

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ZEMİNLERDE GEÇİRGENLİĞİN SANTRİFÜJ
YÖNTEMİYLE TAYİNİ**

Tuğçe BAŞER

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Ersin KOLAY**

Yozgat 2012

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ZEMİNLERDE GEÇİRGENLİĞİN SANTRİFÜJ
YÖNTEMİYLE TAYİNİ**

Tuğçe BAŞER

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ersin KOLAY

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından İ.F.E./2011-43 kodu ile desteklenmiştir.**

Yozgat 2012

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı 7011110012 numaralı öğrencisi Tuğçe BAŞER' in hazırladığı “**Zeminlerde Geçirgenliğin Santrifüj Yöntemiyle Tayini**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 11/04/2012 Çarşamba günü saat 10:00’ da yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

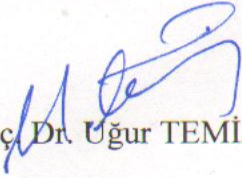
Başkan: Prof. Dr. Kamil KAYABALI



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ersin KOLAY (Danışman)

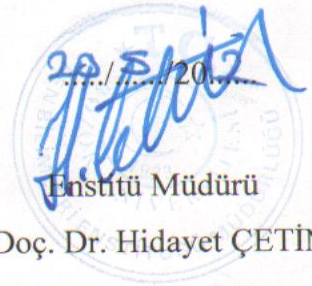


Üye : Yrd. Doç. Dr. Uğur TEMİZ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 23/5/2012 tarih ve 3 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Enstitü Müdürü
Doç. Dr. Hidayet ÇETİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SEMBOLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL	6
2.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi Örnekleri.....	7
2.2. Santrifüj Permeabilite Deneyi Örnekleri.....	7
2.3. Santrifüj Cihazı.....	8
3. YÖNTEMLER	10
3.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi.....	10
3.2. Şişme Deneyi.....	10
3.3. Santrifüj Deneyi.....	11
4. BULGULAR	13
5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER	18
5.1. Regresyon Analizi.....	18
5.2. t ve F Testi.....	22
6. TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER	25
KAYNAKLAR	27
EKLER	30
ÖZGEÇMİŞ	40

ZEMİNLERDE GEÇİRGENLİĞİN SANTRİFÜJ YÖNTEMİYLE TAYİNİ

Tuğçe BAŞER

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2012; Sayfa: 40

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ersin KOLAY

ÖZET

Laboratuvar koşullarında ince taneli zeminlerin geçirgenliğinin ölçülmesi haftalar sürebilmektedir. Santrifüjler, geçirgenlik deneyi de dahil olmak üzere jeoteknik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı zeminlerin geçirgenlik katsayısının belirlenmesi için minyatür santrifüj kullanarak pratik bir deney yöntemi geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda geniş aralıkta permeabilite değerleri elde etmek için değişik kil/kum oranlarında yapay zemin örnekleri kullanılmıştır. Hazırlanan bu örnekler üzerinde düşen seviyeli permeabilite ve santrifüj deneyleri yapılmıştır. Santrifüj deneyleri farklı dönme hızlarındaki yükleme seviyeleri için yapılmıştır. Her yükleme seviyesi 10 dakika sürmüş ve bununla ilişkili düşey deformasyonlar kaydedilmiştir. İki farklı deneyden elde edilen sonuçlar istatistiksel yaklaşımlarla incelenmiştir. Önerilen yöntemin permeabilite deneyi süresini birkaç haftadan bir kaç saate indirebileceği görülmüştür. Çalışma sonuçları ince taneli zeminlerin geçirgenlik katsayısının ölçülmesinde santrifüj yönteminin rutin ve hızlı bir deney yöntemi olma potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Minyatür santrifüj, Düşen seviyeli deneyi, Geçirgenlik, Zemin.

EVALUATION OF THE PERMEABILITY OF SOILS USING THE CENTRIFUGE METHOD

Tuğçe BAŞER

**Bozok University
Graduate School of Engineering-Architecture
Department of Geological Engineering
Master of Science Thesis**

2012; Page: 40

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ersin KOLAY

ABSTRACT

Measuring the permeability of fine soils in a laboratory may last weeks. Centrifuges have been used in geotechnical applications, including permeability tests. The aim of this investigation is to attempt to develop a practical method to assess the permeability of soils using a miniature centrifuge. Artificial soil specimens comprising various dry mass ratios of clay to sand were employed to work on a large spectrum of permeabilities. Falling-head permeability and centrifuge tests were carried out on identical mixtures. The centrifuge tests involved the loading of soil specimens at different consecutive revolution speeds. Each loading cycle lasted 10 minutes and the resulting axial strain was recorded. Relationships between the results of two different test method were evaluated. The proposed technique allows to dramatically shortening the testing period from some weeks to only two hours. The preliminary results suggest that the proposed method has a potential to become a routine and quick test for permeability of soils.

Keywords: Miniature centrifuge, Falling head test, Permeability, Soil.

TEŞEKKÜR

“Zeminlerde geçirgenliğin santrifüj yöntemiyle tayini” konulu bu tez çalışması, İ.F.E./2011-43 kod numarası ile Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında bilgilerini, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik rehberliğinin yanında her konuda yol gösteren ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam Bozok Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ersin KOLAY’a, tez çalışmam süresince laboratuvar imkanı sağlayan, önerileri ile beni yönlendiren ve bu tez çalışmasına bilimsel açıdan engin fikirleriyle çok büyük katkılar sağlayan Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Kamil KAYABALI’ya, çalışmalarım süresince birçok fedakârlıklar göstererek beni destekleyen aileme en derin duygularla teşekkür ederim.

Tuğçe BAŞER
YOZGAT, 2012

SEMBOLLER LİSTESİ

k	: geçirgenlik (m/s)
a	: borunun kesit alanı (cm ²)
L	: örneğin boyu (cm)
A	: örneğin kesit alanı (cm ²)
Δt	: borudaki su seviyesinin h_1 ' den h_2 ' ye düşmesi için geçen zaman (s)
g	: Yerçekimi ivmesi
ε	: Birim deformasyon
ΔL	: örneğin boyunda meydana gelen değişim (mm)
L	: örneğin ilk boyunun mm cinsinden değeri
R^2	: Belirtme katsayısı
r	: Korelasyon katsayısı
t	: Regresyon katsayısı önem değeri
b_1	: Katsayı
E	: Birim deformasyon
n	: Serbestlik derecesi
RAKO	: Regresyondan ayrılış kareler toplamı
XOACT	: X ortalamadan ayrılış çarpımlar toplamı
F	: Regresyon modeli önem değeri
RKO	: Regresyon kareler ortalaması
XOAKT	: X ortalamadan ayrılış kareler toplamı
YOAKT	: Y ortalamadan ayrılış kareler toplamı
x_i	: Bağımsız değişken
y_i	: Bağımlı değişken
RKT	: Regresyon kareler toplamı
XYCT	: x ve y çarpımlar toplamı

RAKT	:	Regresyondan ayrılış kareler toplamı
MSE	:	Ortalama standart hata
\bar{x}	:	X ortalama
\bar{y}	:	Y ortalama

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Deney örneklerinin bazı fiziksel özellikleri.....	6
Tablo 4.1: Şişme deneyleri sonuçları.....	14
Tablo 4.2: 1.25 N sürşarj kullanılarak değişik dönme hızlarında elde edilen düşey deformasyonlar.....	16
Tablo 4.3: 2.5 N sürşarj kullanılarak değişik dönme hızlarında elde edilen düşey deformasyonlar.....	16
Tablo 4.4: 4.0 N sürşarj kullanılarak değişik dönme hızlarında elde edilen düşey deformasyonlar.....	17
Tablo 5.2: Regresyon analizi için varyans analizi tablosu.....	23
Tablo 5.3: 4.0 N için regresyon analizi sonuçları.....	24

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1:	Düşen seviyeli permeametre nin şematik gösterimi..... 7
Şekil 2.2:	Santrifüj deney örneği ayrıntıları. (a) Santrifüj permeametesinin şematik gösterimi(ölçeksiz). 1) Örneğin yerleştirildiği dış hazne, 2) iç silindir kapsül, 3) konsolidasyon ringi, 4) centralizer, 5) sürşarj, 6) poroz taş, 7) zemin örneği, 8) lazer ışını giriş aralığı, (b) Permeametre nin fotoğraf görüntüsü..... 8
Şekil 2.3:	Çalışma için tasarlanan santrifüj (a) Santrifüjün şematik gösterimi (ölçeksiz) 1) Örnek haznesi, 2) mesafe ölçen lazer başı, 3) lazer başını sabit kirişe bağlayan kol, 4) kiriş, 5) döner tabla, 6) motor, 7) sistemi sabit tutan kirişler, 8) kapak. (b) Santrifüj fotoğrafı..... 9
Şekil 3.1:	Değişik dönme hızları ve süreleri için zamana karşılık yerdeğiştirme..... 12
Şekil 4.1:	Düşen seviyeli permeabilite deneyi sonuçları..... 13
Şekil 4.2:	Düşen seviyeli permeabilite deneylerinden elde edilen değerlerin ortalamasını gösterir grafik..... 14
Şekil 5.1:	1.25 N sürşarj kullanılarak farklı dönme hızları için düşey deformasyon ve geçirgenlik katsayısı dağılımları..... 19
Şekil 5.2:	2.5 N sürşarj kullanılarak farklı dönme hızları için düşey deformasyon ve geçirgenlik katsayısı dağılımları..... 20
Şekil 5.3:	4.0 N sürşarj kullanılarak farklı dönme hızları için düşey deformasyon ve geçirgenlik katsayısı ilişkileri..... 21

KISALTMALAR LİSTESİ

cm	:	Santimetre
kPa	:	kilo Paskal
m	:	Metre
mm	:	Milimetre
N	:	Newton
RPM	:	Bir dakikadaki dönme sayısı
s	:	Saniye

1. GİRİŞ

Geçirgenlik (permeabilite) barajlarda rezervuar alanı sızdırmazlık analizlerinde, katı atık depolama sahalarında sıkıştırılmış kil tabakalarının geçirimsizliğinin belirlenmesinde, daha az olarak da şev duraylılığı analizlerinde belirlenmesi gereken önemli bir parametredir. Bu çalışmaların bir çoğu arazi koşullarının küçük ölçekli laboratuvar gereçleriyle modellenmesini gerektirmektedir.

Laboratuvarda geçirgenliğin belirlenmesi için en çok kullanılan yöntemlerden ikisi sabit veya esnek duvar (veya üç eksenli tipi) permeametri kullanılarak yapılan sabit ve düşen seviyeli permeabilite deneyleridir. Bu deneylerin geniş özeti Daniel (1994) tarafından belirtilmiştir.

Bir zeminin geçirgenliği, tane boyu, tane şekli ve zemin yapısından (dolayısıyla da zeminin içerdiği ortalama boşluk boyutundan) doğrudan etkilenmektedir. Genellikle zeminlerin tane boyu küçüldükçe ortalama boşluk boyutu azalacağından geçirgenlik de azalmaktadır. Belirli bir zemin için geçirgenlik, doğrudan boşluk oranının bir fonksiyonudur.

Zeminler heterojen olma eğilimindedirler. İnce taneli zeminler büyük ölçekte tabakalanmış olabilirler; ancak, kum, fisür veya çatlak içermelerine göre küçük ölçekte de heterojen bir yapı sunabilirler (Olson ve Daniel, 1981). Bahsi geçen özellikler, zeminlerin geçirgenlik tayininde istenen özelliklerdir. Bu nedenle zeminlerdeki bu özelliklerin etkisinin de değerlendirilmesi için büyük ölçekte deney yapmak daha sağlıklıdır. Ancak, bu hacim laboratuvar deneyleri için oldukça büyüktür. Bundan da öte, laboratuvar deney sonuçları laboratuvarda yapılabilecek çeşitli insan kaynaklı hatalardan ve uniform, sağlam zemin örneklerinin seçilmesinden kaynaklanabilecek zemin örselenmesinden etkilenebilmektedir. Fakat arazi uygulamalarında zeminlerin fisür, zayıf kompaksiyon zonları gibi bazı hidrolik özelliklerine göre bu zeminlerin arazide ölçülen geçirgenlik değerlerinin laboratuvarda ölçülen geçirgenlik değerlerinden 10-1000 kat arasında değiştiği belirtilmiştir (Daniel, 1984; Day ve Daniel, 1985; Gordon, 1989). Laboratuvar deneyleri ile zeminlerin arazideki geçirgenlik değerinin belirlenmesinin uygunluğu

bahsi geçen etkilerden dolayı tartışma konusu olmasına rağmen arazi deneyleri ile kıyaslandığında bazı avantajları vardır. Bunlardan ilki ekonomik olmasıdır. Uygun ekipman ve minimum harcama ile çok sayıda deney yapılabilir. Sıkıştırılmış zeminler söz konusu olduğunda çeşitli yoğunluk ve su içeriğindeki örneklerde geçirgenlik deneyleri kolayca yapılmaktadır. Ayrıca, laboratuvar deneyleri çeşitli değişkenlerin geçirgenlik üzerine etkisinin araştırılmasında parametrik çalışmalara olanak vermektedir (Olson ve Daniel, 1981; Mitchell ve Madsen, 1987).

Laboratuvar ortamında sıkıştırılmış zeminlerin geçirgenliği birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler genel olarak deney örneğinin başlangıç su içeriği (Bjerrum ve Huder, 1957; Lambe, 1958; Mitchell vd., 1965), doygunluk derecesi (Bjerrum ve Huder, 1957; Olson ve Daniel, 1981; Zimmie, 1981), sıkıştırma yöntemi (Mitchell vd., 1965), sıkıştırma enerjisi (Mitchell vd., 1965), hidrolik eğim (Mitchell ve Younger, 1967), boşluk boyutu dağılımı (Garcia-Bengochea vd., 1981), kullanılan sıvının kimyasal özellikleri (Anderson ve Brown, 1981), deney örneğinin yaşı (Dunn, 1983) ve boşluk oranıdır (Bjerrum ve Huder, 1957; Michaels ve Lin, 1954).

Boynton ve Daniel (1985) optimum su içeriği %18 olan örselenmemiş refrakter kil ile yaptıkları çalışmada farklı su içeriklerinde hazırlanan deney örnekleri ile örnek çapının geçirgenlik üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuçlara göre örnek çapı arttıkça geçirgenlik artmaktadır. Ancak başlangıç su içerikleri göz ardı edildiğinde göreceli olarak daha büyük çapa (15 cm) sahip örneklerin geçirgenliği küçük çaplı (3,8 cm) örneklerin geçirgenliğinin en fazla iki katıdır. Doğal sistemlerde hidrolik eğimler genellikle 1' den daha küçüktür. Geçirimsizlik perdeleri ve kil kaplama gibi yapılarda daha yüksek hidrolik eğimler bulunabilmektedir. Ancak, bu değer 10 veya 20'yi aşmamaktadır (Dunn ve Mitchell, 1984). Laboratuvarda temsil edici geçirgenlik değerlerinin elde edilmesi için, genellikle arazideki hidrolik eğime eşit hidrolik eğim kullanılması önerilmiştir (Daniel, 1994; Fox, 1996). Birçok durumda, önerilen bu yöntem çok uzun deney süresi ile sonuçlanmaktadır. Geçirgenlik deney süresini kısaltmak için genellikle laboratuvarda yüksek hidrolik eğimler kullanılmaktadır. Çok yüksek hidrolik eğimin uygulanışı geçirgenlik deneyi örneğinde iki değişiklik yaratabilir. Bunlardan ilki çıkış ucundaki efektif gerilmenin

giriş ucundaki gerilmeden daha fazla olmasıdır. Homojen olmayan bu gerilme dağılımı eğimin büyüklüğüne ve zeminin sıkışabilirliğine göre önemli olabilecek derecede sızma kaynaklı konsolidasyona sebep olabilmektedir. Çıkış uçtaki büyük efektif gerilme ayrıca mevcut olması muhtemel çatlakları ve fisürleri kapatabilir (Daniel vd., 1985). Sonuç olarak, ölçülen hidrolik iletkenlik arazi koşullarını temsil edici değerler olmayabilir. Yüksek sıkışabilirliğe sahip yumuşak, normal konsolide zeminler sızma kaynaklı konsolidasyona, daha az sıkışabilirliğe sahip killerden daha duyarlıdır. İkinci etki ise içsel erozyon ve ince tanelerin göçü olarak söylenebilir (Olson ve Daniel, 1981). Zemin içinde hareket eden partiküller akış yolunu tıkayabilir ve geçirgenliğin azalmasına yol açabilir veya tamamen yıkanarak geçirgenlik değerinin artmasına sebep olabilir.

