

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekrem AKSOY

**DOYMAMIŞ ZEMİNLERDE HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI İLE SU
İÇERİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOYMAMIŞ ZEMİNLERDE HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI İLE
SU İÇERİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ekrem AKSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 04 / 09 / 2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği /
Özellikle ile Kabul Edilmiştir.**

İmza

İmza

İmza

**Prof. Dr. M.Arslan TEKİNSOY
DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Mustafa LAMAN
ÜYE**

**Prof. Dr. Hasan ÇETİN
ÜYE**

**Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:**

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOYMAMIŞ ZEMİNLERDE HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI İLE
SU İÇERİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ekrem AKSOY

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. M.Arslan TEKİNSOY

Yıl : 2007, **Sayfa:** 81

Jüri : Prof. Dr. M.Arslan TEKİNSOY

Prof. Dr. Mustafa LAMAN

Prof. Dr. Hasan ÇETİN

Bu çalışmada, doymamış koşullardaki alüvyal kil zemin örneğine ait hacim değiştirme davranışları incelenmiştir. Farklı su içeriklerinde hazırlanan, zemin örnekleri üzerinde, sabit su içerikli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden, her bir örneğe ait hacimsel sıkışma katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Hacim değiştirme katsayısının, su içeriği ve gerilme değerleriyle değişimi araştırılmıştır.

Artan su içeriği değeri ile hacimsel sıkışma katsayısının arttığı, artan gerilme kademesiyle ise hacimsel sıkışma katsayısının azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doymamış Zeminler, Zeminlerde Hacim Değiştirme Davranışları, Hacimsel Sıkışma Katsayısı, Su İçeriği

ABSTRACT

MSc THESIS

**INVESTIGATION OF RELATION BETWEEN THE COEFFICIENT
OF VOLUME COMPRESSIBILITY AND WATER CONTENT IN
UNSATURATED SOILS**

Ekrem AKSOY

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor : Prof. Dr. M.Arslan TEKİNSOY

Year: 2007, **Pages:** 81

Jury : Prof. Dr. M.Arslan TEKİNSOY

Prof. Dr. Mustafa LAMAN

Prof. Dr. Hasan ÇETİN

In this study, volume change behaviors of alluvial clay samples were investigated in unsaturated conditions. Oedometer tests were done on soil samples, prepared in different water contents. The coefficients of volume compressibility were calculated for each sample from these oedometer tests. Change of coefficient of volume compressibility with water content and stress, were investigated.

It was observed that the coefficient of volume compressibility increases with increasing water content and decreases with increasing stress level.

Keywords: Unsaturated Soils, Volume Change Characteristics of Soils, The Coefficient of Volume Compressibility, Water Content

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda beni yönlendiren, bilgi ve ilgisini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. M. Arslan TEKİNSOY'a, manevi desteklerini her zaman hissettiğim annem, babam ve kardeőime, mesai arkadaőlarım İrfan BULAM, Hüseyin BEKTAŐ ve Dr. ő. Pınar GÜVEL' e, çalıőmalarım süresince, fikirlerine ve bilgilerine ihtiyaç duyduğum Dr. Taha TAŞKIRAN ile Ahmet ARSLAN'a, hocam Prof Dr. Mustafa LAMAN'a ve tüm arkadaőlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

ZEMAR 2000 Zemin Araőtırmaları Laboratuvarı çalıőanlarına ve deneysel çalıőmalarım sırasında, yardımlarını aldığım Mustafa BAYRAM ve Hasan MARAKLI'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Giriş	3
2.2. Doymamış Zeminler	3
2.2.1. Doymamış İnce Daneli Zeminlerin Kompozisyonu.....	3
2.2.2. Doymamış Zeminler İçin Gerilme Kavramı	6
2.2.3. Doymamış Zeminlerin Hacim Değişirme Özellikleri	8
2.2.4. Doymamış Zeminlerde Mukavemet	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	24
3.1. Giriş	24
3.2. Çukurova'nın Alüviyal Kilinden Zemin Örneği Alma Çalışmaları	24
3.3. Deneylede Kullanılan Zemine Ait Endeks Özellikleri.....	27
3.4. Sabit Su İçerikli Konsolidasyon Deneyi İçin Zemin Örneklerinin Hazırlanma Aşamaları.....	28
3.5. Konsolidasyon Deney Düzeneği	30
3.5.1. Doymamış Örneklerde Konsolidasyon Deney Düzeneği	32
3.5.2. Doymamış Durumda Konsolidasyon Deney Düzeneği	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. Giriş	35
4.2. Doymamış Zeminde Sabit Su İçerikli Konsolidasyon Deney Bulguları.....	35
4.2.1. Boşluk Oranı İle Gerilme Arasındaki Değişime Ait Eğriler.....	35

4.3. Gerilme ve Su İçeriği Değişkenleri İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı	
İlişkileri	37
4.3.1. Gerilme İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi.....	38
4.3.2. Su İçeriği İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi	40
4.3.3. Su İçeriği İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisine Ait Eğriler	43
4.3.4. Gerilme, Su İçeriği ve Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi	45
4.4. Tartışma	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	52
ZGEMİş.....	55
EKLER.....	56

SİMGELER ve KISALTMALAR

- w : Ağırlıkça su içeriği
 m_v : Hacimsel sıkışma katsayısı
 u_w : Boşluk suyu basıncı
 u_a : Boşluk hava basıncı
 ΔV : Hacim değişimi
 V : Hacim
 Δp : Ortalama gerilme artımı
 p : Gerilme
 ΔH : Boy değişimi
 H : Boy
 Δe : Boşluk oranı değişimi
 e : Boşluk oranı
 e_i : Başlangıç boşluk oranı
 g_w : Suyun birim hacim ağırlığı
 g_s : Dane birim hacim ağırlığı
 g_k : Kuru birim hacim ağırlığı
 g_n : Doğal birim hacim ağırlığı
 S : Doygunluk derecesi
 χ : Doygunluk derecesine bağlı zemin parametresi
 e : Deformasyon
 E : Elastisite modülü
 M : Teğet modülü
 p_0 : Ön konsolidasyon basıncı
 δv : Hacimsel deformasyon artımı
 f : İçsel sürtünme açısı
 C : Kohezyon
 σ' : Efektif gerilme

σ : Toplam gerilme (Bünye denklemleri için)

σ_m : Ortalama gerilme

C : Zemin yapısının hacim değişimi ile ilgili zemin parametreleri

τ : Kayma Gerilmesi

K_0 : Sükunet durmunda yanıl toprak basıncı katsayısı

s : Anizotropi oranı

β' : Tutma veya yapışma faktörü

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA NO

Çizelge 3.1. Zemin Örneğine Ait Endeks Özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. Konsolidasyon Deneyi İçin Seçilen Yük Kademeleri.....	30
Çizelge 3.3. Konsolidasyon Deney Çizelgesi	31
Çizelge 3.4. Örneklerin Su İçeriği Değerleri	34
Çizelge 4.1. Sabit Su İçerikli Konsolidasyon Deneilerine Ait Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) Değerleri	38
Çizelge 4.2. Hacimsel Sıkışma Katsayısı Su İçeriği İfadeleri	44
Çizelge 4.3. Zemin Örneklerinin Aynı Yük Kademesinde Doygun Duruma Göre Hacim Değişim Yüzdeleri.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA NO

Şekil 2.1. Doymamış Zeminlerin Kompozisyonu (Yoshimi, 1958).....	4
Şekil 2.2. Doymamış Zeminlerin Hava-Su Arayüzü İçeren Blok Diyagramı (Önalp, 1997).....	5
Şekil 2.3. Doymamış ve Doymamış Zeminler İçin Gerilme Durum Değişkenleri ve Gerilme Tansörleri (Fredlund ve Rahardjo, 1993).....	7
Şekil 2.4a. Ön Islatmanın Kuru Yoğunluk Üzerine Etkisi (Holtz ve Kovacs, 1981).....	10
Şekil 2.4b. Ön Islatmanın Konsolidasyon Üzerine Etkisi (Holtz ve Kovacs, 1981).....	11
Şekil 2.5. İzotropik Sıkışma Koşullarında Doymamış Bir Zeminin Üç Boyutlu Gerilme-Deformasyon İlişkisi (Blight, 1965)	13
Şekil 2.6. Doymamış Olan Zeminde Sıkışabilirlik (Önalp, 1997).....	17
Şekil 2.7. Farklı Su İçeriklerinde Kompakte Zeminin Su İçeriği ve Hacim Değiştirme Katsayısı Arasındaki İlişki (Cora, 2000).....	18
Şekil 2.8. Anizotropi Oranı-Su İçeriği İlişkisi (Taşkiran, 2006).....	19
Şekil 2.9. Farklı Su İçerikleri İçin Anizotropi Oranı-Su İçeriği İlişkileri (Taşkiran, 2006).....	20
Şekil 2.10. Serbest Basınç Deneylerinde Kırılma Zarfı (Önalp, 1997).....	22
Şekil 2.11. Doymamış Olan Zeminde Hava ve Suyun Konumları (Önalp, 1997)...	22
Şekil 2.12. Doymamış Bir Zeminde Kırılma Zarfı (Fredlund ve Rahardjo, 1993)....	23
Şekil 3.1. Zemin Örneği Alma Çalışması	25
Şekil 3.2. Zemin Örneği Alma Çalışmalarında Kullanılan Silindirik Tüp ve Başlık	26
Şekil 3.3. Zemin Örneği Hazırlama Çalışması.....	29
Şekil 3.4. Doymamış Olan Zeminlerde Konsolidasyon Deney Düzenekleri.....	32
Şekil 3.5. Metal Malzemeden İmal Edilen Poroz Taş	33
Şekil 4.1. Gerilme İle Boşluk Oranı Değişimleri	37
Şekil 4.2. Gerilme İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi	39
Şekil 4.3. Gerilme İle Hacim Değişimi İlişkisi	41

Şekil 4.4. Su İçeriği-Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi	44
Şekil 4.5. Gerilme ve Su İçeriği Değişkenleri İçin Hacimsel Sıkışma Katsayısı Değerleri	46
Şekil 4.6. Hacimsel Sıkışma Katsayısı Yüzeyi	47

1. GİRİŞ

Zeminlerde gerilme artımları sonucunda oluşan oturmaların gelişimi, özellikle doymun olmayan kil zeminler için oldukça karmaşıktır. Söz konusu oturmalar, birçok parametreye bağlı olduğundan hacim değiştirme davranışlarının, değişkenlerle ilişkilendirilmesi oldukça zordur. Öte yandan kurak (arid) ve yarı-kurak (semi-arid) bölgelerde yer alan zeminler doymamış koşullarda bulunurlar. Kurak ve yarı-kurak bölgelerin, yeryüzünün yarısına yakın alanı kaplaması nedeniyle, doymamış killi zeminlerin davranışlarının incelenmesi, geoteknik mühendisliğinde özel bir öneme sahiptir (Taşkıran, 2006).

