneyinin yalnız bir CST deneyinin uygulanmasıyla gerçek UCS deneyine çok yakın bir sonuca ulaştırmıştır. Böylece CST 'nin güvenilir bir metot olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

CST ile ilgili olarak Yılmaz (2010) bir çalışma yapmış buna göre CST ile Dolaylı Çekme Dayanım Deneyini karşılaştırarak CST 'nin bu deneyden daha güvenilir sonuçlara ulaştırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca RMR üzerinde çalışarak CST' ye yönelik bir sınıflandırma yapmıştır.

CST üzerine yapılmış başka bir çalışmada (Yılmaz vd., 2014) CST yönteminin dayanım anizotropisinin belirlenebilmesinde kullanılabilirliği ve performansı üzerine araştırma yapmışlardır. Çeşitli dolaylı yöntemlerle deneyler yapmışlar ve CST' nin diğer yöntemlere göre güvenilir oluşuna değinmekle birlikte yöntemin faydalarına da değinmişlerdir.

Son olarak Yılmaz (2018) boşluklu kayalar üzerinde deneyin uygulanabilirliği üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada gözenekliliğin artışıyla dayanımın düştüğü ve en düşük porozite değerinde en yüksek dayanıma ulaşıldığını söylemiştir. Dolaylı yöntem olarak yüksek performans ile yöntemin güvenilir bir metot olduğunu ve ayrıca standart boyutta numune elde edilemediği durumlarda CST' nin alternatif bir deney yöntemi olduğunu söylemiştir.

Karot Boğma Deneyi (CST) ile elde edilen dayanım sonuçlarının boşluklu kayalarda kuru ve yaş koşullarda değişimi ve yöntemin kullanılabilirliği ve performansının araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar CST' nin performansını bir kez daha ortaya koymuştur. İlgili deney yönteminin, kayalarda hem kuru hem de yaş koşullarda güvenilirlikle kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM** (1984). Annual Book Of ASTM Standards – Construction: Soil and Rock, *ASTM Publication*, V.04.08, 978 p.
- ISRM** (2007). The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, *Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group*, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628 p.
- Topal, T.** (2000). “Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler” *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 24 (1).
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A.** (2011). Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını:58*, Ankara.
- Yılmaz I.** (2000). Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması, *Teknik Yayınevi*, 216s.
- Yılmaz, I.** (2009). A new testing method for indirect determination of the unconfined compressive strength of rocks, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 46, 1349–1357.
- Yılmaz, I.** (2010). Use of the core strangle test for tensile strength estimation and rock mass classification, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 47, 845-850.
- Yılmaz, I. Yücel, Ö.** (2014). Use of the core strangle test for determining strength anisotropy of rocks, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 66, 57-63.
- Yılmaz, I.** (2018). Performance of Core Strangle Test (CST) on Porous Rocks, *Geotechnical and Geological Engineering*, Volume 36, Issue 6, 3551–3557.
- Yücel, Ö.** (2012). Karot Boğma Deneyi (CST)’ nin Kayalarda Dayanım Anizotropisinin Belirlenmesinde Kullanılabilirliği ve Performansının Değerlendirilmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü*, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Fatih GÜLMEZ
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 1991
Medeni Hali	Bekâr
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas
E-posta Adresi	fgulmez@outlook.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2014
Yüksek Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

İş Tecrübesi

YDA İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., İnşaat Mühendisi, İstanbul
ACS Taahhüt İnşaat Turizm Ticaret A.Ş., Şantiye Şefi, Sivas
Şimşekler Yapı Denetim, Kontrol Elemanı, Sivas