Geçirgenlik deneyi zaman alan bir deneydir. Suyun zeminin boşluklarından geçmesi, geçirgenlik çok düşük olduğu zaman haftalar sürmektedir. Murray (2003), laboratuvar koşullarında sonuçları hızlandırmak için farklı su içeriklerinde ve yoğunluklarda hazırladığı örnekler üzerinde hızlandırılmış permeabilite (AP) adını verdiği bir yöntem uygulamıştır. Bu yöntemden elde ettiği deney sonuçlarını İngiliz Standardı (BS) sabit seviyeli üç eksenli deneyi sonuçları ile karşılaştırmıştır. Buna göre: i) AP deneyi yüksek derecede tekrarlanabilir, ii) AP deneyinden elde edilen sonuçlar BS deneyi ile karşılaştırılabilir ve iii) BS deneyi yerine AP deneyi yapıldığında zamandan tasarruf sağlanmaktadır ve AP deneyi daha ekonomiktir. Bu çalışmadan deney süresi ile ilgili elde edilen en önemli sonuç zaman tasarrufunun %40 ile %80 arasında oluşudur. Bu sürenin bu çalışmanın da kapsamı olan santrifüj tekniği ile daha da kısaltılacağı öngörülmektedir.

Santrifüj modellemesi geoteknik çalışmalar için kullanışlı deneysel bir yöntem sağlamaktadır. Tam ölçekte deney yapılmasının çok zor olduğu durumlarda, yerçekimi ivmesinden kat kat büyük olan santrifüj ivmesine maruz bırakılan küçük ölçekteki modellerle deney yapılmasına olanak vermektedir. Geçtiğimiz elli yıldan bugüne bu teknikte hatırı sayılır gelişmeler kaydedilmiştir. Santrifüj tekniğindeki yakın geçmişteki gelişmeler ve santrifüj deneyleri yapılarak elde edilen çeşitli çalışmaların sonuçları Craig (1984) ve Ko ve McLean (1991) tarafından belirtilmiştir. Santrifüj deneylerinden elde edilen veriler jeoteknik mühendisliğinde

karmaşık problemlerin ve zeminlerdeki taşınma mekanizmasının anlaşılması (Singh ve Gupta, 2000), saha verilerinin eksik olduğu durumlarda var olan matematiksel modellerin ve var olan standart yöntemlerin eksiklikleri söz konusu olduğunda yeni yöntemlerin doğrulanması için kullanılmaktadır (Zeng ve Lim, 2002). Santrifüj modellemesi yeraltı suyu hareketinin modellenmesi, kirleticilerin dağılımı ve gelişimi ve zeminlerde iyileştirme için geliştirilmiş çeşitli stratejilerin etkinliği ve deprem mühendisliği gibi konularda önemli bilgiler sağlamaktadır. Bir santrifüjde, bir zemin yerçekimi ivmesinden daha büyük bir ivmeye maruz kalmaktadır. Santrifüj tekniğinin laboratuvar ortamında çok yüksek ivme koşullarında belirli bir jeoteknik modelleme çalışmasının süresini kısalttığı bilinmektedir. Bu çalışmalara kömür pasa depolama sahaları (Al-Hussaini vd, 1981), zeminlerden kirleticilerin uzaklaştırılması (Arulandan vd, 1988), geçirimli zeminlerde sıvı akışı üzerindeki ölçek etkisinin araştırılması (Butterfield, 2000), zeminlerde düzensiz akışın modellenmesi (Cargill ve Ko, 1983), şev duraylılığı (Goodings, 1979; Ling vd., 2009), geçirgenlik katsayısının modellenmesi (Singh ve Gupta, 2000) örnek olarak verilebilir. Singh ve Gupta (2000) değişik kompaksiyon derecelerinde hazırladıkları siltli zeminler üzerinde birçok geleneksel 1g laboratuvar deneyleri ile santrifüj deneyleri yapmıştır. Minyatür santrifüj kullanarak yaptıkları çalışmada hidrolik iletkenliğin santrifüjde modellenemediğini belirtmişlerdir.

Cooke ve Mitchell (1991) jeoteknik santrifüj kullanarak doygun olmayan zeminlerde bir boyutlu akışı modellemek amacıyla bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihaz zemin örneğini içeren bir mold ve su tankı içermektedir. Prototip, sabit seviyeli permeabilite deney düzeneğinin santrifüj içerisine yerleştirilmiş şeklindedir.

Geoteknik santrifüjler ile geçirimli malzeme içerisindeki su akışı ile ilgili değişik çalışmaların bir listesini yapabilmek mümkün olsa da, bunlardan hiçbiri kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak derecede pratik değildir. Bu eksikliğin en önemli sebebi jeoteknik santrifüjlerin çok büyük boyutta olmalarına bağlanabilir. Muir Wood (2004) dünyanın değişik yerlerinde kullanılmakta olan milyon dolarlık jeoteknik santrifüjlerin listesini yapmıştır. Bu santrifüjler birkaç yüz kilogram maksimum yükleme kapasitesine ve bir metre veya daha fazla yarıçapa sahiptir. Santrifüjlerin bu özellikleri, araştırmacıları parametrik çalışmalar yapmaktan

alıkoymaktadır. Santrifüj tekniği ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, santrifüj modeli ile bununla ilişkili prototip arasındaki en büyük farkın santrifüj ivmesinin büyüklüğü ve yönü olduğu görülür. Arazideki tipik bir jeoteknik problemde, zemin katmanına etkiyen yerçekimi ivmesi eksenel yönde ve aynı büyüklüktedir. Santrifüj modelinde ise, ivme her zaman ışınsaldır ve santrifüj ivmesinin büyüklüğü efektif yarıçapla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu sebeple santrifüj ivmesi bir zemin tabakasında noktadan noktaya değişmektedir. Schofield (1980) bir zemin tabakasına etkiyen eksenel gerilmedeki santrifüj ivmesi değişiminin etkisini bir boyutlu (1D) yaklaşımla analiz etmiştir. Buna göre, zemin örneğinin üst kısmındaki gerilme daha az iken alt kısımlardaki gerilme buna oranla daha fazladır. Ancak, zemin yüksekliğinin santrifüj yarıçapına oranı 1/10 ve daha az olduğu durumda eksenel gerilme hatası $\pm\%2$ ' den daha fazla olmamaktadır.

Bu çalışmanın hipotezi zeminin gözeneklerinden suyun atılması ile meydana gelen hacim azalmasının oturma ile ilişkili olması ilkesine dayanmaktadır. Buna göre, santrifüj yüklemesine bağlı olarak suyun gözeneklerden atılması ile zeminde meydana gelen eksenel deformasyon arasında bir ilişki olmalıdır. Çalışmanın amacı, santrifüj yöntemi ile düşen seviyeli permeabilite deney süresini büyük ölçüde kısaltmaktır. Bu nedenle statik olarak sıkıştırılmış deney örnekleri üzerinde yapılan düşen seviyeli permeabilite deneylerinden elde edilen geçirgenlik katsayısı ile bununla ilişkili santrifüj deneylerinden elde edilen eksenel deformasyonlar arasında anlamlı bir ilişki kurulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL

Söz konusu çalışma parametrik olduğu için geniş geçirgenlik aralığı sunan zemin örneklerini gerektirmektedir. Bu geniş aralıkta geçirgenlik değerlerine sahip doğal zemin örneklerinin temininin zor olması yapay zemin örnekleri kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Çeşitli geçirgenlik değerlerinde yapay zemin örnekleri elde etmek için iki çeşit zemin kullanılmıştır. Bunlardan ilki $2,68 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip tane boyu $75\mu\text{m}$ den $425\mu\text{m}$ 'ye kadar değişen ince-orta taneli kumdur. İkincisi ise, likit limiti 76, plastik limiti 34, yoğunluğu $2,60 \text{ g/cm}^3$ olan 40 nolu elek kullanılarak elenmiş kildir. Tablo 2.1'de yapay zemin örneklerine ait kuru kil/kum oranı, su içeriği (w) ve doygunluk derecesi (S_r) yüzde olarak verilmiştir.

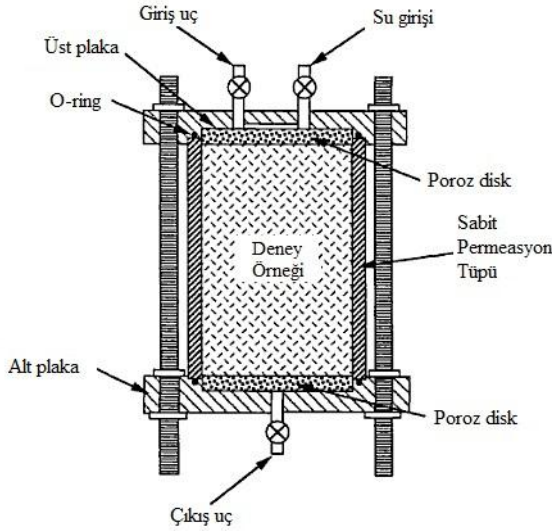
Tablo 2.1. Deney örneklerinin bazı fiziksel özellikleri

Örnek No	Kil/Kum oranı (%)	w(%)	S_r (%)
1	27,1	11,2	61,4
2	28,9	11,5	62,0
3	31,5	13,1	65,1
4	37,9	14,0	76,7
5	40,2	14,0	78,8
6	41,7	15,1	95,1
7	44,1	15,5	96,7
8	46,6	15,9	91,8
9	48,0	15,7	94,7
10	28,0	12,3	60,4
11	30,0	12,7	64,8
12	32,6	13,6	73,9
13	35,3	13,6	74,8
14	34,1	14,2	69,7
15	39,1	14,5	88,2
16	36,6	13,9	80,3

Değişik kil/kum oranlarında 16 yapay zemin örneği hazırlanmıştır. Kuru zemin karışımları kil miktarının yarısı şeklinde sabit tutulan miktardaki su ile karıştırılmıştır. Yapay zemin örneklerinin su içeriği karışıma eklenen daha önceden belirlenmiş su ve zemin miktarlarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Zemin örnekleri iki aşamada hazırlanmıştır.

2.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi Örnekleri

Tez çalışmasının bu aşamasında düşen seviyeli permeabilite deneyi için düşen seviyeli permeametre kullanılmıştır. Permeametrenin şematik kesiti Şekil 2.1’de gösterilmiştir. İlk aşamada düşen seviyeli permeabilite deneyleri için yapay örnekler hazırlanmıştır. Bu sebeple, önceden belirlenmiş miktardaki kuru karışıma su eklenecek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra, ıslak karışım 50 mm boy ve çapa sahip sabit duvar permeametrede statik olarak sıkıştırılmıştır. Düşen seviyeli permeabilite deney örneklerinin statik kompaksiyonu iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda ıslak karışımın yarısı kompaksiyon molduna yerleştirilerek tek eksenli sıkışma düzeneğinde 2,5 kN’a kadar sıkıştırılmıştır. İkinci adımda karışımın kalan yarısı aynı yük altında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra molddaki fazla zemin bıçak yardımıyla sıyrılmıştır. Böylelikle her bir zemin örneği için üç adet düşen seviyeli permeabilite deneyi örneği hazırlanmıştır. Geçirgenlik deneyi sırasında yan duvar sızıntısını önlemek için zemin örnekleri yerleştirilmeden önce moldun çeperi ince bir vazelin tabakası ile kaplanmıştır.

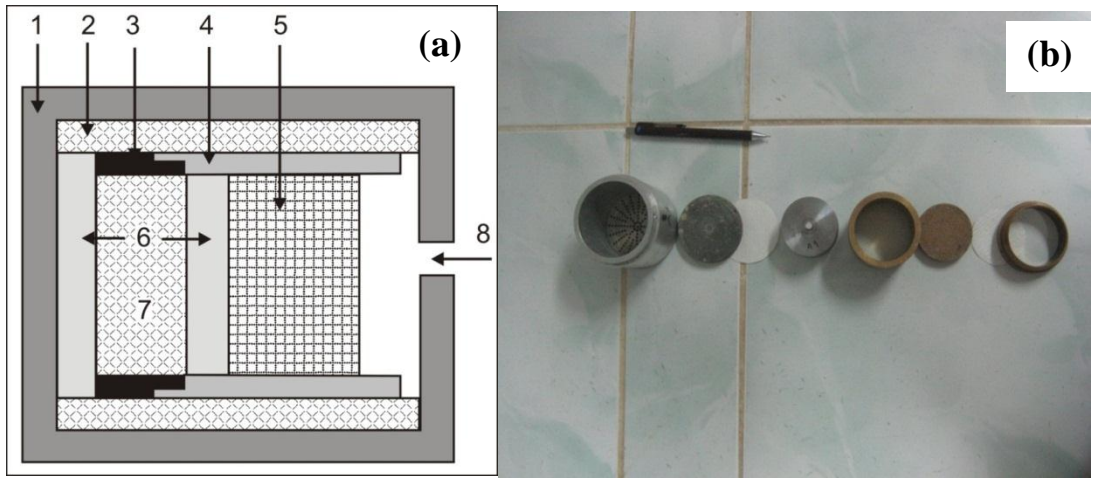


Şekil 2.1. Düşen seviyeli permeametrein şematik gösterimi

2.2. Santrifüj Permeabilite Deneyi Örnekleri

Örnek hazırlanmasının ikinci aşamasında santrifüj deneyleri için örnekler hazırlanmıştır. Bu aşama için hazırlanan ıslak karışımların miktarı permeabilite deneyi örnekleri ile tamamen aynıdır. ıslak karışım 50,5 mm çaplı moldun içerisinde

2.5 kN'a kadar statik olarak sıkıştırılmıştır. Daha sonra sıkıştırılmış örnek 50 mm çap ve 20 mm boydaki konsolidasyon ringine transfer edilmiştir. Örnek, konsolidasyon ringine yerleştirildikten sonra fazlalık bıçak yardımıyla traşlanmıştır. Statik kompaksiyon sırasında kullanılan mold çapının konsolidasyon ringinden çok az da olsa büyük olması santrifüj deney örneğinin konsolidasyon ringine kenarlarda boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmesini sağlamıştır. Bu yöntem ile farklı karışım oranına sahip her örnek için iki adet santrifüj deneyi örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan bu örnekler santrifüj permeametrelerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.2).