Doymamış zeminlerin hacim değiştirme özelliklerini ifade etmek için, farklı araştırmacılar tarafından, farklı bünye denklemleri verilmiştir. Doymamış zeminler, Yoshimi (1958) tarafından, boşluklarının tümü su ile dolu olmayan ve boşluklarında gaz fazı (hava ve su buharı) da barındıran zeminler olarak tanımlanmıştır.

Hacim değiştirme davranışları üzerinde, doymamış zeminin iskeletinde yer alan suyun ve havanın etkisi büyüktür. Matyas ve Radhakrishna (1968), zeminin fiziksel durumuna (boşluk oranı, doymunluk derecesi ve gerilme) bağlı olarak zeminin sıkışabilirliğinin değiştiğine dikkat çekmişlerdir. Buna göre, efektif gerilme değişimleri aynı olan, ancak farklı gerilme geçmişlerine ve doymunluk derecelerine sahip özdeş iki elemanın hacim değişimleri büyük ölçüde farklıdır. Matyas ve Radhakrishna (1968), zemin davranışının sadece efektif gerilmeler cinsinden terimler yerine, uygulanan gerilme ve emme gerilmesi olarak, iki ayrı gerilme bileşeninin fonksiyonu şeklinde tanımlanması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Zeminler; doymunluk dereceleri, yaklaşık olarak %95'ten küçük olmaları durumunda, doymun olmayan duruma ait mühendislik davranışları sergilerler. Sıklıkla rastlanan kurak ve yarı-kurak bölgelerdeki killi zeminler, çoğunlukla doymunluk derecesi % 90'dan daha düşük olan zeminlerdir. Bu nedenle ortalama doymunluk derecesi % 85'den az olan zeminler proje yükleri ile yüklendiklerinde, zeminin ağırlıkça su içeriği (w) korunur ve "ağırlıkça sabit su içeriği"nde sıkışma söz konusudur.

Doymamış zeminlerin hacim değiştirme özelliklerine yönelik kompakte zeminler üzerinde araştırmalar mevcutken, doğal zeminlerde çok az sayıda çalışma mevcuttur.

Bu tez çalışması kapsamında, aynı zemin depozitinden alınan Çukurova alüvyonuna ait CL tipinde kil numuneler, farklı su içeriğinde hazırlanarak, sabit su içeriği yöntemine göre yapılan konsolidasyon deneylerine tabi tutulmuşlardır. Doymamış koşullardaki kil örneklerinde hacim değiştirme davranışları, su içeriği ve gerilmelere göre irdelenmiştir.

Doymamış örnekler üzerinde gerçekleştirilen konsolidasyon deneylerinde; elde edilen hacimsel sıkışma katsayısı değerinin, su içeriği ile ilişkilendirilecek olması nedeni ile, deney sırasında, örneklere ait su içeriğinin değişmemesi gerekmektedir. Deney sırasında zemin örneklerinin kurumamaları için, konsolidasyon hücresinin etrafı nemli bez ve naylon poşetle sarılmıştır. Ayrıca bu çalışmaya özgü olarak, başlangıçtaki yük kademeleri küçük aralıklarla seçilmiştir. Bunun nedeni, deney başında ani oturmaların istenmemesi ve hacimsel sıkışma katsayısı değerinin, birbirine yakın gerilme kademeleri için ve küçük aralıklarla hesaplanmasının, daha doğru olduğuna karar verilmesidir.

Çalışmanın içerişinde her su içeriği değeri için, yük kademesi ile hacimsel sıkışma katsayısının değişimine ve her yük kademesinde de su içeriği ile hacimsel sıkışma katsayısının değişimine, ayrı ayrı yer verilmiştir. Bu ilişkilere ait grafikler ve ifadeler, ilgili başlıklar altında sunulmuştur. Elde edilen ilişkiler birleştirilerek gerilme ve su içeriği değişkenleri için, bir hacimsel sıkışma katsayısı yüzeyi elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Burada yer alan bilgiler, sonraki bölümlerde irdelenen ve zeminlerin hacim değiştirme özelliklerinin bir göstergesi olan, hacimsel sıkışma katsayısı ile su içeriği arasındaki etkileşimi belirlemek amacıyla yöneliktir.

Bu kapsamda; zemin problemlerinde iki ana husustan ön planda oturmalar olmak üzere, hacim değişimi ve mukavemete etkisi olan zemin parametrelerine ve bunların etkilerine değinilmiştir.

Doymamış ince daneli zeminlerle alakalı, şimdiye kadar yapılmış çalışmalar, ilgili başlıklar altında sunulmuştur.

2.2. Doymamış Zeminler

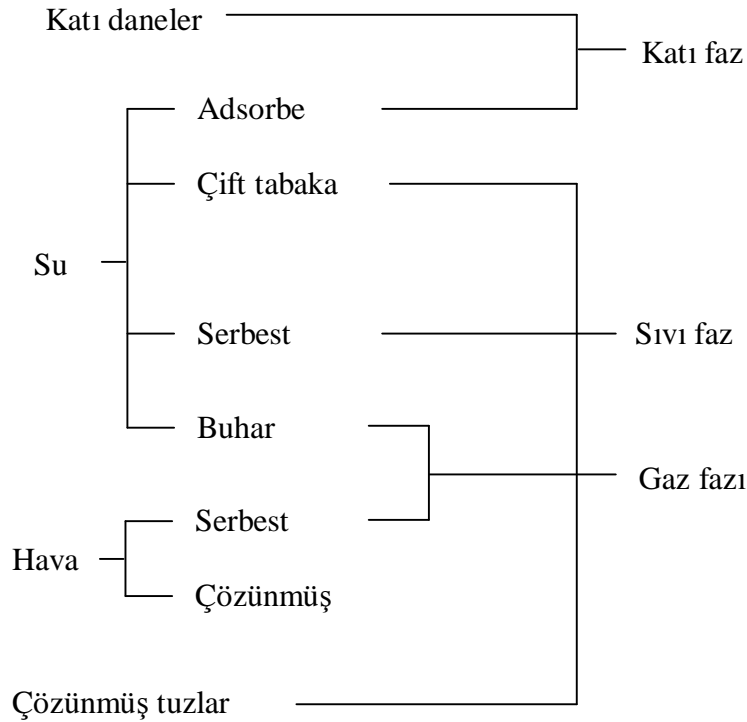
2.2.1. Doymamış İnce Daneli Zeminlerin Kompozisyonu

Yoshimi (1958), doymamış zeminleri, boşluklarının tamamı su ile dolu olmayan, fakat gaz fazı içeren (hava+su buharı) zeminler olarak tanımlamıştır. Bu nedenle doymamış zeminlerde doygunluk derecesi, her zaman % 100 ün altındadır.

Doymamış zeminler poroz ortamlardır. Porozitenin cismin yapısı ve davranışı ile yakından ilgisi vardır. Poroz bir cisimde, yüzey ile bağlantısı olan, “açık gözenek” çoğunluktadır. Ancak yüzeyle bağlantısı olmayan “kapalı gözenekler” de bulunur. Dane boyutu küçüldükçe yüzey alanının artması, kapalı gözeneklerin bir kısmının açık gözenek durumuna gelmesini sağlar. Poroz bir cisimde mikro, mezo ve makro gözenekler bir arada bulunur. Bazı zeminlerde makro, bazı zeminlerde mezo ve bazılarında ise mikro gözenekler çoğunlukta bulunabilir. Mikro ve mezo gözenekler, kimyasal olaylar ile sıcaklıktan etkilenirler. Makro gözenekler ise, sadece basınçtan etkilenirler (Tekinsoy, 2002).

Düşük emme basınçları için, boşluk suyu makro boşluklardan akar. Doymunluk derecesi düştükçe boşluk suyu, büzülen veya daha küçük mikro boşluklara çekilir (Önalp,1997).

Doymamış zeminler üç fazlı sistemlerdir ve içerikleri aşağıdaki gibi gösterilebilir (Şekil 2.1).



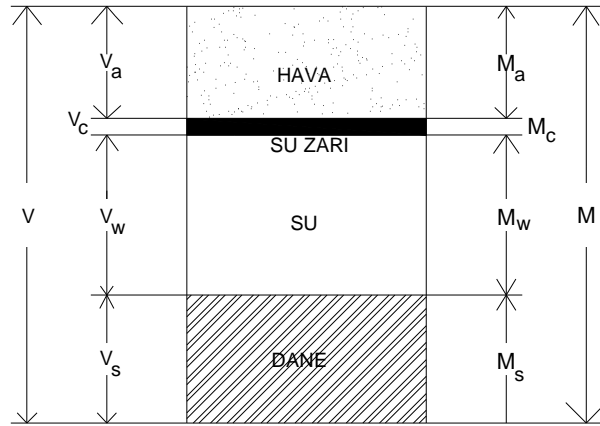
Şekil 2.1. Doymamış Zeminlerin Kompozisyonu (Yoshimi, 1958)

Matyas ve Radhakrishna (1968) tarafından, doymamış zeminler; katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç fazlı bir sistem olarak tanımlanmış, tek tek daneler olarak düşünüldüğünde katı fazın sıkışmayan özellikte olduğunu, ancak çimentolanma olmuşsa sıkışabileceğini belirtmişlerdir. Boşluk geometrisi, sistemi oluşturan fazların sıkışabilirlik özelliklerine bağlı olarak, hem dış, hem de iç koşulların değişimine tepki gösterir. Bu nedenle, zeminin içinde bulunduğu fiziksel koşullara bağlı olarak, zemin elemanın durumu, elemanı oluşturan birimlerin toplamına bağlı olarak tanımlanmıştır.