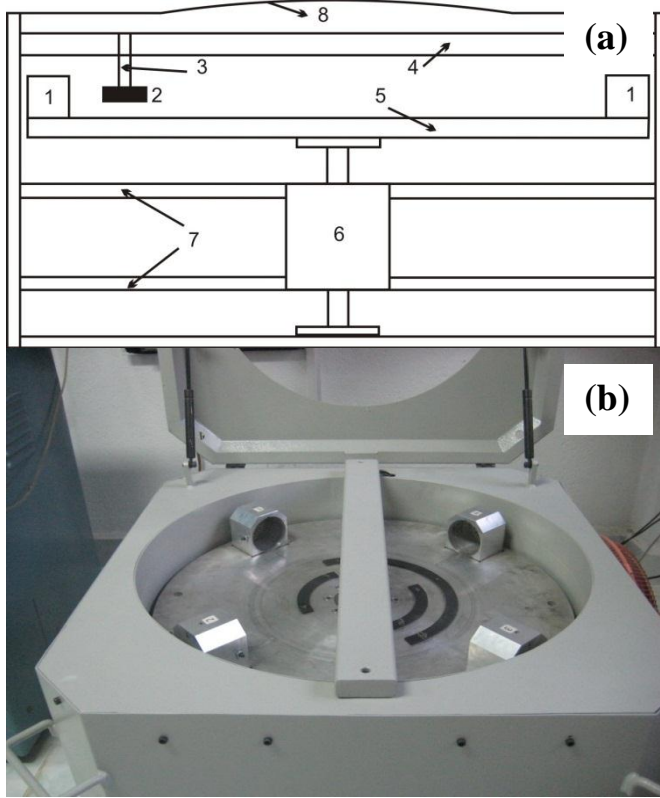


Şekil 2.2. Santrifüj deney örneği ayrıntıları (a) Santrifüj permeametesinin şematik gösterimi(ölçeksiz). 1) Örneğin yerleştirildiği dış hazne, 2) iç silindir kapsül, 3) konsolidasyon ringi, 4) merkezleyici, 5)sürşarj, 6) poroztaş, 7) zemin örneği, 8) lazer ışını giriş aralığı, (b) Permeametre ve elemanlarının fotoğraf görüntüsü

2.3. Santrifüj Cihazı

Çalışma için kullanılan esas cihaz bu çalışma için tasarlanmış olan küçük boyutlu santrifüjdür. Minyatür santrifüjün şematik ayrıntıları Şekil 2.3'de verilmiştir. Santrifüj 0.35 m uzunluğunda yarıçapa ve maksimum 2000/dakika devir hızına sahiptir. Cihazın permeabilite deneyi örneklerini içinde barındıran silindirik parçaları tutan 4 kolu vardır (Şekil 2.3b). Silindirik modulün dıştan içe (cihazın merkezine doğru) bileşenleri taban poroz taşı, taban filtre kağıdı, zemin örneği, tavan filtre kağıdı, üst poroz taş ve sürşarjdır (Şekil 2.2b). Zemin örneğinin orta noktasından santrifüj merkezine olan uzaklık 0,3 m'dir. Santrifüj çalışırken zemindeki yerdeğiştirmeyi ölçmek için sürşarjın üst kısmından yatay olarak uzakta 50 mm' lik lazer ünitesi

bulunmaktadır. Lazerin çözünürlüğü 1.25 μm olup saniyede yaklaşık 100 okuma almaktadır. Lazer ışınının nüfuz ettiği deliğin çapı 6 mm' dir.



Şekil 2.3. Çalışma için tasarlanan santrifüj (a) Santrifüjün şematik gösterimi (ölçeksiz) 1) Örnek haznesi, 2) mesafe ölçen lazer ünitesi, 3) lazer ünitesini sabit kirişe bağlayan kol, 4) kiriş, 5) döner tabla, 6) motor, 7) sistemi sabit tutan kirişler, 8) kapak. (b) Santrifüj fotoğrafı

3. YÖNTEMLER

Bu çalışma için düşen seviyeli permeabilite deneyi, şişme deneyi (serbest şişme ve şişme basıncı) ve santrifüj deneyi olmak üzere üç deney yöntemi kullanılmıştır.

3.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi

Düşen seviyeli permeabilite deneyi için hazırlanan sıkıştırılmış örneğin altına ve üstüne olmak üzere filtre kağıdı ve poroz taş yerleştirilmiştir. Filtre kağıdı sadece poroz taşın tıkanmasını önlemektedir. Su akış yönü yukardan aşağıyadır. Hidrolik eğim düşen seviyeli permeabilite deneyi için 20-25 arasında tutulmuştur. Sıkıştırılmış deney örneklerinin geçirgenlik değerlerine göre deney süresi bir gün ile üç hafta arasında değişmiştir. Günlük okumalar (geçirgenlik yüksek olduğu zaman saatlik okumalar) alınmıştır ve örneklerin geçirgenlik değerleri aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$k = \frac{aL}{A\Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3.1)$$

Burada k geçirgenlik (m/s), a borunun kesit alanı (cm²), L örneğin boyu (cm), A örneğin kesit alanı (cm²), Δt ise borudaki su seviyesinin h_1 ' den h_2 ' ye düşmesi için geçen zamandır (s).

3.2. Şişme Deneyi

Şişme deneyleri deney örneklerinin şişme potansiyellerinin düşük olduğundan emin olmak için yapılmıştır. Bu durum özellikle permeabilite deneyleri için çok önemlidir. Şişme potansiyeli yüksek olduğu zaman permeametre içerisindeki zeminin hacimsel genişlemesine izin verilmediğinden şişen zemin boşluk oranının azalmasına yol açmaktadır. Bu da gerçek geçirgenlik değerinden daha düşük geçirgenlik elde edilmesiyle sonuçlanmaktadır.

Serbest şişme deneyleri konsolidasyon ringlerinde statik olarak sıkıştırılmış örnekler üzerinde yapılmıştır. Örnek önce 1D konsolidasyon ringlerine yerleştirilmiş ve 7 kPa'lık gerilme uygulanmıştır. 24 saat sonra şişme kaydedilmiştir ve serbest şişme, kabarma miktarının örneğin boyuna bölünmesiyle hesaplanmıştır. Şişme basıncı den-

eyleri ise yine 1D konsolidasyon ringlerinde sıkıştırılmış örnekler üzerinde yapılmıştır. Örnekler su altında bırakılmış ve sıfır hacim değişimi koşulları altında yükleme hücresi ile şişme kuvveti kaydedilmiştir. 24 saat sonunda kaydedilen şişme kuvveti örneğin kesit alanına bölünerek şişme basıncı hesaplanmıştır.

3.3. Santrifüj Deneyi

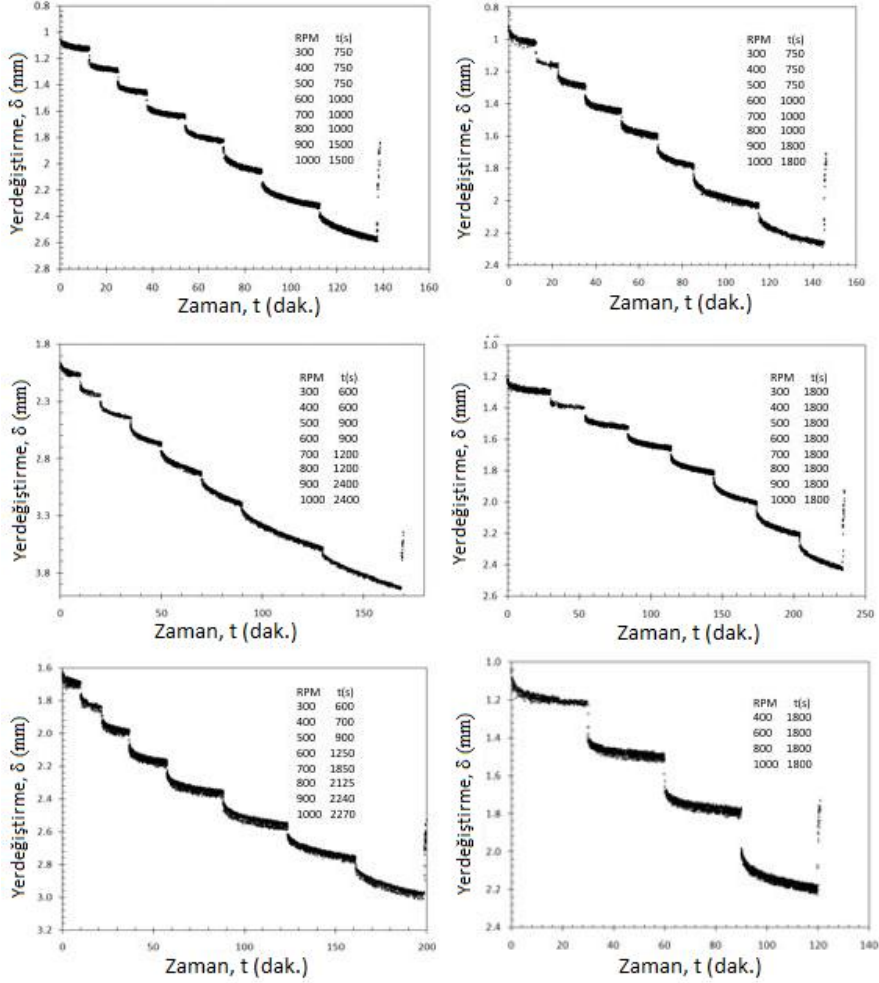
Santrifüjlerin konsolidasyon ve hidrolik iletkenlik ile ilgili daha önceki çalışma sonuçları zamana karşılık oturma (örn., Kimura vd., 1984; Robinson vd., 2003) veya zamana karşılık aşırı boşluk basıncı (örn., Moo-Young vd., 2003; Su vd., 2009) şeklindedir.

Santrifüj permeabilite deney sonuçlarının zamana karşılık oturma şeklinde sunulması daha makul bir seçim gibi görünmektedir. Bu çalışma için dizayn edilen ve üretilen minyatür santrifüj farklı dönme hızlarında toplamda bir kaç saate kadar çalışabilmektedir. Bu noktada bir soru belirlemektedir: spesifik yükleme seviyesi için çalışma süresi ne kadar olmalıdır? Bazı deneme deneyleri yapmadan önce bu sorunun cevabını vermek çok zordur.

Santrifüj ivmesi gravitasyonel ivmeden (1g) büyük (en az 10 kat) olduğu için dönme hızı sabit olsa da sabit santrifüj kuvveti altında deney örneği boyunun azaltılması gerektiği kabul edilebilir. Bu yüzden herhangi bir santrifüj yükleme seviyesinde en elverişli deney süresini belirlemek için bir dizi santrifüj deneyleri yapılmıştır.

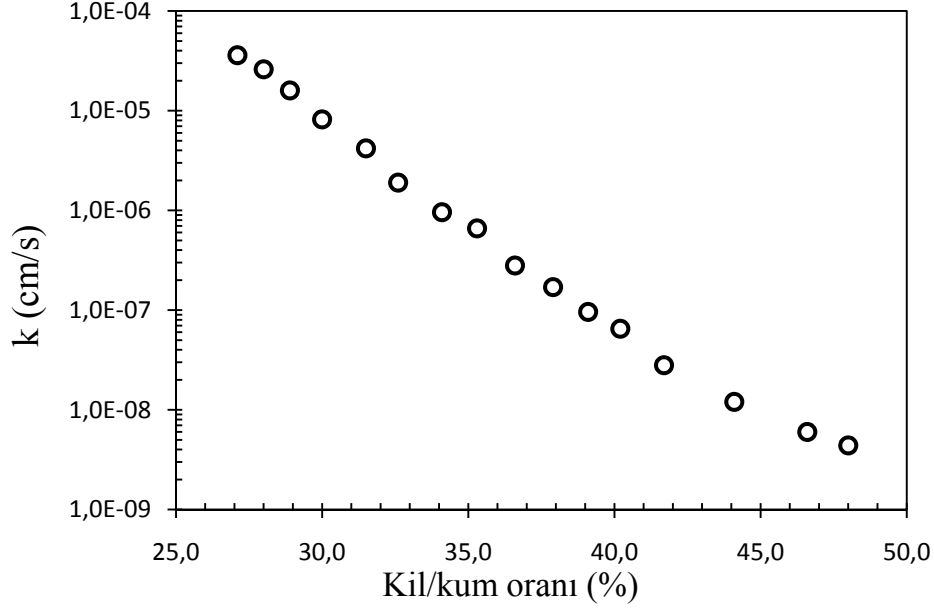
Şekil 3.1 her grafikte değişik deney sürelerinin gösterildiği altı farklı senaryoyu ifade etmektedir. Örneğin, sol üstteki grafik 300 RPM, 400 RPM ve 500 RPM'lik yükleme koşulları için 750 s; 600 RPM, 700 RPM ve 800 RPM'lik yükleme koşulları için 1000 s; 900 RPM ve 1000 RPM'lik yükleme koşulları için 1500 s deney süresini ifade etmektedir. Şekil 3.1'den çıkarılacak genel sonuç herhangi bir dönme seviyesi için oturmanın büyük kısmının ilk 10 dakikalık sürede gerçekleştiğidir. Bu süre diğer santrifüj permeabilite deneyleri için en elverişli süre olarak kullanılmıştır. Şekil 3.1'deki zamana karşılık oturma verilerinin saçılımı da ele alınması gereken bir noktadır. Lazerin sürşarjın en üst kısmı ile lazer ışını kaynağı arasındaki mesafeyi ölçme çözünürlüğü 1,25 μm olsa da, ölçülen uzaklık kesin değildir. Bu hatanın muhtemel iki sebebi cihaz titreşimleri ve sürşarjın mikro boyuttaki yüzey pürüzlülüğüdür. Bu

hata kaynakları lazerin ölçtüğü mesafe üzerinde onlarca mikrometre saçılıma neden olabilir. Bununla birlikte, bu durum t_{90} 'ın belirlenmesi gibi konsolidasyona yönelik deneylerde bir problem oluşturabilecekken, her dönme hızı aşamasından sonra aksel deformasyonların belirlenmesinde önemli bir sorun oluşturmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Değişik dönme hızları ve süreleri için zamana karşılık yerdeğiştirme

Şekiller incelediğinde dikkati çeken bir diğer konu da deney bittikten sonra santrifüj veri merkezinin kaydettiği geri sekmedir. Santrifüj yavaşlarken deney süresince zeminde meydana gelen aksel yerdeğiştirmenin miktar olarak hemen hemen yarısının deney sonunda geri teptiği görülmektedir. Bunun sebebi, zemin örneğine uygulanan santrifüj kuvvetinin zeminde kalıcı deformasyon meydana getirmeyecek kadar kısa süreli olmasıdır.



Şekil 4.2. Düşen seviyeli permeabilite deneylerinden elde edilen değerlerin ortalamasını gösterir grafik

Deney örnekleri santrifüj permeabilite deneylerinden önce doymun hale getirilmiştir. Hazırlanan örneklerde deney esnasında şişme meydana gelmeyeceğinden emin olmak için 16 deney örneği üzerinde serbest şişme ve şişme basıncı deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir. Örneklere ait serbest şişme değerleri % 2,5 civarında iken serbest basınç değerleri de genel itibarıyla 25 kPa dolayındadır. Bu sonuçlar potansiyel hacim değiştirme kullanılarak yapılan şişme-büzülme potansiyeli sınıflamasına göre (Soil Survey Staff, 1993) düşük seviyeli permeabilite veya santrifüj permeabilite deney sonuçlarını etkileyecek düzeyde değildir.

Tablo 4.1. Şişme deneyleri sonuçları

Örnek No	SŞ (%)	ŞB (kPa)	Örnek No	SŞ (%)	ŞB (kPa)
1	1,4	19	9	3,1	35
2	1,3	19	10	3,6	35
3	1,2	26	11	3	22
4	1,7	32	12	3,4	17
5	1,2	22	13	2,7	20
6	2,5	19	14	2,6	21
7	1,8	28	15	2,3	20
8	1,3	44	16	1,4	17

SŞ: Serbest şişme, ŞB: Şişme basıncı

Santrifüj geçirgenlik deneyleri için daha önce de bahsedildiği gibi 20 mm yükseklik ve 50 mm çapa sahip statik olarak sıkıştırılmış örnekler kullanılmıştır. Santrifüj deneyleri için başlangıç olarak 1,25 N'luk sürşarj kullanılmıştır. Daha sonra sırasıyla 2,5 ve 4,0 N'luk sürşarjlar kullanılmıştır. Bir zemin örneğine ait iki adet deney örneği aynı anda santrifüj yüklemesine maruz bırakılmıştır. Santrifüj deneyine 300 RPM ile başlanmış, 100 RPM'lik artışla her yükleme kademesinde santrifüj 10'ar dakika süre ile koşturulmuştur. Yüklemenin son aşaması 1200 RPM olup her bir deney toplamda 100 dakika sürmüştür. Santrifüj permeabilite deney verileri sürekli olarak santrifüje bağlı veri transfer merkezinde geçen zamana karşılık eksenel yerdeğiştirme şeklinde kaydedilmiştir. Daha sonra bu verileri bilgisayar ortamına aktararak elde edilen bu grafiklerden her yükleme kademesi sonucundaki eksenel yerdeğiştirmeler okunmuştur. Daha sonra aşağıdaki eşitlik ile eksenel deformasyon (ϵ) değerleri yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon = \Delta L/L * 100 \quad (4.1)$$

Burada, ΔL örneğin boyunda meydana gelen değişim (mm) ve L örneğin ilk boyunun mm cinsinden değeridir.

İlk grup santrifüj permeabilite deneyleri 1,25 N sürşarj kullanılarak yapılmıştır. Bu deneylere ait her bir dönme hızına ait ortalama eksenel deformasyonlar Tablo 4.2'de sunulmuştur. Deneyler sırasında kullanılan sürşarjın geçirgenlik ve eksenel deformasyon arasındaki ilişki üzerinde etkisinin incelenmesi amacıyla ikinci grup santrifüj permeabilite deneyleri 2,50 N'luk sürşarj kullanılarak yapılmıştır. Santrifüj deneylerine ait sonuçların özeti Tablo 4.3'te verilmiştir. Üçüncü grup santrifüj permeabilite deneyleri 4,0 N sürşarj kullanılarak yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.2. 1,25N sürşarj kullanılarak değişik dönme hızlarında elde edilen eksenel deformasyonlar

Örnek No	300 RPM	400 RPM	500 RPM	600 RPM	700 RPM	800 RPM	900 RPM	1000 RPM	1100 RPM	1200 RPM
1	0,50	1,28	2,03	2,75	3,40	4,10	4,75	5,38	6,03	6,73
2	0,43	1,08	1,88	2,25	3,15	3,53	4,33	4,98	5,60	6,18
3	0,58	1,15	1,70	2,28	2,78	3,30	3,88	4,40	4,95	5,53
4	0,65	1,45	2,13	2,83	3,53	4,20	4,85	5,50	6,20	6,80
5	0,58	1,08	1,85	2,50	3,13	3,68	4,38	4,93	5,70	6,15
6	0,50	1,20	1,98	2,73	3,55	4,13	4,83	5,55	6,23	7,00
7	0,48	1,20	1,98	2,73	3,43	4,13	4,85	5,50	6,33	6,95
8	0,53	1,45	2,25	3,05	3,80	4,33	5,15	5,78	6,45	7,13
9	0,43	1,00	1,63	2,05	3,03	3,63	4,25	4,90	5,35	6,28
10	0,95	1,95	2,55	3,15	3,90	4,60	5,25	5,85	6,50	6,75
11	0,80	1,73	2,55	3,43	4,25	5,00	5,70	6,48	7,53	8,05
12	0,88	2,18	3,18	4,18	5,05	6,00	6,88	7,70	8,60	9,38
13	0,40	1,45	2,35	3,20	3,90	4,65	5,33	6,00	6,80	7,48
14	0,40	1,08	1,68	2,20	2,73	3,40	3,98	4,55	5,15	5,80
15	0,80	1,55	2,38	3,10	3,95	4,53	4,88	5,85	6,53	7,03
16	0,63	1,55	2,40	3,30	3,98	4,85	5,55	6,08	6,80	7,50

Tablo 4.3. 2,5N sürşarj kullanılarak değişik dönme hızlarında elde edilen eksenel deformasyonlar

Örnek No	300 RPM	400 RPM	500 RPM	600 RPM	700 RPM	800 RPM	900 RPM	1000 RPM	1100 RPM	1200 RPM
1	0,80	1,88	2,88	3,95	4,98	6,08	6,93	7,88	8,80	9,88
2	0,70	2,05	3,35	4,45	5,20	6,20	7,50	8,35	9,35	10,50
3	0,58	1,83	2,90	3,80	4,75	5,68	6,63	7,60	8,43	9,43
4	1,15	2,65	3,85	4,95	6,08	7,18	8,28	9,40	10,50	11,63
5	0,53	1,55	2,43	3,25	3,98	4,63	5,43	6,18	6,88	7,70
6	0,83	1,70	2,55	3,33	4,15	4,95	5,85	6,73	7,75	8,80
7	0,78	1,78	2,88	3,88	4,68	5,53	6,43	7,18	8,08	8,95
8	0,65	1,60	2,30	3,28	3,93	4,85	5,65	6,50	7,40	8,30
9	0,60	1,30	2,00	2,93	3,68	4,53	5,30	6,13	7,05	7,98
10	0,85	2,10	2,90	3,78	4,73	5,73	6,68	7,88	9,08	10,35
11	0,90	2,18	3,33	4,35	5,33	6,33	7,28	8,28	9,20	10,23
12	0,95	2,38	3,38	4,33	5,20	6,10	7,08	7,98	8,88	9,88
13	0,63	1,35	2,15	2,90	3,60	4,30	5,03	5,75	6,60	7,45
14	0,83	1,80	2,55	3,43	4,18	5,10	5,80	6,65	7,50	8,35
15	0,33	1,18	2,13	3,00	3,88	4,80	5,48	6,30	7,13	8,00
16	1,10	2,48	3,68	4,63	5,53	6,53	7,40	8,38	9,28	10,30

Tablo 4.4. 4,0N sürşarj kullanılarak değişik dönme hızlarında elde edilen eksenel deformasyonlar

Örnek No	300 RPM	400 RPM	500 RPM	600 RPM	700 RPM	800 RPM	900 RPM	1000 RPM	1100 RPM	1200 RPM
1	0,78	1,65	2,50	3,45	4,25	5,23	6,20	7,20	8,28	9,43
2	1,35	2,48	3,53	4,58	5,53	6,63	7,78	8,90	10,08	11,33
3	0,88	1,73	2,58	3,45	4,30	5,23	6,18	7,23	8,40	9,53
4	0,90	1,88	2,68	3,43	4,30	5,18	6,23	7,30	8,58	9,88
5	0,93	1,53	2,53	3,25	4,00	4,90	5,93	6,85	7,98	9,08
6	0,75	1,83	2,70	3,68	4,50	5,43	6,43	7,38	8,33	9,45
7	0,45	1,28	2,10	2,95	3,75	4,65	5,50	6,33	7,43	8,43
8	0,55	1,48	2,23	3,18	4,08	4,80	5,75	6,60	7,55	8,43
9	1,00	1,85	2,68	3,48	4,28	5,13	6,10	7,00	8,03	9,08
10	1,28	2,33	3,35	4,55	5,70	7,08	8,40	9,75	11,03	12,40
11	0,70	1,88	3,13	4,38	5,68	7,00	8,25	9,55	10,90	12,18
12	0,85	2,10	3,28	4,48	5,60	6,88	8,13	9,45	10,78	12,03
13	0,95	1,90	2,93	3,80	4,90	6,00	7,23	8,40	9,68	10,80
14	0,95	1,80	2,70	3,53	4,23	5,20	6,28	7,35	8,45	9,63
15	0,93	1,75	2,70	3,63	4,58	5,60	6,63	7,75	9,03	10,18
16	0,70	1,48	2,43	3,60	4,68	5,83	7,13	8,38	9,70	10,95

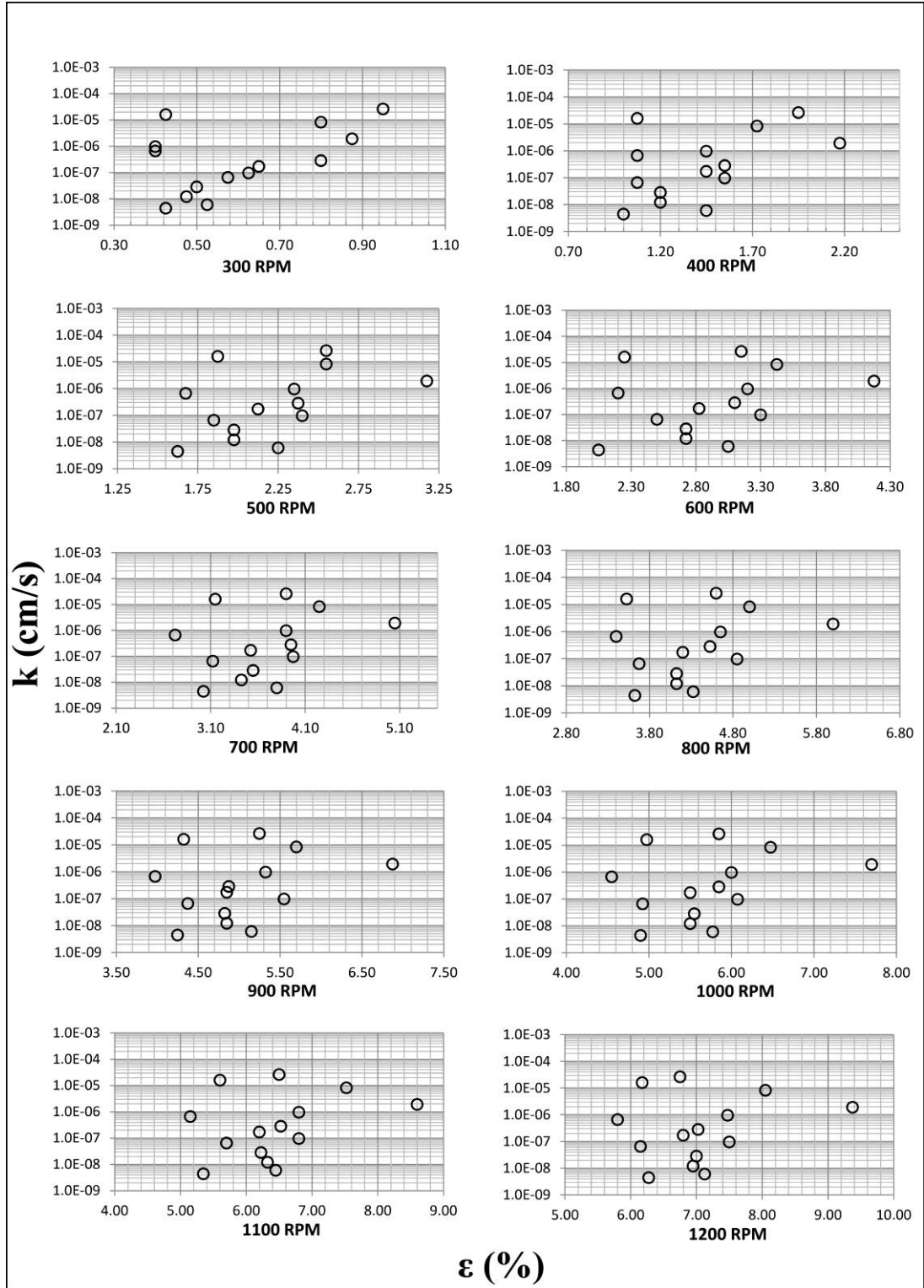
5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

5.1. Regresyon Analizi

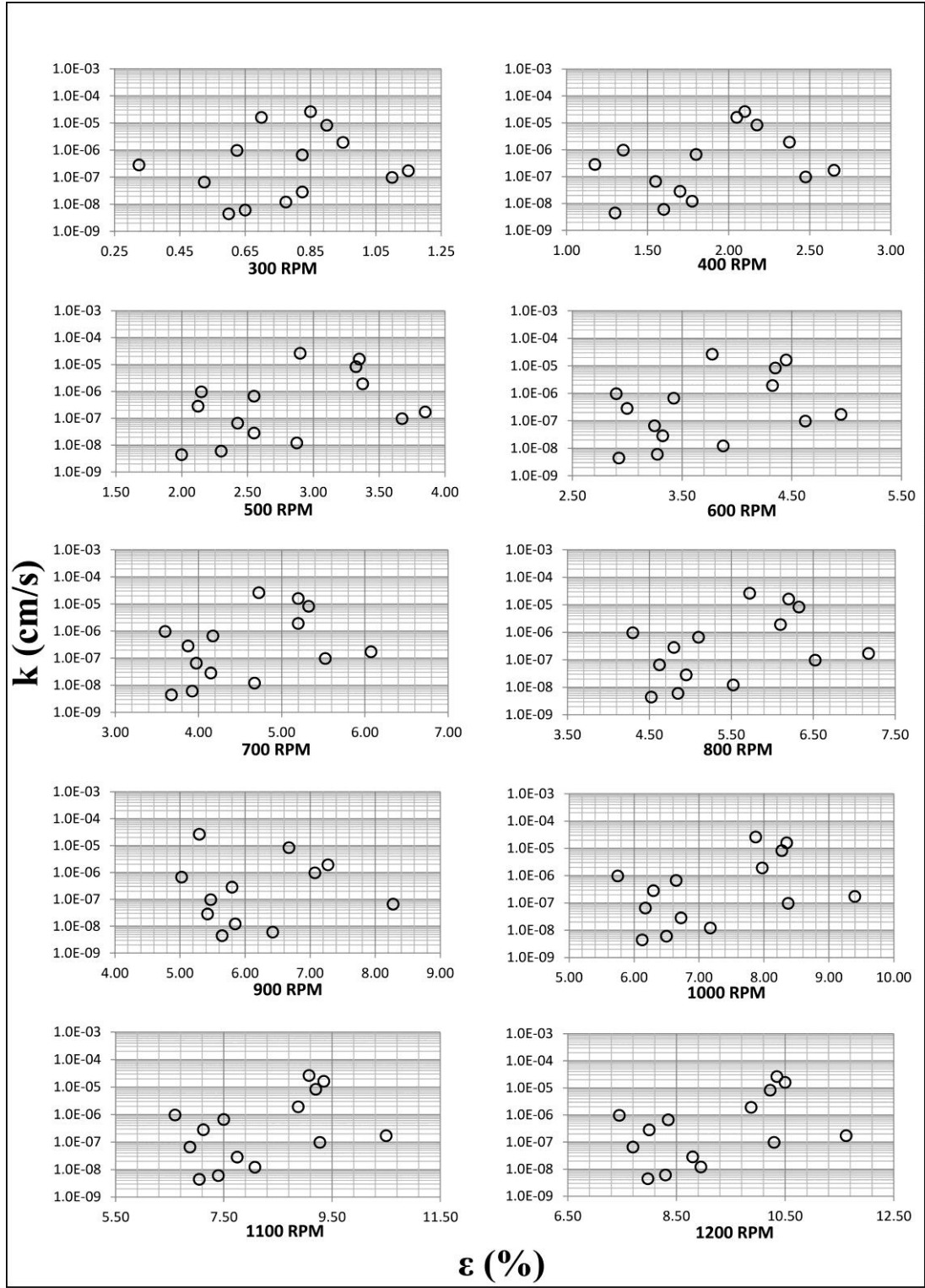
Her bir dönme hızı ve sürşarj için santrifüj geçirgenlik ve düşen seviyeli permeabilite deneylerinden elde edilen geçirgenlik katsayısı ve eksenel deformasyon değerleri ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Bağımlı değişken geçirgenlik katsayısı, k (cm/s) ve bağımsız değişken eksenel deformasyon, ϵ (%) değerleri sırasıyla y ve x ekseninde olacak şekilde dağılım grafikleri çizilmiştir. Geçirgenlik katsayısı logaritmik eksende gösterilmiştir.