Fredlund ve Morgenstren (1977) tarafından; katı, sıvı ve gazın yanında hava-su ara yüzeyinin dördüncü bir bağımsız faz olarak düşünülmesi gerektiği belirtilmiştir. Fredlund ve Morgenstren (1977); doymamış zeminleri, uygulanan gerilme altında dengeye gelen iki faz (zemin daneleri-büzülme yüzeyi) ve yine uygulanan gerilme altında akan iki fazı (hava-su) içeren, bir karışım olarak tanımlamaktadırlar.

Boşluklarda yaygın olarak su-hava ara yüzeyleri belirlediği için, minüsküste su yüzeyinin normal sudan farklı olması sonucu, blok diyagramda su zarı olarak bir dördüncü fazın da gösterilmesi gerekliliği ileri sürülmektedir (Tekinsoy, 2002).

Sırasıyla; M_a havanın, M_c su zarının, M_w suyun, M_s danelerin ağırlıkları; V_a havanın, V_c su zarının, V_w suyun ve V_s de danelerin hacimleri olmak üzere, doymamış zeminlerin hava-su ara yüzü içeren blok diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Doymamış Zeminlerin Hava-Su Ara Yüzü İçeren Blok Diyagramı (Önalp,1997)

Wheeler (1988), doymamış zeminleri üç sınıfa ayırmıştır.

1. Düşük suya doygunluk derecesine sahip zeminler

- Gaz fazı süreklidir.
- Suyun, dane temas yerlerinde oluşturduğu meniskler süreksizdir.

2. Orta derecede suya doygunluk derecesine sahip zeminler
 - Gaz fazı süreklidir
 - Su fazı süreklidir.
3. Yüksek suya doygunluk derecesine sahip zeminler
 - Gaz fazı ayrı kabarcıklar şeklinde olup, süreksizdir.
 - Su fazı süreklidir.

2.2.2. Doymamış Zeminler İçin Efektif Gerilme Kavramı

Sıkışma; burulma, kayma direncindeki değişimler gibi, gerilme değişimlerinin bütün ölçülebilir etkileri, s_1' , s_2' ve s_3' efektif gerilmelerdeki değişimlere bağlıdır (Terzaghi, 1936) ve çevresel gerilmelerin zemin bünyesi içinde nasıl bir hal aldığı, bu açıdan önem arz etmektedir.

Suya doygun zeminlerde efektif gerilme ifadesi tek değişkene bağlı olarak aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\sigma' = \sigma - u_w \quad (2.1)$$

σ' = efektif gerilme

σ = toplam gerilme

u_w = boşluk-suyu basıncı (Taşkıran, 2006)

Taşkıran (2006), üç fazlı yapıya sahip olmaları nedeniyle, doymamış zeminlerde gerilme durumu değişkenlerini tanımlamanın zorluğuna dikkat çekmiştir. Coroney ve ark. (1952), doymamış zeminler için efektif gerilme ifadesini doygun durum için söz konusu olan efektif gerilme ifadesine benzer şekilde ancak yapışma faktörüne bağlı olarak (2.2) numaralı eşitlikte olduğu gibi vermişlerdir.

$$\sigma' = \sigma - \beta' u_w \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte, β' =tutma veya yapışma faktörü'dür.

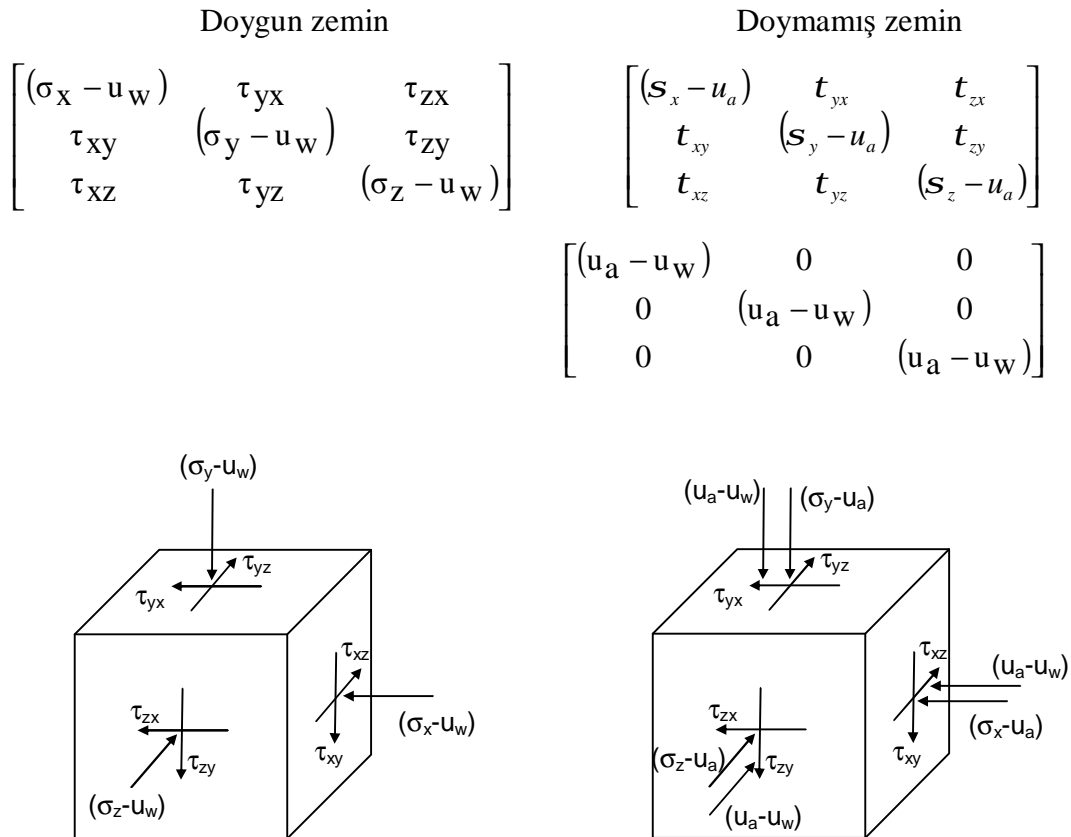
Bishop ve Blight (1963) doymamış zeminler için, aşağıdaki efektif gerilme ifadesini önermiştir.

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte u_a boşluk hava basıncını, χ ise zeminin doygunluk derecesine bağlı bir parametreyi gösterir.

Zeminin doygunluk derecesinin artması ve suya doymun duruma gelmesi halinde verilen (2.3) numaralı eşitlikteki χ değeri, 1'e eşit olur. Bu durumda eşitlik (2.1) numaralı ifade elde edilir.

Doymun zeminler ve doymamış zeminler için aşağıdaki gibi verilen gerilme tansörleri, Şekil 2.3'de kübik üzerinde gösterilmiştir (Fredlund ve Rahardjo, 1993).



Şekil 2.3. Doymun ve Doymamış Zeminler İçin Gerilme Durum Değişkenleri ve Gerilme Tansörleri (Fredlund ve Rahardjo, 1993)

2.2.3. Doymamış Zeminlerin Hacim Değişirme Özellikleri

Doymamış zeminlerin hacim değişirme özelliklerini ifade etmek için, gerilme hali değişkenleri ve deformasyon hali değişkenleri arasındaki ilişkileri kuran, bünye denklemleri önerilmiştir. Bu bünye denklemleri, deneysel yolla bulunması gereken bazı parametreleri içerirler. Hacim değişimini tanımlayan bünye denklemlerinin içerisinde yer alan zemin özellikleri, “hacimsel deformasyon özellikleri” olarak adlandırılırlar (Taşkıran, 2006).

Bir konsolidasyon olayında iki tür ilişki söz konusudur. Bunlardan birincisi gerilme-deformasyon ilişkisi, ikincisi de deformasyon-zaman ilişkisidir. Bu ilişkileri belirleyen, düzgün içyapılı katı cisimlerde olduğu gibi, standart ve sabit bir değer verilememektedir (Tekinsoy ve Laman, 2000).

Gerilme-şekil değişirme ilişkilerinin gerçek gerilmeler cinsinden dikkate alınabilmesi için, hacimsel sıkışma katsayısı ele alınmıştır. Hacimsel sıkışma katsayısı ödometre için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Tekinsoy ve Laman, 2000).

$$m_v = -\frac{\Delta V}{V\Delta p} \quad (2.4)$$

Ödometre deneyinde, numune alanının sabit olduğu hesaba katılırsa (2.4), no’lu ifade

$$m_v = -\frac{\Delta H}{H\Delta p} \quad (2.5)$$

şeklini alır. Deformasyonun $e = \Delta H / H$ olduğu hatırlanır ve (2.5) no’lu ifadede yerine konursa

$$m_v = -\frac{e}{\Delta p} \quad (2.6)$$

ifadesi elde edilir ki hacimsel sıkışma katsayısının, gerilme artımları sonucunda oluşan deformasyonlarla doğrudan ilişkisi ortaya konmuş olur.

Gerilme-deformasyon ilişkisinde, elastik bölgenin eğimi elastisite modülü (E) olarak ifade edilmektedir. Ancak zeminlerde elastik deformasyonlar, toplam deformasyonun %1' lik bir kısmı kadardır. Bu nedenle zeminlerde elastisite modülü (E) fiktif bir parametreden öteye geçemez ve zeminlerde diğer elastik parametrelerden de söz edilemez (Tekinsoy ve Laman, 2000).

Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), gerilme-deformasyon eğrisinin eğimi olan, elastisite modülü gibi, malzeme özellikleriyle alakalı ve zeminler için tanımlı bir parametredir. Janbu (1967), gerilmeye göre değişen sıkışabilirliği “teğet modülü” (M) adı altında, hacimsel sıkışma katsayısına (m_v) bağlı olarak

$$M = \frac{ds}{de} = \frac{1}{m_v} \quad (2.7)$$

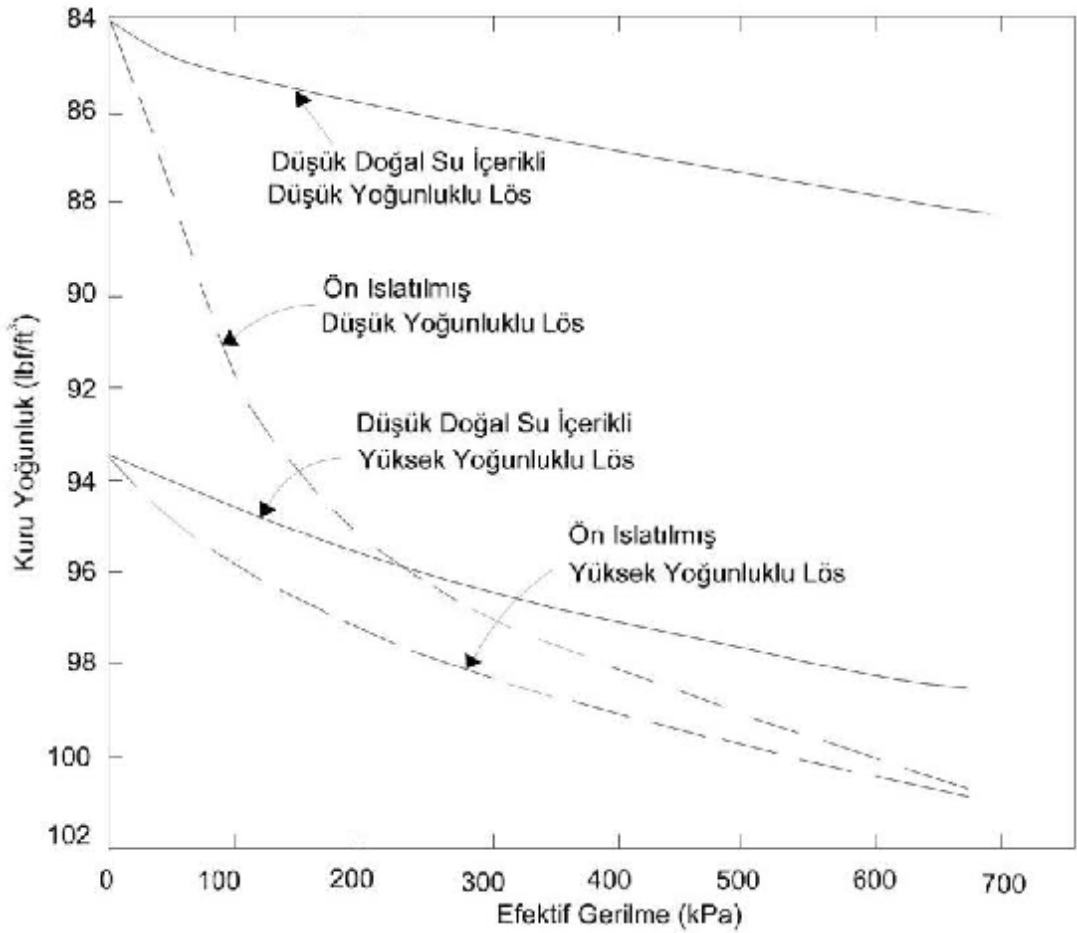
biçiminde tariflemiştir.

Biot (1941) tarafından, zeminin izotrop ve elastik bir malzeme olduğunu kabul ederek, üç boyutlu bir konsolidasyon teorisi ileri sürülmüştür. Zeminlere ait boşluk suyunun, hava kabarcıkları içermesi nedeni ile, bu tür zeminler doymamış koşullarda kabul edilmiştir. Biot (1941), doymamış zeminlerin deformasyon halini tam olarak tanımlayan iki bünye denklemi önermiştir. Bunlardan ilki zemin yapısını, ikincisi ise su fazı ile ilgili bünye denklemlerini tanımlar. Bu denklemlerde, iki bağımsız gerilme hali değişkeni kullanılmıştır.

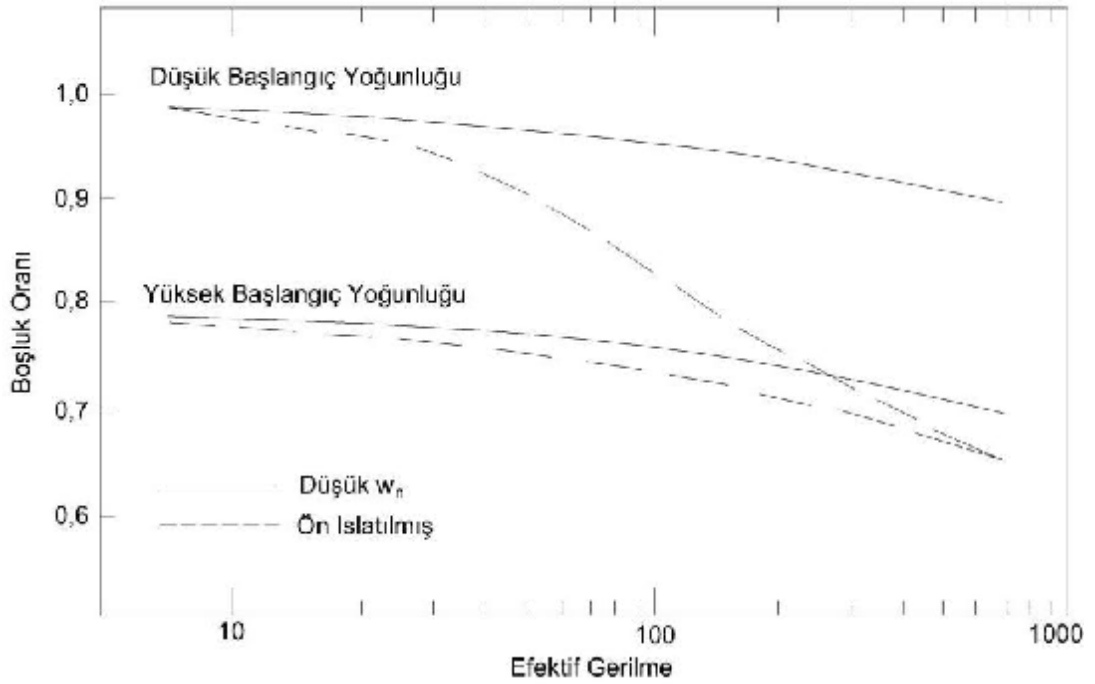
Missouri Nehri Baseni lös türü zeminlere ait konsolidasyon eğrileri Şekil 2.4.a ve Şekil 2.4.b'de görüldüğü gibi verilmişlerdir (Holtz ve Kovacs, 1981). Düşük yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu iki örneğin kuru yoğunluk-gerilme (aritmetik) ilişkisini gösteren Şekil 2.4.a'daki grafik Clevenger (1958)'den alınmıştır. Şekil 2.4.b'deki grafik ise aynı verilerin geleneksel gerilme-boşluk oranı eğrisidir.

Lös, doğal halinde tipik olarak kısmen doygundur ve tamamen su altında kaldığında zemin yapısı göçmektedir. Bu durum Şekil 2.4.a ve Şekil 2.4.b' nin ön-ıslatılmalı (kesikli) eğrilerinde gösterilmiştir. Islanmadan kaynaklanan göçme

miktarı, tahmin edileceği gibi, başlangıç yoğunluğuna bağlıdır. Zemin örneklerine, su eklenmeden yapılan deneylerde beklenen konsolidasyon eğrileri, Şekil 2.4.a ve Şekil 2.4.b'de kesikli çizgilerin üzerinde yer alan düz çizgiler şeklinde olacaktır. Bu sebeplerle bazı durumlarda, inşaat sonrasında löslü zeminlerdeki oturmayı azaltmak için bunların önceden ıslatılması arzu edilmektedir (Holtz ve Kovacs,1981).



Şekil 2.4.a Ön ıslatmanın Kuru Yoğunluk Üzerine Etkisi (Holtz ve Kovacs, 1981)



Şekil 2.4.b Ön Islatmanın Konsolidasyon Üzerine Etkisi (Holts ve Kovacs, 1981)

Doymamış zeminlere ait deformasyon davranışının, tek değişkenli olarak efektif gerilme bağıntısı ile ifade etme çabaları olmasına rağmen, bunların sınırlı oranda başarılı olduğu, yapılan birçok deneysel bulgu ile ortaya konmuştur (Taşkıran, 2006). Fredlund ve Rahardjo (1993); doymamış zeminlerde, efektif gerilme ile hacimsel deformasyon arasında bire-bir ilişkinin varolmadığına ve bu durumun, kritik doygunluk derecesi altına inildikçe, daha da belirginleştiğine dikkat çekmişlerdir.

Coleman (1962) tarafından, gerilme durumu değişkenleri ($u_w - u_a$), ($\sigma_m - u_a$) ve ($\sigma_1 - \sigma_3$) olarak alındığı, iki bünye denklemi önerilmiştir. Bu iki bünye denkleminde biri zeminin hacim değişimi diğeri su fazının hacim değişimi ile ilgilidir. Burada; ($\sigma_1 - \sigma_3$), en büyük ve en küçük asal gerilmeler arasındaki fark olarak ifade edilen deviatorik gerilme, σ_m ise ortalama normal gerilmedir

$$-\frac{dV}{V} = -C_{21}(du_w - du_a) + C_{22}(d\sigma_m - du_a) + C_{23}(d\sigma_1 - d\sigma_3) \quad (2.8)$$

Burada

dV = Zemin elemanına ait toplam hacim değişimi

V = Zemin elemanın toplam hacmi

u_a = Boşluk hava basıncı

u_w = Boşluk suyu basıncı

σ_1 = Eksenel normal gerilme (maksimum asal gerilme)

σ_3 = Çevre basıncı (minimum asal gerilme)

σ_m = Ortalama normal gerilme

C_{11} , C_{22} , C_{23} = zemin yapısının hacim değişimi ile ilgili zemin parametreleri

Su fazının hacim değişimini tanımlayan bünye denklemleri ise

$$-\frac{dV_w}{V} = -C_{11}(du_w - du_a) + C_{12}(d\sigma_m - du_a) + C_{13}(d\sigma_1 - d\sigma_3) \quad (2.9)$$

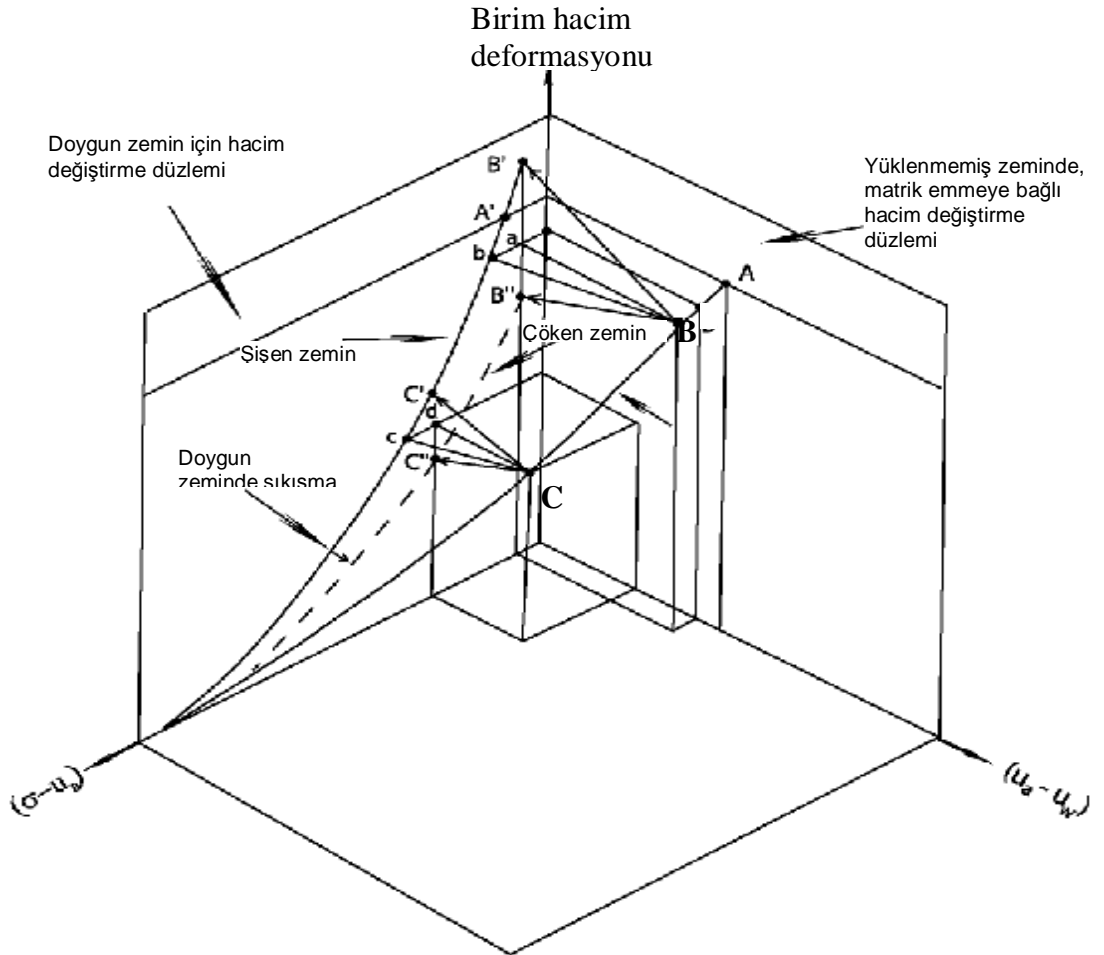
ile verilmiştir. Burada

dV = Zemin elemanı içindeki suyun hacim değişimi

C_{11} , C_{22} , C_{23} = su fazının, hacim değişimi ile ilgili zemin parametreleri

Bishop ve Blight (1963), tek-değişkenli efektif gerilme hali değişkenleri ile, hacim değiştirme davranışının ifade edilmesine yönelik bazı güçlüklerle dikkat çekmişlerdir. Hacim değişim verilerinin $(\sigma - u_a)$ ve $(u_a - u_w)$ değişkenleri ile ilişkilendirildiği, üç-boyutlu bir ilişki şekli önermişlerdir (Taşkiran, 2006).

Blight (1965) tarafından, doymamış zeminlerin hacim değiştirme davranışını belirlemeye yönelik yapılan çalışmada, zeminin hacimsel deformasyonunun, net gerilme ve matrik emme olarak iki gerilme değişkenine bağlı olduğuna değinilmiştir. Şekil 2.5'de verilen üç eksenli grafikte, gerilme hali değişkenleri ile hacimsel deformasyon ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. İzotropik Sıkışma Koşullarında Doymamış Bir Zeminin Üç Boyutlu Gerilme-Deformasyon İlişkisi (Blight, 1965)

Blight (1965), gerilme uygulanmamış doymamış bir zeminin, düzlemde bir nokta ile temsil edilebileceğini belirtmiştir.(2.10) numaralı ifadede verilen nokta, yüklenmemiş zeminde matrik emmeye bağlı hacim değiştirme düzlemi üzerindedir.

$$\{ \delta v/v, (\sigma - u_a)=0, (u_a - u_w) \} \quad (2.10)$$

Oysa, gerilmeye maruz kalan doymamış bir zemin, uzayda bir nokta olarak temsil edilebilir (Taşkıran, 2006).

$$(\delta v/v, (\sigma - u_a) (u_a - u_w)) \quad (2.11)$$

Şekil 2.5’de gösterilen ABC eğrisi, su içeriği değişmeden sıkışan ve bu nedenle matrik emmesi azalan doymamış zeminin hacimsel deformasyon eğrisidir. Bünyesine su aldığı anda şişen bir zemin söz konusu ise; ABC eğrisi, sabit normal gerilme altında, doymuş zemin için hacim değiştirme düzlemine doğru yönlenecektir. Matrik emme sıfıra doğru azalacak ve B noktası B’ noktasına, C noktası da C’ noktasına ötelenmiş olacaktır.

B’A’bC’c eğrisi için söz konusu olan net normal gerilme değerleri, ABC eğrisi için de geçerlidir. Büyük gerilmelere maruz kalan doymamış bir zeminde, sabit kalan su içeriğine rağmen, matrik emme azalacaktır. Doymuluk derecesinin artmasıyla, deformasyon eğrisi matrik emme değerinin sıfır olduğu, doymuş zemin için hacim değiştirme düzlemine doğru yönlenecektir. Böylelikle, B’A’bC’c eğrisi ile ABC eğrisi çakışmış olacaklardır.

Blight (1965); B ve C noktalarının, doymuş zeminin hacim değiştirme düzlemi üzerindeki izdüşümleri olan b ve c noktaları ile aynı hacimsel deformasyona sahip olduklarını ve dolayısıyla aynı efektif gerilme değerlerine de sahip olmaları gerektiğini belirtmiştir. Bu durumda aşağıdaki eşitlik verilebilmektedir.

$$\Delta\sigma' = (\sigma - u_a) + X\Delta(u_a - u_w) \quad (2.12)$$

Denklem (2.12), B ve b ya da C ve c noktalarına uygulanacak olursa, X faktörünün bB yada cC doğrularının eğimi olduğu görülecektir. Eğer zemin, su aldığı anda oturan türden ise, sabit yük altında matrik emmenin azalması ile BB’’ ya da CC’’ yörüngelerini izleyecektir. Burada B’’C’’ eğrisi, doymuş zemine ait sıkışma eğrisini ifade eder. Bu eğri, zemin yapısındaki bozulmalar sonucu elde edildiği için, zeminin gerçek efektif gerilmelerini temsil etmez (Taşkiran, 2006).

Matyas ve Radhakrishna (1968), doymamış zeminler için hal parametrelerini, zeminin boşluk oranı ve suya doymuluk derecesi ile birlikte ele alarak, üç eksenli durum için, $(u_a - u_w)$, $(\sigma_m - u_a)$ ve $(\sigma_1 - \sigma_3)$ şeklinde önermişlerdir. Gerilme hali

parametreleri, izotropik sıkışma durumu için, $(\sigma_3 - u_a)$ ve $(u_a - u_w)$ ifadelerine indirgenmiştir.

Matyas ve Radhakrishna (1968); çalışmalarında, boşluk oranı veya suya doygunluk derecesine göre, üç boyutlu ortamda belirlenen, normal gerilme ve matrik emme parametrelerinin, hal yüzeylerini oluşturduğuna değinmişler ve bu yüzeylerin değişmez olduğunu, deneysel olarak göstermişlerdir.

Barden ve ark. (1969) tarafından, K_0 yüklemesi altında yapılan deneysel çalışmada, doymun olmayan zeminlerin hacim değıştirme davranışlarının, net normal gerilme ve matrik emme değışkenleri ile ayrı ayrı ilişkilendirilerek analiz edilmesinin, daha uygun sonuçlar verdiğine değinilmiştir. Hacimsel deformasyonun, zemin üzerine uygulanan gerilme izine ve zeminin doymunluk deresine bağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Akbay (1972) tarafından, ODTÜ kampüs kili üzerinde, bu kilin su içeriğı değışimleri ile farklı yük kademelerinde, hacim değıştirme davranışını araştırmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada 3 farklı yol izlenmiştir. Önce numune doğal su içeriğine sahip zemin örneğı 32 kgf/cm^2 basınca kadar, konsolidasyona tabi tutulmuştur. Bunu izleyen deneylerde ise yine, basınç aynı üst sınıra kadar uygulanmış, ancak suya boğdurulmuş numune kullanılmıştır. Üçüncü ve son olarak konsolidasyon deneyi, doğal su içeriğinde başlatılmış, deney sırasında zemin örneğine su verilmiştir. İzlenen bu yollar, doymun olan ve doymun olmayan zeminler arasındaki hacim değışimleri farklılıklarını gözlemlemeye imkan kılmıştır. Su içeriğindeki değışimlerin, hacimsel değışimlerde farklılıklara sebep olduğu ve uygulanan yükün şiddetine göre, hacimsel değışimlerin yönlendiğı (çökme-şişme) sonucuna varılmıştır.