Şekil 5.1 ve 5.2 sırasıyla 1.25 ve 2.5 N sürşarj kullanılarak her bir dönme hızı için elde edilen eksenel deformasyon ve geçirgenlik katsayısı değerlerinin dağılımlarını göstermektedir. Bu dağılımlara ait en iyi ilişkiyi üstel ve üssel ilişki vermiştir. Ancak yine de dağılımların bahsi geçen ilişkilere ait korelasyon katsayıları 0.45'i geçmemektedir. Buna göre, bu iki sürşarj yükü ile yapılan deneylere ait sonuçlar incelendiğinde istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür.

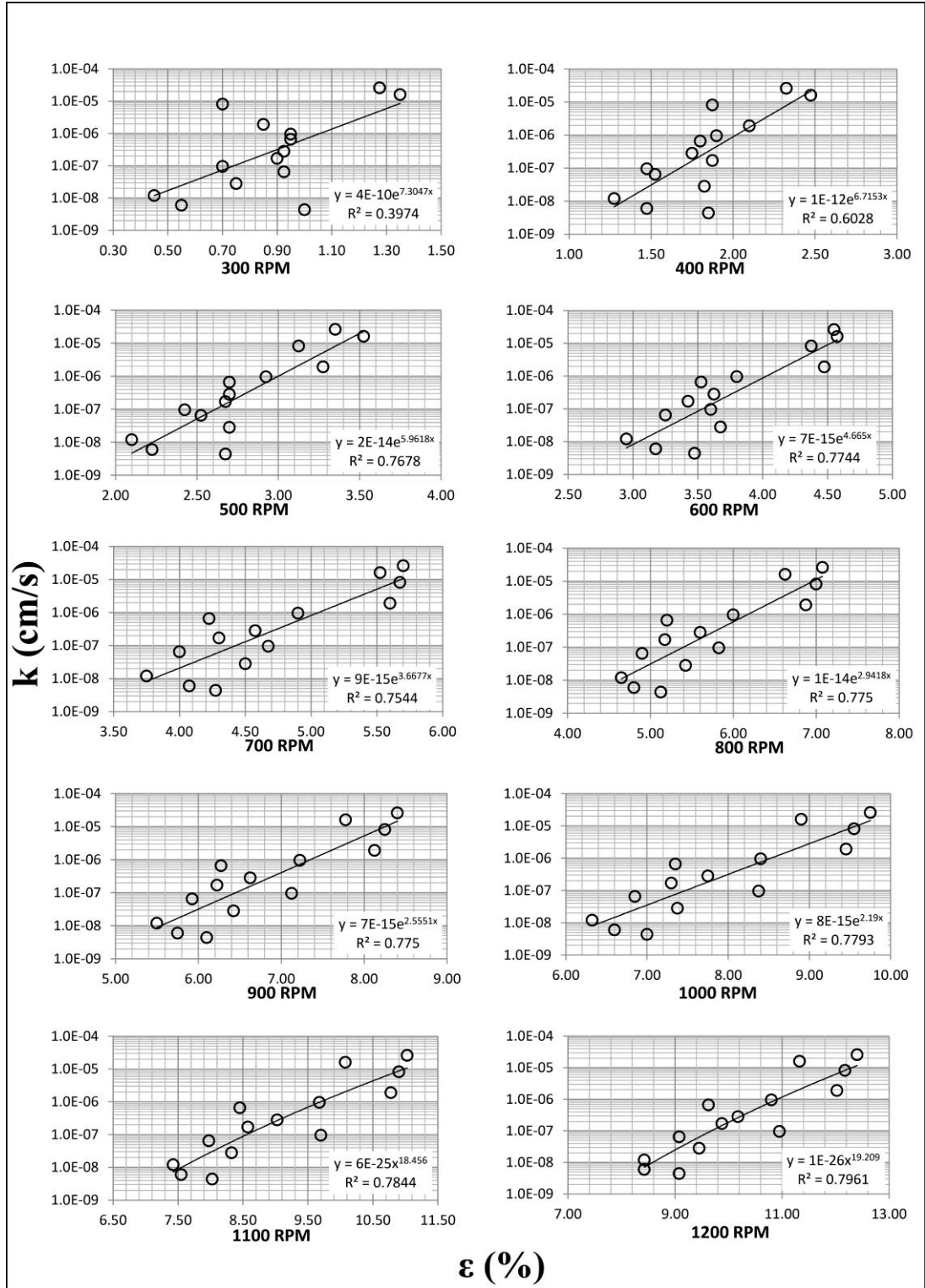
4.0 N sürşarj kullanılarak yapılan santrifüj deneylerinden elde edilen eksenel deformasyon değerleri ile bu örneklerle ilişkili geçirgenlik katsayısı değerleri aynı şekilde regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bu analizlere ait geçirgenlik katsayısı ve eksenel deformasyonların her bir dönme hızı için en iyi ilişkiyi veren (üstel) dağılımları ile bunlarla ilişkili eğilim çizgileri ve belirtme katsayıları (R^2) Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 1,25 N sürşarj kullanılarak farklı dönme hızları için aksel deformasyon ve geçirgenlik katsayısı dağılımları



Şekil 5.2. 2,5 N sürüşarj kullanılarak farklı dönme hızları için aksenal deformasyon ve geçirgenlik katsayısı dağılımları



Şekil 5.3. 4,0 N sürşarj kullanılarak farklı dönme hızları için aksel deformasyon ve geçirenlik katsayısı ilişkileri

Çalışmadan elde edilen deney sonuçlarına göre 4,0 N sürşarj için verilen k ve ϵ dağılımları ve regresyon ilişkileri bu iki parametre arasında anlamlı hatta yüksek

sayılabilecek nitelikte ilişki olduğunu göstermektedir. Bu grafikler 1,25 N ve 2,5 N sürşarj kullanılarak yapılan deney sonuçlarından elde edilen ilişkiler ile karşılaştırıldığında korelasyon katsayılarının çok daha yüksek oluşu itibariyle umut verici görünmektedir. Ancak 4,0 N sürşarja ait deney sonuçlarından elde edilen grafiklerde de bazı saçılımlar görülmektedir. Bu saçılımların nedeni düşen seviyeli permeabilite deneylerindeki belirsizliklere bağlanabilir.

5.2. t ve F Testi

X bağımsız değişkeni ile Y bağımlı değişkeni arasında bir ilişkinin varlığı, her bir bireyin x_i ve y_i değerlerinin koordinat düzlemi üzerinde oluşturdukları noktaların dağılımına bakılarak tahmin edilmektedir. Ancak, bu tahminin tutarlı olup olmadığının araştırılması gerekir. Bunun için, regresyon katsayısının önem kontrolü, doğrusallıktan ayrılışın önem kontrolü yapılır (Alpar, 2003).

Regresyon analizi ile bulunan korelasyon katsayısının (r) önem kontrolü değişkenlerin normal dağılım gösterdiği ve gözlem değerlerinin rastgele seçildiği varsayımı kabul edilerek t testi ile yapılmaktadır. Test, hesaplanan t değerleri ve tablo t değerlerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Önce hipotez kurulur. Sıfır hipotezinde (H_0 , hiç) regresyon katsayısı önemsizdir. Diğer hipotezde ise (H_a) regresyon katsayısı önemlidir. Regresyon katsayısının önemsiz olması demek; örneklemin çekildiği kitlede, bağımsız değişkende bir birimlik değişimin, bağımlı değişkende değişiklik yaratamayacağı demektir. Test istatistiği aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$t = b_1 / S_{b1} \quad (5.1)$$

$$S_{b1} = \sqrt{\frac{RAKO}{XOACT}} \quad (5.2)$$

Serbestlik derecesi (n-2) ve α anlamlılık düzeyine göre tablodan t değeri bulunur. Eğer hesaplanan t değeri tablo t değerinden büyükse hiç hipotezi red edilir. Bu durum r'nin önemli olduğu anlamına gelir. Eğer hesapla bulunan t değeri tablo t değerinden küçük ise hiç hipotezi kabul edilir ve bu durumda r önemsizdir. Önerilen regresyon modelinin önemini test etmek için kullanılan test dağılımı F'dir. t testinde

olduğu gibi aynı şekilde hipotez kurulur. Sıfır hipotezi gözlenen noktaların regresyon doğrusuna uyumu önemsizdir'i (model geçersizdir) önermektedir. Buna karşılık gözlenen noktalar regresyon doğrusu ile tanımlanabilir (model geçerlidir) hipotezi kurulur. Daha sonra aşağıda verilen formül dizisi ve Tablo 5.2'deki veriler kullanılarak F değeri hesaplanır.

$$F = RKO/RAKO \quad (5.3)$$

$$XOAKT = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.4)$$

$$YOAKT = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.5)$$

$$XYÇT = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5.6)$$

$$RKT = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{Y})^2 = \frac{(XYÇT)^2}{XOAKT} \quad (5.7)$$

$$RAKT = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = YOAKT - RKT \quad (5.8)$$

Burada XOAKT: x ortalamadan ayrılış kareler toplamı, YOAKT: y ortalamadan ayrılış kareler toplamı, XYÇT: x ve y çarpımlar toplamı, RKT: regresyon kareler toplamı, RAKT: regresyondan ayrılış kareler toplamı, x_i : bağımsız değişken, \bar{x} : x'in ortalaması, y_i : bağımlı değişken, \bar{y} ise y'nin ortalamasıdır.

Tablo 5.2. Regresyon analizi için varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Hesap İstatistiği
Regresyon	1	RKT	RKT/1	
Hata (Artık)	(n-2)	RAKT	RAKT/(n-2)	RKO/RAKO
Toplam	(n-1)	YOAKT		

1 ve (n-2) serbestlik dereceli ve belirlenen α anlamlılık düzeyinde F tablo değeri bulunur. Eğer hesaplanan F değeri tablo F değerinden büyük ise sıfır hipotezi

reddedilir. Böylece regresyon analizi yapılan iki parametre arasında gerçek bir ilişki var denir.

Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında düşen seviyeli permeabilite deneyinden elde edilen k ve 4,0 N sürşarj kullanılarak yapılan santrifüj permeabilite deneylerinden elde edilen ε değerleri ile yapılan regresyon analizi ve elde edilen regresyon katsayılarının geçerliliğini ve önemini test etmek amacıyla t ve F testleri yapılmıştır. Bu çalışma için %95 güvenilirlik seviyesi seçilerek tablo t ve tablo F değerleri belirlenmiştir. Bu analizlere ait sonuçlar her bir dönme hızı için en iyi ilişki, r , ortalama standart hata (MSE), F_{hesap} , F_{tablo} , t_{hesap} , t_{tablo} değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. 4,0 N için regresyon analizi sonuçları

RPM	Eşitlik	r	MSE	F_{hesap}	F_{tablo}	t_{hesap}	t_{tablo}
300	$k=4E-10e^{7,3\varepsilon}$	0,6	4E-11	22,7	4,75	2,6	2,2
400	$k=1E-12e^{6,7\varepsilon}$	0,8	3E-11	12,5	4,75	2,6	2,2
500	$k=2E-14e^{6\varepsilon}$	0,9	3E-11	12,1	4,75	3,3	2,2
600	$k=7E-15e^{4,7\varepsilon}$	0,9	2E-11	37,4	4,75	5,1	2,2
700	$k=9E-15e^{3,7\varepsilon}$	0,9	3E-11	21,7	4,75	3,6	2,2
800	$k=1E-14e^{3\varepsilon}$	0,9	3E-11	20,5	4,75	3,3	2,2
900	$k=7E-15e^{2,6\varepsilon}$	0,9	2E-11	23	4,75	4	2,2
1000	$k=8E-15e^{2,2\varepsilon}$	0,9	2E-11	20,3	4,75	3,7	2,2
1100	$k=3E-15e^{2\varepsilon}$	0,9	3E-11	14,8	4,75	2,9	2,2
1200	$k=1E-15e^{1,9\varepsilon}$	0,9	3E-11	19,5	4,75	3	2,2

Regresyon analizlerinde önemli olan bir diğer husus ise korelasyon katsayısının yüksek olmasından daha çok ilişkinin ortalama standart hatasıdır. Örneğin, yüksek korelasyon katsayısı veren bir ilişki ile göreceli olarak daha düşük korelasyon katsayısına ait eşitliklerde ortalama standart hatası daha düşük olan eşitlikler önerilmektedir. Bu durumun da hesaba katılması amacıyla her regresyon eşitliğine ait ortalama standart hatalar hesaplanmıştır. Buna göre ortalama standart hataların birbirine büyük ölçüde yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre korelasyon katsayısı yüksek olan eşitliklerin önerilmesinde bir sakınca yoktur.

6. TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada düşen seviyeli 16 adet değişik kil/kum oranlarında yapay olarak hazırlanmış zeminlere ait geçirgenlik deneyi sonuçları ile santrifüj permeabilite deneyleri sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde regresyon analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kuru karışımların gradasyon kompozisyonları iri taneli zeminlere dahil olsa da içeriklerindeki kil miktarları bunları killi zemin yapmakta ve dolayısıyla bu zeminler düşük geçirgenlik değerleri sunmaktadır.

Santrifüj ile geçirgenlik katsayısının belirlenmesi için yapılmış önceki çalışmalarda kullanılan santrifüjler daha çok araştırmaya yönelik ve büyük ölçektedir. Bu çalışma minyatür santrifüj kullanılarak düşük değerlere sahip geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde santrifüj permeabilite deneylerinin önemli ölçüde başarı sağladığını ortaya koymaktadır ve önerilen yöntem rutin test olma potansiyeline sahiptir.

Çalışmada elde edilen en önemli bulgulardan biri de santrifüj permeabilite deneyinin sürşarj duyarlı olduğudur. Yapılan regresyon analizleri sonucunda 1,25 N ve 2,5 N sürşarj kullanılarak yapılan deney sonuçları ile geçirgenlik katsayısı arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Düşen seviyeli permeabilite deneylerinden ve santrifüj permeabilite deneylerinden elde edilen eksenel deformasyonlar karşılaştırıldığında, en iyi sonucu 4,0 N sürşarj kullanılarak yapılan deney sonuçları vermiştir. 4,0 N'luk sürşarj kullanılarak elde edilen ilişki daha ağır bir sürşarj kullanılarak geliştirilebilir.

Bu parametrik çalışmadaki bir diğer değişken olan RPM açısından bakıldığında 4,0 N sürşarj kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile yapılan istatistiksel analizlere göre iki parametre arasındaki ilişkinin RPM'den pek etkilenmediği görülmüştür. Özellikle 500 RPM de dahil olmak üzere daha yüksek dönme hızlarından elde edilen sonuçlar aynı korelasyon katsayısını vermiştir. Böylece santrifüj deney süresinin yüz dakika yerine 500 RPM ile otuz dakika da sürebileceği öngörülmektedir. Regresyon analizleri ile 4,0 N sürşarj ve her bir dönme hızı için en iyi korelasyon katsayısı veren eşitlikler bulunmuştur. Ayrıca bu sonuçlar üzerinde korelasyon katsayısı ve regresyon modelinin önem kontrolü için t ve F testleri

yapılmıştır. Bu test sonuçlarına göre önerilen eşitliklerin geçerli olduğu görülmüştür. Aynı zamanda eşitliklerin ortalama standart hataları incelenmiş ve bu değerlerin önemli sayılabilecek derecede değişmediği görülmüştür. Buna göre bu çalışma için korelasyon katsayısı yüksek olan üssel ve üstel eşitliklerin kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen eşitlikler sadece bu çalışma için karakteristiktir. Başka bir deyişle, farklı santrifüj ve yarıçap kullanılması, farklı sürüşarjlar ve değişik boyutlardaki deney örneklerinin kullanılması farklı görgül eşitlikler ile sonuçlanabilir.

Ayrıca, önerilen yöntem ve cihazın rutin bir zemin deney aleti olabilmesi için doğal zemin örneklerinin kullanılması ve daha geniş bir veri tabanının oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Al-Hussaini, M.M., Goodings, D.J., Schofield, A.N., Townsend, F.C., Centrifuge modeling of coal waste embankments, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 107(GT4), 481-499, 1981.
2. Alpar, R., Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş 1, 411 s, Nobel yayın, Ankara, 2003.
3. Anderson, D., Brown, K.W., Organic Leachate Effects on the Permeability of Clay Liners, *Proceedings of the Land Disposal of Hazardous Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Philadelphia, Pa.*, 119-130, 16-18 March, 1981.
4. Arulandanan, K., Thompson, P. Y., Kutter, B. L., Meegoda, N. J., Muraleetharan, K. K., and Yogachandran, C., Centrifuge Modeling of Transport Processes for Pollutant in Soils, *Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE*, 114(2), 185-205, 1988.
5. Bjerrum, L., Huder, J., Measurement of the Permeability of Compacted Clays, *Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, England*, 1, 6-10, 1957.
6. Boynton, S.S., Daniel, D.E., Hydraulic Conductivity Tests on Compacted Clay, *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(4), 465-478, 1985.
7. Butterfield, R., Scale-modeling of Fluid Flow in Geotechnical Centrifuges, *Soils and Foundations*, 40(6), 39-45, 2000.
8. Cargill, K.W., Ko, H.Y., Centrifuge Modeling of Transient Water Flow, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 102(2), 366-387, 1983.
9. Cooke, A.B., Mitchell, R.J., Soil Column Drainage Modelling Using a Geotechnical Centrifuge, *Technical note, Geotech Test J* 1/14(3), 323-327, 1991.
10. Craig, W.H., The application of Centrifuge Modelling to Design, *Proceedings of the International Symposium Application of Centrifuge Modelling to Geotechnical Design, Manchester*, 403-422, April 16-18, 1984.
11. Daniel, M., Predicting Hydraulic Conductivity of Clay Liners, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 110(2), 285-300, 1984.
12. Daniel, D.E., Anderson, D. C , Boynton, S. S., Fixed-wall vs. FlexibleWall Permeameters, *ASTM STP 874*, 276-288, 1985.
13. Daniel, D.E., State-of-the-art: Laboratory Hydraulic Conductivity Tests for Saturated Soils, *American Society for Testing and Materials, ASTM STP 1142, Philadelphia*, 30-77, 1994.
14. Day, S.R., Daniel, M., Hydraulic Conductivity of Two Prototype clay Liners, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 111(8), 957-970, 1985.

15. Dunn, R.J., Hydraulic Conductivity of Soils in Relation to the Subsurface Movement of Hazardous Wastes, Doctor of Philosophy Dissertation, University of California, at Berkeley, Calif., 1983.
16. Dunn, R.J., Mitchell, J.K., Fluid Conductivity Testing of Fine Grained Soil, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 110(11), 1648-1665, 1984.
17. Fox, P.J., Analysis of Hydraulic Gradient Effects for Laboratory Hydraulic Conductivity Testing, Geotechnical Testing Journal, 19(2), 181-190, 1996.
18. Garcia-Bengochea, I., Lovell, C. W., and Altschaeffl, A. G., Pore Distribution and Permeability of Silty Clays, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 105(GT7), 839-856, 1981.
19. Goodings, D. J., Centrifuge Modeling of Slope Failures, Doctor of Philosophy Dissertation, University of Cambridge, 1979.
20. Gordon, M. E., Hydraulic Conductivity of Three Landfill Liners, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 115(8), 1149-1160, 1989.
21. Kimura, T., Kusakabe, O., Takemura, J., and Saitoh, K., Preparation of a Normally Consolidated Clay Stratum in a Centrifuge, Soils and Foundations, 24(4), 71-83, 1984.
22. Ko, H-Y., McLean, F.G., Centrifuge 91, Proceedings of the International Conference on Centrifuge Modelling, Boulder, Colorado, June 13-14, 1991.
23. Lambe, T. W., The Engineering Behavior of Compacted Clay, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 84(SM2), 1654-1-1654-34, 1958.
24. Ling, H.I., Wu, M-H., Leshchinsky, D., Leshchinsky, B., Centrifuge modeling of slope instability, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 135(6), 758-767, 2009.
25. Michaels, A. S., and Lin, C. S., The Permeability of Kaolinite, Industrial and Engineering Chemistry, 46, 1239-1246, 1954.
26. Mitchell, J. K., Hooper, D. R., and Campanella, R. G., Permeability of Compacted Clay, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 91, 41-65, 1965.
27. Mitchell, J. K., Younger, J. S., Abnormalities in Hydraulic Flow through Fine-Grained Soil, ASTM Special Technical Publication, Philadelphia, Pa., 417, 106-139, 1967.
28. Mitchell, J. K., Madsen, F. T., Chemical Effects on Clay Hydraulic Conductivity, Proceeding of the Specialty Conf. on Geotechnical Practice for Waste Disposal, Ann Arbor, Michigan, 87-116, June 15-17, 1987.

29. Moo-Young, H., Myers, T., Tardy, B., Ledbetter, R., Vanadit-Ellis, W., and Kim, Tae-Hyung, Centrifuge Simulation of the Consolidation Characteristics of Capped Marine Sediment Beds, *Engineering Geology*, 70, 249-258, 2003.
30. Muir Wood, D., *Geotechnical modeling*, 498 p., Spon Press, London, 2004.
31. Murray, E. J., Procedure for the determination of the permeability of clayey soils in a triaxial cell using the accelerated permeability test, R &D Technical Report, P1-398/TR/1, Environment Agency, Bristol, BS32 4UD, England, 194 p, 2003.
32. Olson, R. E., Daniel, D. E., Measurement of the Hydraulic Conductivity of Fine-Grained Soils, ASTM Special Technical Publication, Philadelphia, Pa., 746, 18-64, 1981.
33. Robinson, R. G., Tan, T. S., Lee, F. H., A Comparative Study of Suction-induced Seepage Consolidation Versus Centrifuge Consolidation, *Geotechnical Testing Journal*, 26(1), 1-10, 2003.
34. Schofield, A.N., Cambridge Geotechnical Centrifuge Operation, *Geotechnique*, 30(3), 227-268, 1980.
35. Singh, D. N., Gupta, K. A., Modeling Hydraulic Conductivity in a Small Centrifuge, *Canadian Geotechnical Journal*, 37(5), 1150-1155, 2000.
36. Soil Survey Staff, Soil survey manual, USDA-SCS Agric. Handb. 18. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, 1993.
37. Su, D., Li, X., Xing, F., Estimation of the Apparent Permeability in the Dynamic Centrifuge Tests, *Geotechnical Testing Journal*, 32(1), 1-9, 2009.
38. Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G., *Soil mechanics in engineering practice*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
39. Zeng, X., Lim, S.L., The Influence of Variation of Centrifugal Acceleration and Model Container Size on Accuracy of Centrifuge Test, *Geotech. Test. J.*, 25(1), 24-43, 2002.
40. Zimmie, T. F., *Geotechnical Testing Considerations in Determination of Laboratory Permeability for Hazardous Waste Disposal Site*, ASTM Special Technical Publication Philadelphia, Pa., 760, 293-304, 1981.

EKLER

Ek 1. Permeabilite deney sonuçları

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
1A	20/04/11	12:22	225,0	Kum = 140g	21/04/11	11:59	224,4	1,0E-04	ort 6,2E-05
	20/04/11	12:33	69,9	A. Kili = 38g	21/04/11	12:10	123,6	7,6E-05	
	20/04/11	12:39	228,0	Su = 20g	21/04/11	12:16	226,1	5,5E-05	
	20/04/11	12:50	96,6	h = 4,7 cm	21/04/11	12:23	149,3	5,3E-05	
	20/04/11	16:44	222,0		21/04/11	12:29	227,0	5,3E-05	
	20/04/11	16:54	127,0		21/04/11	12:42	101,5	5,9E-05	
	20/04/11	17:04	229,1		21/04/11	15:57	224,4	6,0E-05	
	20/04/11	17:14	134,0		21/04/11	16:10	73,6	8,1E-05	
1B	20/04/11	12:22	224,8	Kum = 140g	21/04/11	11:59	225,2	4,2E-05	ort 3,2E-05
	20/04/11	12:33	141,8	A. Kili = 38g	21/04/11	12:10	162,1	3,6E-05	
	20/04/11	12:39	228,0	Su = 20g	21/04/11	12:16	226,4	3,1E-05	
	20/04/11	12:50	152,7	h = 4,7 cm	21/04/11	12:23	182,2	3,1E-05	
	20/04/11	16:44	219,7	Mold + yağ = 509.5g	21/04/11	12:29	229,8	3,0E-05	
	20/04/11	16:54	161,8	Mold + kuru = 490.7	21/04/11	12:42	154,6	3,1E-05	
	20/04/11	17:04	228,5	Mold = 326.65	21/04/11	15:57	228,1	3,0E-05	
	20/04/11	17:14	167,0	w = 11.5	21/04/11	16:10	151,8	3,1E-05	
1C	20/04/11	12:22	223,5	Kum = 140g	21/04/11	11:59	226,1	1,4E-05	ort 1,0E-05
	20/04/11	12:33	191,4	A. Kili = 38g	21/04/11	12:10	204,4	1,1E-05	
	20/04/11	12:39	226,6	Su = 20g	21/04/11	12:16	228,0	7,6E-06	
	20/04/11	12:50	201,9	h = 4,7 cm	21/04/11	12:23	215,4	8,0E-06	
	20/04/11	16:44	231,2	Mold + yağ = 535.5g	21/04/11	12:29	226,0	9,3E-06	
	20/04/11	16:54	214,5	Mold + kuru = 511.6	21/04/11	12:42	206,6	8,3E-06	
	20/04/11	17:04	224,0	Mold =	21/04/11	15:57	226,5	7,0E-06	
	20/04/11	17:14	207,0	w = 11.2	21/04/11	16:10	207,3	6,9E-06	
2A	20/04/11	12:22	223,5	Kum = 135g	21/04/11	11:59	225,4	2,4E-05	ort 1,8E-05
	20/04/11	12:33	171,6	A. Kili = 39g	21/04/11	12:10	183,7	2,0E-05	
	20/04/11	12:39	224,7	Su = 20g	21/04/11	12:16	230,1	1,5E-05	
	20/04/11	12:50	181	h = 4,7 cm	21/04/11	12:23	204,1	1,5E-05	
	20/04/11	16:44	221,6	Mold + yağ = 533.9g	21/04/11	12:29	228,6	1,9E-05	
	20/04/11	16:54	190,5	Mold + kuru = 515	21/04/11	12:42	189,3	1,7E-05	
	20/04/11	17:04	227,4	Mold = 351.2	21/04/11	15:57	227,2	1,5E-05	
	20/04/11	17:14	195,4	w = 11.5	21/04/11	16:10	186,7	1,5E-05	
2B	20/04/11	12:22	227,3	Kum = 135g	21/04/11	11:59	227,5	7,7E-06	ort 5,1E-06
	20/04/11	12:33	165	A. Kili = 39g	21/04/11	12:10	169,6	5,2E-06	
	20/04/11	12:39	224	Su = 20g	21/04/11	12:16	225,9	4,3E-06	
	20/04/11	12:50	167,2	h = 4,7 cm	21/04/11	12:23	187,5	3,9E-06	
	20/04/11	16:44	223,9	Mold + yağ = 506.6g	21/04/11	12:29	225,9	5,4E-06	
	20/04/11	16:54	175,3	Mold + kuru = 487.4	21/04/11	12:42	165	5,3E-06	
	20/04/11	17:04	226,6	Mold = 317.2	21/04/11	15:57	228,7	4,6E-06	
	20/04/11	17:14	177,8	w = 11.3	21/04/11	16:10	167,9	4,7E-06	
2C	02/05/11	19:18	222,5	Kum = 135g	05/05/11	18:43	220,9	2,9E-05	ort 2,6E-05
	02/05/11	19:28	166,1	A. Kili = 39g	05/05/11	18:53	181	2,7E-05	
	03/05/11	17:37	216,5	Su = 20g	06/05/11	18:13	219,8	2,5E-05	
	03/05/11	17:47	164,9	h = 4,7 cm	06/05/11	18:24	183	2,4E-05	
	04/05/11	08:34	220,7	Mold + yağ = 526.4g	07/05/11	18:34	220,7	2,7E-05	
	04/05/11	08:44	169,3	Mold + kuru = 506.9	07/05/11	18:44	190,3	2,7E-05	
	04/05/11	18:37	217,4	Mold = 339.5	08/05/11	18:51	223,2	2,4E-05	
	04/05/11	18:47	174,5	w = 11.6	08/05/11	19:01	193,7	2,4E-05	

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
3A	22/04/11	16:23	223,9	Kum = 130g	23/04/11	19:12	222,6	1,5E-05	
	22/04/11	17:10	108,9	A. Kili = 41g	23/04/11	19:32	122,4	1,4E-05	
	22/04/11	17:18	225,8	Su = 22g	23/04/11	19:36	224,4	2,3E-05	ort
	22/04/11	18:17	95,1	h = 4,7 cm	23/04/11	19:59	106,9	2,5E-05	2,4E-05
	22/04/11	18:22	225,5	Mold + yaş = 536.5g	24/04/11	18:29	231,5	2,9E-05	
	22/04/11	18:56	94,4	Mold + kuru = 514.9	24/04/11	18:50	120,6	3,1E-05	
	22/04/11	19:00	227	Mold = 352.7	24/04/11	18:54	225,5	3,3E-05	
	22/04/11	19:36	89	w = 13.3	24/04/11	19:16	107,2		
3B	22/04/11	16:23	224	Kum = 130g	23/04/11	19:12	222,4	6,3E-06	
	22/04/11	17:10	166,9	A. Kili = 41g	23/04/11	19:32	201,5	4,7E-06	
	22/04/11	17:18	224,4	Su = 22g	23/04/11	19:36	224,4	4,5E-06	ort
	22/04/11	18:17	170	h = 4,7 cm	23/04/11	19:59	204,8	4,3E-06	4,7E-06
	22/04/11	18:22	224,5	Mold + yaş = 515.8g	24/04/11	18:29	222,8	5,0E-06	
	22/04/11	18:56	193,2	Mold + kuru = 494.3	24/04/11	18:50	214,1	1,9E-06	
	22/04/11	19:00	226,5	Mold = 326.6	24/04/11	18:54	214,1	6,1E-06	
	22/04/11	19:36	194,4	w = 12.8	24/04/11	19:16	188,5		
3C	22/04/11	16:23	225,4	Kum = 130g	23/04/11	19:12	222,1	4,4E-06	
	22/04/11	17:10	183,5	A. Kili = 41g	23/04/11	19:32	204,1	3,5E-06	
	22/04/11	17:18	226	Su = 22g	23/04/11	19:36	223	3,0E-06	ort
	22/04/11	18:17	183,9	h = 4,7 cm	23/04/11	19:59	207,2	3,3E-06	3,6E-06
	22/04/11	18:22	222,5	Mold + yaş = 531.1g	24/04/11	18:29	224	4,3E-06	
	22/04/11	18:56	199,8	Mold + kuru = 510.2	24/04/11	18:50	218,4	1,2E-06	
	22/04/11	19:00	228,1	Mold = 350.6	24/04/11	18:54	218,4	5,1E-06	
	22/04/11	19:36	203	w = 13.1	24/04/11	19:16	195,4		
4A	25/04/11	10:16	224,4	Kum = 124g	26/04/11	10:47	218	5,3E-07	1,4E-07
	25/04/11	11:56	213,1	A. Kili = 47g	26/04/11	13:24	212,5	2,3E-07	1,2E-07
	25/04/11	12:45	221,3	Su = 24g	26/04/11	13:31	212,5	1,4E-07	1,1E-07
	25/04/11	14:57	214,8	h = 4,7 cm	26/04/11	15:04	209,2	2,1E-07	
	25/04/11	15:53	214,8	Mold + yaş = 539.1g	26/04/11	15:06	209,2	1,7E-07	ort.
	25/04/11	19:46	207,9	Mold + kuru = 516	26/04/11	17:34	204,7	1,7E-07	1,9E-07
	26/04/11	08:19	226,6	Mold = 351.2	26/04/11	17:36	204,7	1,5E-07	
	26/04/11	10:44	218	w = 14.0	26/04/11	19:20	201,7	1,4E-07	
4B	25/04/11	10:16	225,1	Kum = 124g	26/04/11	10:47	224,5	2,6E-07	1,2E-07
	25/04/11	11:56	219,5	A. Kili = 47g	26/04/11	13:24	220,5	1,9E-07	9,8E-08
	25/04/11	12:45	218,7	Su = 24g	26/04/11	13:31	220,5	1,2E-07	8,7E-08
	25/04/11	14:57	213,5	h = 4,7 cm	26/04/11	15:04	217,8	1,4E-07	
	25/04/11	15:53	213,5	Mold + yaş = 507.5g	26/04/11	15:06	217,8	1,2E-07	ort.
	25/04/11	19:46	207,9	Mold + kuru = 483.9	26/04/11	17:34	213,9	1,3E-07	1,4E-07
	26/04/11	08:19	228,9	Mold = 377.15	26/04/11	17:36	213,9	1,2E-07	
	26/04/11	10:44	224,5	w = 14.0	26/04/11	19:20	211	1,3E-07	
4C									