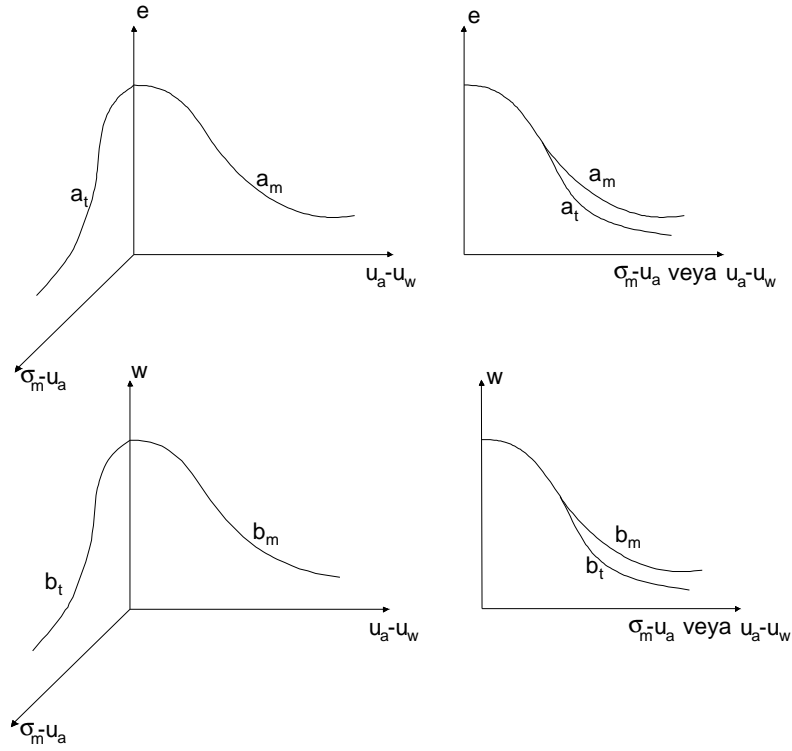
Fredlund ve Morgenstren (1977), çok fazlı sürekli ortamlar mekaniğini baz alarak yaptıkları gerilme analizleri ile, $(\sigma - u_a)$ $(u_a - u_w)$ ve $(\sigma - u_w)$ olmak üzere, üç bağımsız gerilme değışkeninden herhangi ikisinin, gerilme durumunu ifade etmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bu yolla, değışkenlerin gerilme halini ifade edebileceğine dair, daha iyi bir açıklama getirilmiştir. Mühendislik uygulamalarında, zemin yapısı ve su fazı ile ilgili hacim değıştirme özellikleri genellikle, boşluk oranı

ve su içeriği değişimleri cinsinden ifade edilmektedir. Hava fazı ile ilgili hacim değişimi ise, zemin yapısı ve su içeriği değişimlerine ait, hacim değişimlerinin farkından hesaplanmaktadır (Taşkiran, 2006).

Alonso ve Lioret (1982) tarafından, doymamış zeminler için drenajsız koşullarda gerçekleştirilen analitik çalışmada, toplam hacim değişimi ve doygunluk derecesi değişimleri için, iki denklem önerilmiştir. Taşkiran (2006) tarafından belirtildiği gibi; Alonso ve Lioret (1985), yaptıkları bir başka çalışmada, K_0 ve izotropik yükleme koşulları altındaki, doymamış zeminlerin davranışını idare eden durum yüzeyleri için, bir takım lineer ve lineer olmayan fonksiyonlar önermişlerdir.

Doymamış zeminlerde de doymamış zeminlerde olduğu gibi, gerilme-deformasyon bağıntıları incelenirken, zemin hacmindeki değişmelerin boşluk hacmindeki değişmelere eşit olduğu varsayılır. Zemin danelerinin sıkışmadığı kabul edilir. Doymamış zemin durumunda; boşluk hacmindeki değişmeye, boşluk suyu ve boşluklardaki hava hacimlerindeki değişmelerin katkıları göz önüne alınır (Önalp, 1997).

Su ve hava hacimlerindeki değişme üzerinde, toplam boşluk basıncı ve bunun bileşenlerinin önemi vardır. Zemin dokusunun muhafaza edilmesine, sözü edilen bileşenlerden, kapiler emme ve boşluk hava basıncı birlikte yardımcı olur. Bu bileşenlerin ortak davranışı, boşluk oranının değişmesini kontrol eder. Bu nedenle doymamış zeminlerin konsolidasyonunda kapiler emme ve net gerilmelerin birlikte kontrol edildiği deneyler birlikte uygulanır. Bu deneyler ile, su içeriği ve hacim değişimi arasındaki ilişki bulunmaya çalışılır. Başka bir ifade ile $\Delta V/V_0 = f(w)$ ilişkisi çıkarılır. Söz konusu deneyler sonunda, Şekil 2.6'da gösterilen gerilme yüzeyleri belirlenir (Önalp, 1997).



Şekil 2.6. Doygun Olmayan Zeminde Sıkışabilirlik (Önalp,1997)

Şek. 2.6'da verilen boşluk oranı ve su içeriğindeki değişimler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$de = a_t d(s_m - u_a) + a_m d(u_a - u_w) \quad (2.13.a)$$

$$dw = b_t d(s_m - u_a) + b_m d(u_a - u_w) \quad (2.13.b)$$

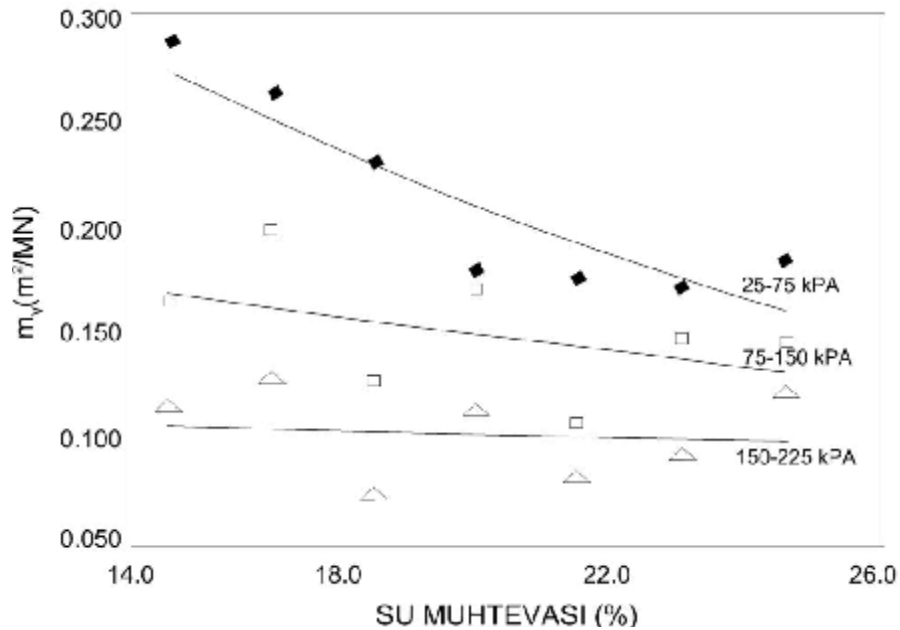
Bu eşitliklerde görülen a ve b parametreleri Şekil 2.6'da gösterilen eğrilerin eğimleridir. Normal gerilmelerden kaynaklanan hacimsel sıkışma katsayısı a_t ve b_t ve kapiler emmelerden kaynaklanan hacimsel sıkışma katsayısı a_m ve b_m ile ifade edilmiştir.

Doygun olmayan zeminlerin bir özelliği de atmosferik ve hidrolojik koşullardan etkilenmeleridir. Bu nedenle bir yapının yapımı süresince ve yapımı bittikten sonra, çevredeki muhtemel değişmelerin tümüyle düşünülerek

değerlendirilmesi gerekir. Doymamış bir zeminin deformasyon davranışı; arazideki başlangıç koşulları, ıslanma ve yüklenme geçmişine bağlıdır (Tekinsoy, 2002).

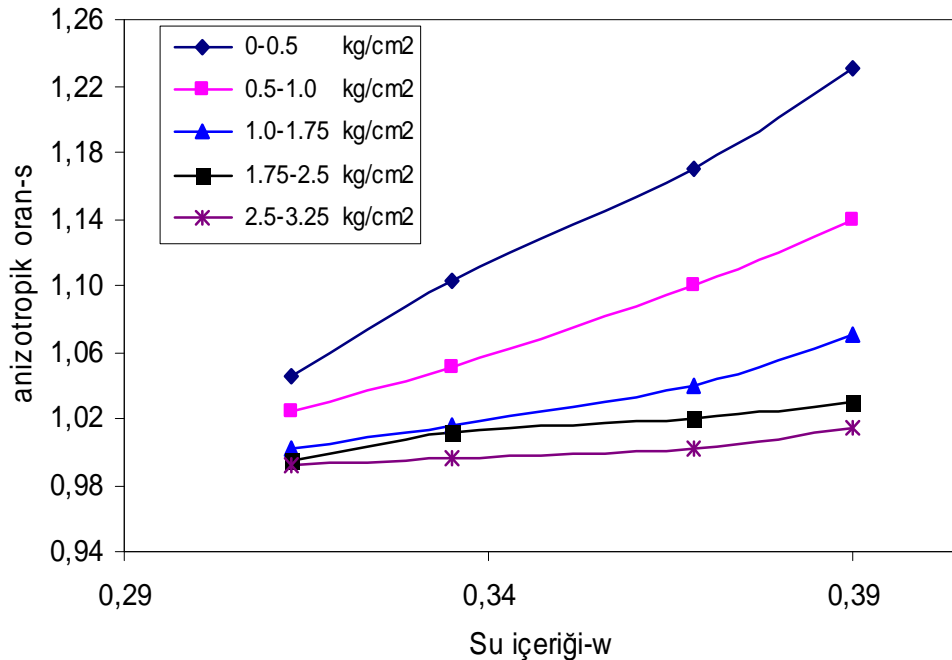
Cora (2000), doymamış kompakte zeminler için, hacim değiştirme davranışlarının ağırlıkça su içeriği ile ilişkisini araştırmıştır. Çalışmada, ODTÜ kampüsünden alınan CL tipi killi zemin kullanılmıştır. Örnekler, farklı su içeriklerinde kompakte edilerek hazırlanmış ve sabit su içerikli konsolidasyon deneyine tabi tutulmuşlardır. Konsolidasyon deneylerinde 25kPa, 75kPa, 150kPa ve 225kPa'lık yüklemeler kullanılmıştır. Deneylerde, 24 saatte bir yük artımı yapılmıştır. Örnekler, sabit su içeriğinde konsolidasyon deneylerine tabi tutuldukları için, su içeriklerinin deney süresince değişmemesine dikkat edilmiştir.

Nem kayıplarının önlemek amacıyla, konsolidasyon hücresinin etrafı ıslak bir bez ile sarılmıştır. Farklı yüklemeler için çizilen, doymamış kompakte örnekler için, su içeriği ile hacimsel sıkışma katsayısının değişim eğrileri, Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Şekil 2.7'deki ilişkiden de görüleceği üzere; aynı su içeriği için, artan yük kademesine karşılık, hacimsel sıkışma katsayısı azalmaktadır.



Şekil 2.7. Farklı Su İçeriklerindeki Kompakte Zeminin Su İçeriği ve Hacim Değiştirme Katsayısı Arasındaki İlişki (Cora, 2000)

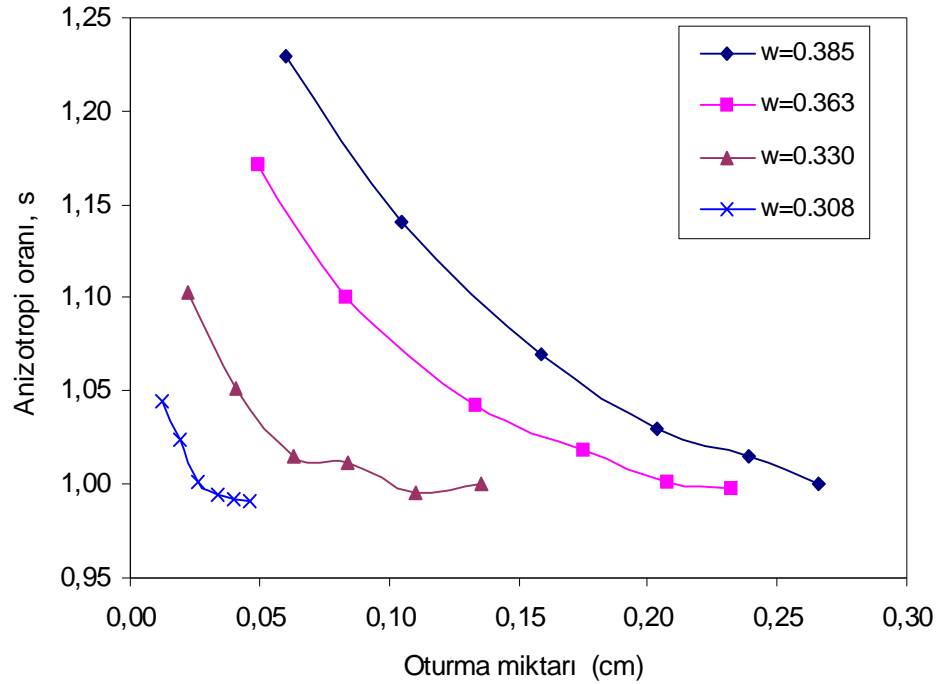
Taşkıran (2006) tarafından doymamış zeminlere ait gerilme analizi, $s = \sqrt{m_{vz} / m_{vx}}$ şeklinde ifade edilen anizotropi oranı kullanılarak, hesaplanmıştır. Burada m_{vz} düşey, m_{vx} ise yatay yöndeki hacimsel sıkışma katsayılarıdır. Bu bağlamda, anizotropi oranının efektif gerilme, ağırlıkça su içeriği, hacimsel su içeriği v.s. gibi etmenler ile değişimi araştırılmıştır. Bu amaçla örselenmemiş ve doymamış Kayapınar (Diyarbakır) bazalt üstü rezidüel kilinden örnekler alınmış ve farklı su içerikleri için, “sabit su içerikli” (constant water content) konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Zemin örneklerinin doymamış olması nedeniyle, deney sırasında, olası su çıkışlarını saptama olanağı veren, “su çıkış üniteli konsolidasyon hücresi” üretilmiştir. Yapılan konsolidasyon deneyleri ile anizotropi oranının, efektif gerilmelere göre değişimi, belli su içerikleri için, incelenmiştir. Yine, anizotropi oranının, su içeriğine göre değişimi, belli yük kademeleri için de gözlenmiştir. Bunların yanında, efektif gerilme ile hacimsel su içeriği ilişkileri de araştırılmış ve elde edilen sonuçlar formüle edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.8. Anizotropi Oranı-Su İçeriği İlişkisi (Taşkiran,2006)

Şekil 2.8’de verilen ilişkilere bakıldığında; yükleme kademesi arttıkça, s-w eğrilerinin yatıklaştığı görülmektedir. Buna göre, bir sabit su içeriği için, yükleme kademesinin artması, (s) anizotropi oranını azaltmaktadır. Çalışmada bu durumda, bütün yükleme kademeleri için, yüksek korelasyon içeren, tek bir eğri ifadesi vermek mümkün olmadığına ve düşük yükleme kademelerindeki eğrilerin, lineer ilişkilere sahipken artan yükleme kademelerinde, parabolik bir şekil aldığına değinilmiştir.

Aynı araştırmada (Taşkiran, 2006), doymamış zeminlerin oturma etkileri araştırılmış ve oturma ile anizotropi oranı arasındaki ilişkiler Şekil 2.9’da verilmiştir. Şekilde görülen w, ağırlıkça su içeriğini ifade etmektedir.



Şekil 2.9.Farklı Su İçerikleri İçin Anizotropi Oranı-Oturma İlişkileri (Taşkiran,2006)

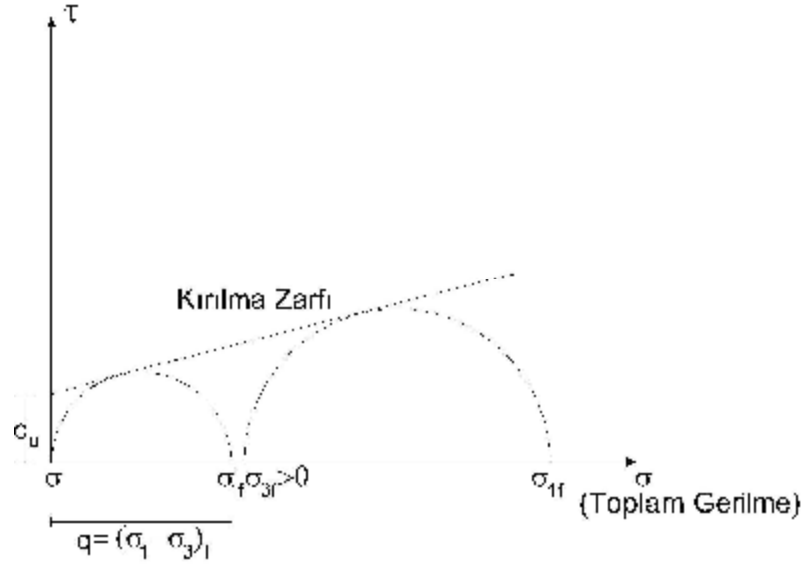
Bu eğrilere göre oturmalar arttıkça, hacimsel su içeriği ve dolayısı ile, doygunluk derecesi artmakta ve s'in değeri 1 dolayında sonlu bir limite yaklaşmaktadır. Bunun anlamı, çökmelerin artması ile, izotropik özelliklerin belirginlik kazanmasıdır.

2.2.4. Doymamış Zeminlerde Mukavemet

Zeminlerin mukavemeti için çekmeye karşı dayanımı olmayan sünek bir malzeme olduğu varsayımı yapılmaktadır. Zemin mukavemeti; uygulanan gerilmeler altında, bu gerilmelere dayanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Zemin mukavemetinin boşluk oranına, jeolojik geçmişe, yükleme sırasında yükleme hızı, dokusu vs. gibi pek çok faktöre bağlı olduğu gözlenmiştir. Söz konusu zemin özellikleri birbirine bağlıdır, ancak matematik kolaylık nedeniyle mukavemet, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı'na (f) bağlı olarak tanımlanmaktadır (Özaydın, 1998).

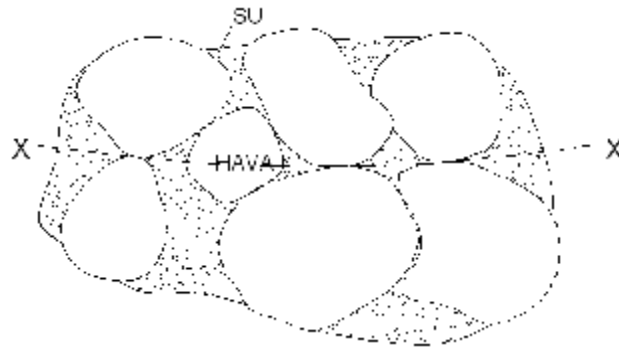
Bunlara ek olarak zeminlerde, boşluk suyu basınçları mukavemet üzerine etki etmektedir. Bu nedenle efektif gerilme kavramı ortaya çıkmıştır. Sonuçta zemin mukavemetinin tayininde zeminin cinsi, yükleme hızı ve drenaj koşulları göz önüne alınmaktadır (Laman ve Tekinsoy, 2000).