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)	
5A	30/04/11	19:19	220,9	Kum = 122g	07/05/11	18:37	101	1,1E-07	5,4E-08	
	01/05/11	19:46	187,7	A. Kili = 49g	08/05/11	18:48	92,6	9,0E-08		
	02/05/11	19:20	165	Su = 25g				7,7E-08		
	03/05/11	17:32	148,6	h = 4,7 cm				6,9E-08		ort.
	04/05/11	08:28	139,4	Mold + yaş = 542.4g				6,4E-08		7,2E-08
	04/05/11	18:33	133,9	Mold + kuru = 519.5				6,4E-08		
	05/05/11	18:37	121,5	Mold = 352.65				6,1E-08		
06/05/11	18:09	110,8	w = 13.7				5,9E-08			
5B	30/04/11	19:19	220,9	Kum = 122g	07/05/11	18:37	112,4	7,2E-08	5,6E-08	
	01/05/11	19:46	198,6	A. Kili = 49g	08/05/11	18:48	103	7,9E-08		
	02/05/11	19:20	177,1	Su = 25g				6,6E-08		
	03/05/11	17:32	161,7	h = 4,6 cm				6,2E-08		ort.
	04/05/11	08:28	152,6	Mold + yaş = 516.0g				6,1E-08		6,3E-08
	04/05/11	18:33	146,8	Mold + kuru = 492.8				5,9E-08		
	05/05/11	18:37	134,1	Mold = 326.60				5,9E-08		
06/05/11	18:09	122,7	w = 14.0				5,5E-08			
5C	30/04/11	19:19	222,5	Kum = 122g	07/05/11	18:37	122,2	7,3E-08	5,1E-08	
	01/05/11	19:46	200,3	A. Kili = 49g	08/05/11	18:48	112,9	6,8E-08		
	02/05/11	19:20	183	Su = 25g				5,6E-08		
	03/05/11	17:32	168,9	h = 4,7 cm				5,7E-08		ort.
	04/05/11	08:28	160,3	Mold + yaş = 540.25g				8,5E-08		6,1E-08
	04/05/11	18:33	155,4	Mold + kuru = 517				5,4E-08		
	05/05/11	18:37	143,4	Mold = 350.6				5,2E-08		
06/05/11	18:09	132,8	w = 14.0				5,4E-08			
6A	01/05/11	19:46	221,3	Kum = 120g	07/05/11	18:37	119,6	1,5E-07	5,1E-08	
	02/05/11	19:20	178,5	A. Kili = 50g	08/05/11	18:48	111,2	7,0E-08		4,8E-08
	03/05/11	17:32	162,5	Su = 26g	09/05/11	19:43	102,7	5,8E-08		5,2E-08
	04/05/11	08:28	154,1	h = 4,7 cm	10/05/11	17:03	96	5,1E-08		5,4E-08
	04/05/11	18:33	149,3	Mold + yaş = 544.9g	11/05/11	18:35	87,8	5,1E-08		5,4E-08
	05/05/11	18:37	138,4	Mold + kuru = 519.7	12/05/11	18:38	80,4	4,9E-08		5,0E-08
	06/05/11	18:09	128,7	Mold = 351.2	13/05/11	18:48	73,4	4,7E-08		ort.
			w = 15.0	14/05/11	19:42	67,4	4,7E-08	6,0E-08		
6B	01/05/11	19:46	223,4	Kum = 120g	07/05/11	18:37	202,9	1,7E-08	1,2E-08	
	02/05/11	19:20	218	A. Kili = 50g	08/05/11	18:48	200	1,2E-08		9,0E-09
	03/05/11	17:32	214,5	Su = 26g	09/05/11	19:43	196,4	1,1E-08		9,3E-09
	04/05/11	08:28	212,4	h = 4,6 cm	10/05/11	17:03	194,5	7,0E-09		9,6E-09
	04/05/11	18:33	211,5	Mold + yaş = 511.3g	11/05/11	18:35	191,7	1,0E-08		7,9E-09
	05/05/11	18:37	208,4	Mold + kuru = 486	12/05/11	18:38	189	9,8E-09		8,8E-09
	06/05/11	18:09	205,5	Mold = 317.15	13/05/11	18:48	186,8	8,6E-09		ort.
			w = 15.0	14/05/11	19:42	184,4	9,8E-09	1,0E-08		
6C	01/05/11	19:46	225,3	Kum = 120g	07/05/11	18:37	199,8	2,0E-08	1,3E-08	
	02/05/11	19:20	219	A. Kili = 50g	08/05/11	18:48	196,5	1,5E-08		1,4E-08
	03/05/11	17:32	214,7	Su = 26g	09/05/11	19:43	192,7	1,3E-08		1,1E-08
	04/05/11	08:28	212,1	h = 4,6 cm	10/05/11	17:03	189,8	9,3E-09		1,2E-08
	04/05/11	18:33	210,9	Mold + yaş = 532.5g	11/05/11	18:35	186,5	1,3E-08		1,1E-08
	05/05/11	18:37	207	Mold + kuru = 507.2	12/05/11	18:38	183,3	1,3E-08		1,3E-08
	06/05/11	18:09	203,3	Mold = 339.5	13/05/11	18:48	180,3	1,2E-08		ort.
			w = 15.1	14/05/11	19:42	177	1,1E-08	1,3E-08		

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
7A	09/05/11	19:49	220,8	Kum = 118g	19/05/11	08:50	183,4	2,4E-08	1,1E-08
	10/05/11	17:04	214	A. Kili = 52g	23/05/11	08:44	172,3	1,6E-08	1,0E-08
	11/05/11	18:38	208,9	Su = 27g	25/05/11	09:35	167	1,4E-08	9,6E-09
	12/05/11	18:42	204,6	h = 4,7 cm	27/05/11	08:17	162,4	1,2E-08	9,7E-09
	13/05/11	18:46	201,1	Mold + yaş = 548.35g	29/05/11	18:54	156,7	1,2E-08	
	14/05/11	19:29	197,4	Mold + kuru = 522.4g				1,2E-08	
	15/05/11	18:27	194	Mold = 352.65				1,0E-08	ort
	16/05/11	19:15	191	w = 15.3				7,8E-09	1,3E-08
7B	09/05/11	19:49	221,6	Kum = 118g	19/05/11	08:50	179,1	2,0E-08	
	10/05/11	17:04	215,8	A. Kili = 52g	23/05/11	08:44	164,8	1,7E-08	1,4E-08
	11/05/11	18:38	210,3	Su = 27g	25/05/11	09:35	157,9	1,6E-08	1,4E-08
	12/05/11	18:42	205,5	h = 4,6 cm	27/05/11	08:17	151,7	1,4E-08	1,4E-08
	13/05/11	18:46	201,3	Mold + yaş = 520.7	29/05/11	18:54	144,1	1,5E-08	1,4E-08
	14/05/11	19:29	196,8	Mold + kuru = 494.7				1,5E-08	
	15/05/11	18:27	192,8	Mold = 326.65g				1,3E-08	ort
	16/05/11	19:15	188,9	w = 15.5				1,0E-08	1,5E-08
7C	09/05/11	19:49	222,4	Kum = 118g	19/05/11	08:50	196,1	1,2E-08	
	10/05/11	17:04	218,8	A. Kili = 52g	23/05/11	08:44	187,1	1,1E-08	8,0E-09
	11/05/11	18:38	215,1	Su = 27g	25/05/11	09:35	182,5	9,0E-09	8,3E-09
	12/05/11	18:42	212,3	h = 4,7 cm	27/05/11	08:17	178,4	9,4E-09	7,2E-09
	13/05/11	18:46	209,4	Mold + yaş = 541.8g	29/05/11	18:54	173,8	8,3E-09	7,9E-09
	14/05/11	19:29	206,8	Mold + kuru = 516.1g				8,4E-09	
	15/05/11	18:27	204,4	Mold = 350.6				8,2E-09	ort
	16/05/11	19:15	201,9	w = 15.5				7,8E-09	9,0E-09
8A	09/05/11	19:49	219,4	Kum = 116g	19/05/11	08:50	205,2	7,7E-09	
	10/05/11	17:04	217,2	A. Kili = 54g	23/05/11	08:44	202	8,1E-09	2,7E-09
	11/05/11	18:38	214,5	Su = 28g	25/05/11	09:35	200,2	6,4E-09	3,0E-09
	12/05/11	18:42	212,5	h = 4,7 cm	27/05/11	08:17	198	5,5E-09	3,9E-09
	13/05/11	18:46	210,8	Mold + yaş = 555.5	29/05/11	18:54	195	4,5E-09	4,3E-09
	14/05/11	19:29	209,4	Mold + kuru = 529.0g				2,8E-09	
	15/05/11	18:27	208,6	Mold = 359.63				3,5E-09	ort
	16/05/11	19:16	207,5	w = 15.6				3,0E-09	4,6E-09
8B	09/05/11	19:49	219,6	Kum = 116g	19/05/11	08:50	204	8,2E-09	
	10/05/11	17:04	217,3	A. Kili = 54g	23/05/11	08:44	200	8,4E-09	3,4E-09
	11/05/11	18:38	214,6	Su = 28g	25/05/11	09:35	198	6,4E-09	3,4E-09
	12/05/11	18:42	212,6	h = 4,7 cm	27/05/11	08:17	196,2	5,8E-09	3,2E-09
	13/05/11	18:46	210,8	Mold + yaş = 549.6	29/05/11	18:54	193,9	5,1E-09	3,3E-09
	14/05/11	19:29	209,2	Mold + kuru = 522.8g				5,5E-09	
	15/05/11	18:27	207,6	Mold = 353.44				2,9E-09	ort
	16/05/11	19:16	206,7	w = 16.0				3,5E-09	5,1E-09
8C	09/05/11	19:49	220	Kum = 116g	19/05/11	08:50	195,9	1,1E-08	
	10/05/11	17:04	216,9	A. Kili = 54g	23/05/11	08:44	187,5	9,1E-09	7,5E-09
	11/05/11	18:38	214	Su = 28g	25/05/11	09:35	183,5	1,0E-08	7,2E-09
	12/05/11	18:42	210,9	h = 4,7 cm	27/05/11	08:17	179,9	8,5E-09	6,9E-09
	13/05/11	18:46	208,3	Mold + yaş = 549.6	29/05/11	18:54	175,4	7,4E-09	7,0E-09
	14/05/11	19:29	206	Mold + kuru = 522.9g				7,3E-09	
	15/05/11	18:27	204	Mold = 355.53				6,9E-09	ort
	16/05/11	19:16	201,9	w = 15.9				8,0E-09	8,2E-09

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
9A	09/05/11	19:47	219,2	Kum = 123g	16/05/11	19:14	207,7		
	10/05/11	17:06	172	A. Kili = 59g	19/05/11	08:52	201,1		
	11/05/11	18:37	169,1	Su = 30g	23/05/11	08:42	193,2	9,8E-09	7,0E-09
	12/05/11	18:40	166,7	h = 4,7 cm	25/05/11	09:33	189,5	8,2E-09	6,6E-09
	12/05/11	18:41	216,2	Mold + yaş = 543.2g	27/05/11	08:19	186	8,3E-09	6,6E-09
	13/05/11	18:47	213,7	Mold + kuru = 516.2g	29/05/11	18:56	181,7	7,8E-09	8,3E-09
	14/05/11	19:43	211,1	Mold = 344.94				3,9E-09	ort
	15/05/11	18:25	208,9	w = 15.8				6,3E-09	7,2E-09
9B	09/05/11	19:47	221,9	Kum = 123g	16/05/11	19:14	206,4	9,0E-09	
	10/05/11	17:06	219,4	A. Kili = 59g	19/05/11	08:52	204,8	7,6E-09	7,9E-09
	11/05/11	18:37	216,9	Su = 30g	23/05/11	08:42	199,4	6,5E-09	6,6E-09
	12/05/11	18:40	214,9	h = 4,7 cm	25/05/11	09:33	197	5,9E-09	6,6E-09
	13/05/11	18:47	213,1	Mold + yaş = 548.2	27/05/11	08:19	195,1	5,1E-09	
	14/05/11	19:43	211,5	Mold + kuru = 521.5g	29/05/11	18:56	192,9	5,3E-09	ort
	15/05/11	18:25	210	Mold = 351.56				7,4E-09	6,7E-09
			w = 15.7				6,3E-09		
9C	09/05/11	19:47	220,5	Kum = 123g	19/05/11	08:52	208,7	8,3E-09	
	10/05/11	17:06	218,2	A. Kili = 59g	23/05/11	08:42	205,6	5,8E-09	2,5E-09
	11/05/11	18:37	216,3	Su = 30g	25/05/11	09:33	204,1	4,9E-09	2,3E-09
	12/05/11	18:40	214,8	h = 4,7 cm	27/05/11	08:19	202,8	2,9E-09	4,1E-09
	13/05/11	18:47	213,9	Mold + yaş = 529.4	29/05/11	18:56	201,2	4,1E-09	
	14/05/11	19:43	212,6	Mold + kuru = 502.7g				3,2E-09	
	15/05/11	18:25	211,7	Mold = 331.86				2,8E-09	ort
			w = 15.6				2,7E-09	4,4E-09	
10A	08/06/11	14:34	220,4	Kum = 143g	09/06/11	14:43	216,6	4,0E-05	
	08/06/11	14:44	147,5	A. Kili = 40g	09/06/11	14:53	150,1	3,2E-05	
	08/06/11	15:46	222,9	Su = 21g	09/06/11	18:33	208	3,2E-05	
	08/06/11	15:56	161,2	h = 4,7 cm	09/06/11	18:43	139,7	3,3E-05	
	08/06/11	18:15	217,4	Mold + yaş = 529.1g				3,6E-05	
	08/06/11	18:25	157,4	Mold + kuru = 509.8				3,9E-05	ort
	09/06/11	08:27	209,5	Mold = 352.7					3,5E-05
	09/06/11	08:37	150,4	w = 12.3					
10B	08/06/11	14:34	221,7	Kum = 143g	09/06/11	14:43	217,5	2,2E-05	
	08/06/11	14:44	178,9	A. Kili = 40g	09/06/11	14:53	185,2	1,8E-05	
	08/06/11	15:46	224,3	Su = 21g	09/06/11	18:33	207,1	1,6E-05	
	08/06/11	15:56	188,4	h = 4,7 cm	09/06/11	18:43	177,2	1,6E-05	
	08/06/11	18:15	217,5	Mold + yaş = 514.0g				1,6E-05	
	08/06/11	18:25	185	Mold + kuru = 493.7				1,6E-05	ort
	09/06/11	08:27	212,8	Mold = 326.7					1,7E-05
	09/06/11	08:37	182,2	w = 12.2					
10C	08/06/11	14:34	222,2	Kum = 143g	09/06/11	14:43	216,3	2,9E-05	
	08/06/11	14:44	166,9	A. Kili = 40g	09/06/11	14:53	167,1	2,6E-05	
	08/06/11	15:46	221,8	Su = 21g	09/06/11	18:33	208,1	2,5E-05	
	08/06/11	15:56	171,5	h = 4,7 cm	09/06/11	18:43	161,6	2,5E-05	
	08/06/11	18:15	217,4	Mold + yaş = 529.0g				2,6E-05	
	08/06/11	18:25	169	Mold + kuru = 509.5				2,5E-05	ort
	09/06/11	08:27	213,9	Mold = 350.6					2,6E-05
	09/06/11	08:37	167,3	w = 12.3					

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
11A	08/06/11	14:34	222	Kum = 140g	09/06/11	18:33	208,9	1,6E-05	
	08/06/11	14:44	189,2	A. Kili = 42g	09/06/11	18:43	165,9	8,4E-06	
	08/06/11	15:51	105,3	Su = 22g				4,9E-06	
	08/06/11	18:15	45	h = 4,7 cm				1,1E-05	
	09/06/11	18:27	214,2	Mold + yaş = 531.8g				1,7E-05	
	09/06/11	08:37	192	Mold + kuru = 511.5				2,3E-05	ort
	09/06/11	14:43	215	Mold = 351.3					1,3E-05
	09/06/11	14:53	182	w = 12.7					
11B	08/06/11	14:34	223,9	Kum = 140g	09/06/11	18:33	207,9	9,9E-06	
	08/06/11	14:44	203	A. Kili = 42g	09/06/11	18:43	192,5	6,6E-06	
	08/06/11	15:51	129,5	Su = 22g				5,4E-06	
	08/06/11	18:15	52,9	h = 4,7 cm				1,0E-05	
	09/06/11	18:27	214,4	Mold + yaş = 505.2g				9,2E-06	
	09/06/11	08:37	193,6	Mold + kuru = 484.2				7,8E-06	ort
	09/06/11	14:43	212	Mold = 317.1					8,2E-06
	09/06/11	14:53	183,5	w = 12.6					
11C	08/06/11	14:34	222,7	Kum = 140g	09/06/11	18:33	207	7,9E-06	
	08/06/11	14:44	206	A. Kili = 42g	09/06/11	18:43	204,5	4,1E-06	
	08/06/11	15:51	155,8	Su = 22g				2,4E-06	
	08/06/11	18:15	107,6	h = 4,7 cm				3,4E-06	
	09/06/11	18:27	214	Mold + yaş = 520.7g				1,7E-06	
	09/06/11	08:37	207	Mold + kuru = 500.3				1,2E-06	ort
	09/06/11	14:43	216,4	Mold = 339.5					3,5E-06
	09/06/11	14:53	212,7	w = 12.7					
12A	08/06/11	14:34	221	Kum = 135g				1,9E-06	
	08/06/11	18:16	144,9	A. Kili = 44g				6,7E-07	
	09/06/11	08:30	78	Su = 23g				1,2E-06	
	09/06/11	08:35	222	h = 4,7 cm				5,9E-07	ort
	09/06/11	14:45	140,8	Mold + yaş = 550.3g				2,1E-07	9,1E-07
	09/06/11	18:34	122,3	Mold + kuru = 527.6					
	10/06/11	08:55	91,1	Mold = 359.6					
	10/06/11	16:41	81,6	w = 13.5					
12B	08/06/11	14:34	219,9	Kum = 135g				3,0E-06	
	08/06/11	18:16	111,7	A. Kili = 44g				1,5E-06	
	09/06/11	08:30	20,1	Su = 23g				1,9E-06	
	09/06/11	08:35	226,2	h = 4,7 cm				1,1E-06	
	09/06/11	14:45	112,1	Mold + yaş = 540.1g				??	
	09/06/11	18:34	85,1	Mold + kuru = 517.7					ort
	10/06/11	08:55	38,9	Mold = 353.4					1,9E-06
	10/06/11	16:41	26,4	w = 13.6					
12C	08/06/11	14:34	222	Kum = 135g				9,2E-07	
	08/06/11	18:16	181,5	A. Kili = 44g				4,7E-07	
	09/06/11	08:30	119,5	Su = 23g				4,4E-07	
	09/06/11	08:35	224	h = 4,7 cm				3,0E-07	
	09/06/11	14:45	190,9	Mold + yaş = 547.1g				2,6E-07	
	09/06/11	18:34	178	Mold + kuru = 524.1					ort
	10/06/11	08:55	143	Mold = 355.5					4,8E-07
	10/06/11	16:41	126,2	w = 13.6					

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
13A	10/06/11	11:06	219,1	Kum = 133g	14/06/11	08:14	71,1	2,5E-06	ort 2,0E-06
	10/06/11	16:34	94,5	A. Kili = 47g	14/06/11	08:24	218,1	1,9E-06	
	10/06/11	18:39	71,8	Su = 24g	14/06/11	19:24	90,6	2,6E-06	
	11/06/11	19:59	47	h = 4,7 cm				1,4E-06	
	13/06/11	08:40	221,1	Mold + yaş = 534.5g				1,4E-06	
	13/06/11	14:53	103,1	Mold + kuru = 512.5					
	13/06/11	19:21	66,2	Mold = 351.3					
	13/06/11	19:32	225	w = 13.6					
13B	10/06/11	11:06	219,9	Kum = 133g	14/06/11	08:14	132,2	1,3E-06	ort 9,1E-07
	10/06/11	16:34	142,2	A. Kili = 47g	14/06/11	08:24	218,8	7,8E-07	
	10/06/11	18:39	128,4	Su = 24g	14/06/11	19:24	145	1,1E-06	
	11/06/11	19:59	39,5	h = 4,7 cm				6,9E-07	
	13/06/11	08:40	220,9	Mold + yaş = 506.1g				6,9E-07	
	13/06/11	14:53	145,9	Mold + kuru = 483.3					
	13/06/11	19:21	120,3	Mold = 317.1					
	13/06/11	19:32	225	w = 13.7					
13C	10/06/11	11:06	220,8	Kum = 133g	13/06/11	19:32	224,9	7,2E-07	ort 4,1E-07
	10/06/11	16:34	174,5	A. Kili = 47g	14/06/11	08:14	190	6,2E-07	
	10/06/11	18:39	161,4	Su = 24g	14/06/11	08:24	219,1	2,7E-07	
	11/06/11	19:59	80,5	h = 4,7 cm	14/06/11	19:24	193,7	3,6E-07	
	13/06/11	08:25	38,7	Mold + yaş = 526.9g				2,5E-07	
	13/06/11	08:40	221,1	Mold + kuru = 504.4				2,2E-07	
	13/06/11	14:53	193,5	Mold = 339.5					
	13/06/11	19:21	180,9	w = 13.6					
14A	11/06/11	09:54	223	Kum = 132g	14/06/11	08:12	203,2	5,5E-07	ort 2,5E-07
	11/06/11	12:55	202,1	A. Kili = 45g	14/06/11	08:24	216,2	2,8E-07	
	11/06/11	19:56	180	Su = 24.3g	14/06/11	19:22	198,3	1,8E-07	
	13/06/11	08:24	118,5	h = 4,7 cm				1,8E-07	
	13/06/11	08:40	225,1	Mold + yaş = 540.8				1,5E-07	
	13/06/11	14:52	210	Mold + kuru = 517.2				1,5E-07	
	13/06/11	19:20	201,6	Mold = 352.7					
	13/06/11	19:32	226,6	w = 14.3					
14B	11/06/11	09:54	222,6	Kum = 132g	14/06/11	08:12	170,5	1,1E-06	ort 7,2E-07
	11/06/11	12:55	182	A. Kili = 45g	14/06/11	08:24	217,3	1,1E-06	
	11/06/11	19:56	112,9	Su = 24.3g	14/06/11	19:22	172,4	8,8E-07	
	13/06/11	08:24	1	h = 4,7 cm				5,0E-07	
	13/06/11	08:40	224,9	Mold + yaş = 518.6				3,8E-07	
	13/06/11	14:52	187,3	Mold + kuru = 494.9				3,7E-07	
	13/06/11	19:20	169	Mold = 326.7					
	13/06/11	19:32	226,3	w = 14.1					
14C	11/06/11	09:54	223,6	Kum = 132g	14/06/11	08:12	60,9	3,1E-06	ort 1,9E-06
	11/06/11	12:55	125,7	A. Kili = 45g	14/06/11	08:24	218,2	2,0E-06	
	11/06/11	19:56	47,3	Su = 24.3g	14/06/11	19:22	32,4	1,8E-06	
	13/06/11	08:40	222,9	h = 4,7 cm				1,2E-06	
	13/06/11	14:52	110,7	Mold + yaş = 532.1				1,6E-06	
	13/06/11	19:20	76,2	Mold + kuru = 509.6					
	13/06/11	19:32	226,1	Mold = 350.6					
				w = 14.2					

Ek 1 Devam

No.	Tarih	Saat	h (cm)	AÇIKLAMA	Tarih	Saat	h (cm)	k (cm/s)	k _{ort} (cm/s)
15A	21/06/11	19:48	226,4	Kum = 128g	28/06/11	18:50	139,3	9,2E-08	3,9E-08
	22/06/11	08:15	211,6	A. Kili = 50g	29/06/11	18:21	131,5	5,9E-08	3,7E-08
	22/06/11	19:10	203,6	Su = 26g	01/07/11	19:15	117,1	5,2E-08	
	23/06/11	08:12	195,6	h = 4,7 cm				4,9E-08	
	24/06/11	09:58	181,5	Mold + yaş = 552.9				4,2E-08	
	25/06/11	18:44	167	Mold + kuru = 528.5				4,1E-08	ort
	26/06/11	18:54	157,3	Mold = 529.0				4,2E-08	4,9E-08
	27/06/11	08:15	152	w = 14,5				4,1E-08	
15B	21/06/11	19:48	221,6	Kum = 128g	28/06/11	18:50	79,4	2,5E-07	4,9E-08
	22/06/11	08:15	184,8	A. Kili = 50g	29/06/11	18:21	73,3	2,1E-07	4,1E-08
	22/06/11	19:10	161,3	Su = 26g	01/07/11	19:15	63,4	1,6E-07	
	23/06/11	08:12	141,6	h = 4,7 cm				1,0E-07	
	24/06/11	09:58	120,5	Mold + yaş = 547.5				7,2E-08	
	25/06/11	18:44	103,5	Mold + kuru = 522.8				5,8E-08	ort
	26/06/11	18:54	94,3	Mold = 522.8				5,1E-08	1,0E-07
	27/06/11	08:15	90,1	w = 14,5				5,4E-08	
15C	21/06/11	19:48	228,1	Kum = 128g	28/06/11	18:50	54,7	3,9E-07	7,8E-08
	22/06/11	08:15	170,4	A. Kili = 50g	29/06/11	18:21	47,4	2,4E-07	7,1E-08
	22/06/11	19:10	145	Su = 26g	01/07/11	19:15	35,4	1,6E-07	
	23/06/11	08:12	126,9	h = 4,7 cm				1,2E-07	
	24/06/11	09:58	104,4	Mold + yaş = 551.1				9,7E-08	
	25/06/11	18:44	84,4	Mold + kuru = 526.2				8,3E-08	ort
	26/06/11	18:54	73,4	Mold = 522.9				7,7E-08	1,4E-07
	27/06/11	08:15	68,2	w = 14,5				8,6E-08	
16A	23/06/11	20:05	220,2	Kum = 131g	01/07/11	19:14	45,6	6,5E-07	
	24/06/11	09:59	126,8	A. Kili = 48g				3,1E-07	
	25/06/11	18:45	64,5	Su = 25g				2,0E-07	
	26/06/11	18:52	44,9	h = 4,7 cm				4,2E-07	
	26/06/11	19:01	219,2	Mold + yaş = 537.6				2,4E-07	
	27/06/11	08:14	156,7	Mold + kuru = 514.0				1,6E-07	ort
	28/06/11	18:51	91,3	Mold = 516.2				1,2E-07	3,0E-07
	29/06/11	18:20	70,3	w = 13,9					
16B	23/06/11	20:05	221,2	Kum = 131g	01/07/11	19:14	55,5	7,3E-07	
	24/06/11	09:59	119,3	A. Kili = 48g				3,4E-07	
	25/06/11	18:45	55,5	Su = 25g				2,2E-07	
	26/06/11	18:52	36,3	h = 4,7 cm				3,7E-07	
	26/06/11	19:01	223,2	Mold + yaş = 538.6				2,1E-07	
	27/06/11	08:14	166,7	Mold + kuru = 515.5				1,5E-07	ort
	28/06/11	18:51	105,6	Mold = 521.5				1,2E-07	3,1E-07
	29/06/11	18:20	84	w = 13,9					
16C	23/06/11	20:05	219,2	Kum = 131g	01/07/11	19:14	65,8	4,1E-07	
	24/06/11	09:59	155,6	A. Kili = 48g				2,6E-07	
	25/06/11	18:45	89,5	Su = 25g				2,1E-07	
	26/06/11	18:52	63	h = 4,7 cm				2,3E-07	
	26/06/11	19:01	223,2	Mold + yaş = 521.2				1,7E-07	
	27/06/11	08:14	186,2	Mold + kuru = 497.9				1,5E-07	ort
	28/06/11	18:51	129,9	Mold = 502.7				1,4E-07	2,2E-07
	29/06/11	18:20	103,7	w = 13,9					

Ek 2. Serbest şişme ve şişme basıncı deney sonuçları

Örnek No	İlk okuma	Son okuma	Fark	Şişme basıncı okuma (kgf)
1	253	280	27	3,75
2	239	265	26	3,9
3	446	470	24	5,25
4	245	279	34	6,4
5	292	316	24	4,5
6	108	158	50	3,8
7	440	475	35	5,7
8	488	513	25	8,9
9	305	366	61	7
10	343	414	71	7
11	0	60	60	4,5
12	424	491	67	3,5
13	537	591	54	4
14	64	116	52	4,3
15	425	470	45	4
16	420	448	28	3,5

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Mersin’de doğan Tuğçe BAŞER, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Kasım Ekenler İlköğretim Okulu ve Abdül Kerim Bengi Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2005 yılında kazandığı Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında üçüncü olarak bitirmiştir.

2010 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. 2011 yılında Yüksek Öğretim Kurulu tarafından sağlanan Yüksek Lisans Araştırma bursu ile University of Colorado at Boulder, USA’ de araştırmacı burslu olarak 3 ay süre ile çalışmıştır. Yrd. Doç. Dr. Ersin KOLAY danışmanlığında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

Tuğçe BAŞER 2009 yılından bu yana Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

İletişim Bilgileri

Adres : Bozok Üniversitesi MMF Jeoloji Mühendisliği Bölümü Divanlı Yolu 10. km.

66100 YOZGAT

Telefon: (354) 242 11 12/7915

E-posta: tugce.baser@bozok.edu.tr