Daha önce ifade edildiği gibi bir doymamış zeminin mekanik davranışı ile ilgili iki bağımsız değişken bulunmaktadır. Bunlardan biri ($\sigma - u_a$) net normal gerilmesi, diğeri de ($u_a - u_w$) matrik emmesidir. Bir zeminin doygunluk derecesi azaldıkça zeminde kapiler ve matrik emmeler artar. Bu artış da zemin mukavemetini arttırır. Ancak mukavemetteki artış non-lineer bir artıştır. Örneğin arazide, genellikle yerinde yapılan serbest basınç mukavemeti deneylerinde Şekil 2.10 da görüldüğü gibi bir kırılma zarfı elde edilir.



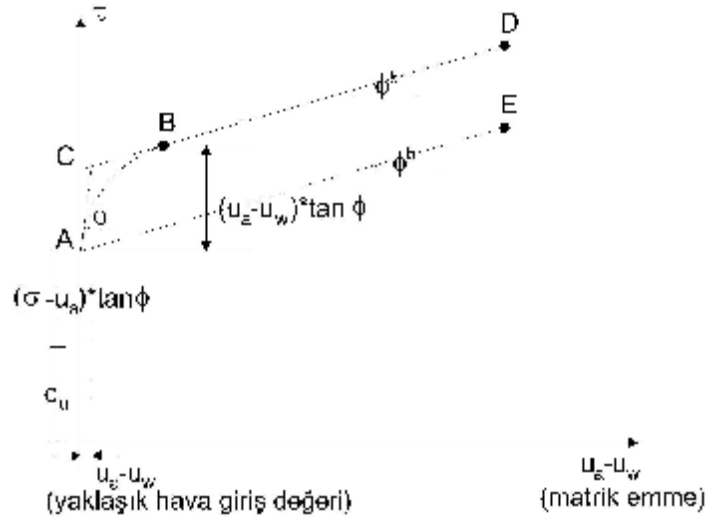
Şekil 2.10. Serbest Basınç Deneyinde Kırılma Zarfı (Önalp,1997)

Aynı zamanda $Seg_w = g_s w$ eşitliği nedeniyle de zeminin doygunluk oranı ve su içeriği mukavemet parametrelerinin değişmesinde etkilidir (Laman ve Tekinsoy, 2000). Mukavemetteki bu değişim, doygunluk oranı (S) ile ters yönlüdür. Doymunluk oranındaki azalış, mukavemetteki artışa neden olur. Ortamdaki hava, danelerin arasında bulunan suya göre gerildiğinden, daneler birbirine doğru çekilir. Böylece Şekil 2.11'de görülen X-X düzleminde efektif gerilme artar (Önalp, 1997; Özaydın, 1998).



Şekil 2.11. Doymun Olmayan Zeminde Hava ve Suyun Konumları (Önalp,1997)

Öte yandan üç eksenli aletle yapılan mukavemet deneylerinde, kayma mukavemetinin matrik emmeye göre değişimi, grafik olarak gösterilirse, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi bir eğri elde edilir.



Şekil 2.12. Doymamış Bir Zeminde Kırılma Zarfı (Fredlund ve Rahardjo,1993)

Sonuç olarak doymamış bir zeminin kayma mukavemeti zarfı, lineer olmayan eğrisel (non-linear) ve gerilme değişkenlerine göre, üç boyutlu bir yapı arz etmektedir. Yine doymamış zeminler üzerine yapılan gözlemler, zemin su içeriğinin residüel su içeriğine yaklaşırken, matrik emmenin kayma mukavemetine olan etkisinin ortadan kalktığını göstermiştir.

Buraya kadar ifade edilen, lineer olmayan kayma mukavemeti davranışını göz önüne alan Bishop ve Blight (1963), doymamış zeminler için aşağıda verilen eşitliği önermişlerdir.

$$t_g = c + (s - u_a) \tan f + (u_a - u_w) \tan f \quad (2.14)$$

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Giriş

Bu bölümde, çalışmaya konu olan zemin örneklerinin endeks özelliklerine, araziden zemin örneği alma çalışmalarına ve yapılan sabit su içerikli konsolidasyon deneyine değinilmiştir.

Çalışma kapsamında; zemin su içerikleri ile ilişkisi irdelenen hacimsel sıkışma katsayısını bulmaya yönelik, Çukurova'nın alüviyal kili üzerinde, farklı başlangıç su içeriklerinde, doymamış koşullarda, sabit su içerikli konsolidasyon deneyleri yapılmış ve çalışmada nasıl bir yol izlendiği nedenleriyle anlatılmıştır.

3.2. Çukurova'nın Alüviyal Kilinden Zemin Örneği Alma Çalışmaları

Doymun olmayan zeminlerde, hacimsel sıkışma katsayısı ile su içeriği arasındaki ilişkisinin incelenmesi için, yapılan çalışmaya konu olan, zemin örneğinin temin edildiği saha, (706 875; 4 096 965) koordinatlarında, Adana İl Merkezinde, Toros dağlarının güney eteklerini oluşturan, az eğimli taraça düzlüklerinin sona erip, Çukurova alüvyon düzlüğünün başladığı bölüm üzerinde yer almaktadır. Örneklerin temin edildiği inceleme sahasını gösterir genel durum planları, Ek5.a ve Ek5.b'de verilmektedir. Söz konusu kilin CL sınıfından oluşu ve bu nedenle, çalışma kapsamında bulunan ve deney başlarında değiştirilen su içeriği değerlerinden dolayı, şişme-büzülme gibi yapısal tepkiler göstermemesi ve doymamış zemin koşullarına sahip bulunması nedeni ile, araştırma açısından uygun olduğuna karar verilmiştir.

Profil boyunca zemin özelliklerini görebilmek, örselenmemiş ve araştırma için önem arz eden, uygun "başlangıç su içeriğinde" zemin örneği alabilmek amacıyla, ekskavatör ile 1 m x 2 m x 2 m boyutlarında araştırma çukuru açılmıştır. Kazı çalışması sırasında, örneklerin örselenme olasılığını en aza indirmek için, araştırma çukuru ince tabakalar halinde kazılmıştır. Şekil 3.1'de, örnek alınmasında kullanılan iş makinesi ve çalışma görülmektedir.



Şekil 3.1. Zemin Örneği Alma Çalışması

Deney başlarında örneklerin başlangıç su içerikleri değiştirilmiştir. Bu nedenle örnekler konsolidasyon deneylerinden önce, ıslatma veya kurutma işlemlerinden birine tabi tutulmuştur.

Yapılan bir ön çalışma ile, ıslatmaya göre kurutmanın daha homojen bir deney örneği sağladığı gözlenmiştir. Bu nedenle kurutma işleminin uygulanabilirliği açısından; alınan örneklerin doğal su içeriklerinin, plastik limit üzerinde bir değere sahip olmasına karar verilmiştir. Deney tüpleri çakılmadan önce, örnek alınacak bölgedeki zeminin kıvamı elle kontrol edilmiş ve kazı tabanı, 5-10 cm dolayında, el aletleri kullanılarak düzeltilmiştir. Örselenmemiş örnek almak amacı ile, alt tarafı keskinleştirilmiş; 2.5 mm et kalınlığında, 16.2 cm çapında ve 21 cm yüksekliğinde tüpler kullanılmıştır. Tüpe uygulanacak baskıyı üniform olarak çeperele iletmek için, üstüne kapak yerleştirilmiştir. Örnek almada kullanılan tüp ve başlıklara ait resim Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Zemin Örneği Alma Çalışmalarında Kullanılan Silindirik Tüp ve Başlık

Örnek tüplerinin zeminle sürtünmesini azaltmak, dolayısıyla zemin örneklerinin örselenmesini engellemek için, içleri yağlanmış ve tüpler yaklaşık 0.5 m ara ile, araştırma çukuru tabanına yerleştirilmiştir. Tüpler dikey konumunu koruyacak şekilde, iş makinesi vasıtasıyla, zemine yavaşça itilmiştir. Ardından tüplerin etraflarındaki zemin kazılarak, tüpler yerlerinden çıkartılmıştır (Taşkiran, 2006).

Tüpün zemine itilmesi sırasında, zeminin üst başlık ile temas ederek sıkışmasını engellemek için, başlık ile zemin örneği arasında yeterli boşluk bırakılmıştır. Zemine itilme sırasında, kapak ile zemin örneği arasında havanın sıkışmaması için, kapak üzerinde iki adet delik açılmıştır. Araştırma çukurlarından alınan örneklerin alt ve üstleri kapatılıp, etrafı sıkıca sarılmış ve deneylerin gerçekleştirildiği ve özel sektöre ait Zemar2000 Zemin Mekaniği Laboratuvarına götürülmüştür.

Laboratuvarında hidrolik kriko kullanılarak, zemin örneği blok şeklinde tüpten dışarı çıkarılmış ve örselenmiş olma olasılığı düşünülerek, bir kısmı kesilerek atılmıştır. Daha sonra; aşağıda maddeler halinde sunulan işlemler izlenerek, 63.5 mm iç çapında ve 25 mm yüksekliğinde, krom nikel malzemedeki ringlere, değişik su içeriklerine sahip örnekler hazırlanmak üzere alınmıştır.

3.3. Deneylerde Kullanılan Zemine Ait Endeks Özellikleri

Çukurova'nın alüvyal kilinin, dane dağılımı, birim hacim ağırlıkları, doğal su içerikleri ve kıvam limitlerinin belirlenmesi için, örnek alıcı tüplerden artan örselenmiş kısımlar üzerinde aşağıdaki deneyler gerçekleştirilmiştir.

Dane boyu çözümlenmeleri:

a) kuru, iri elek çözümlenmesi

b) hidrometre

olmak üzere iki aşamada yapılmıştır (TS1900-1).

Çizelge 3.1. Zemin Örneğine Ait Endeks Özellikleri

Zemin Özellikleri	Değer
Doğal Su Muhtevası, %	17.6
Likit Limit, %	31.6
Plastik Limit, %	12
Plastisite Indisi, %	19.6
# 4 Elekten Geçen, %	99.6
# 200 Elekten Geçen, %	68
Doğal Birim Hacim Ağırlığı, gr/cm ³	1.8
Özgül Ağırlık, G _s	2.65
Grup Sembolü	CL

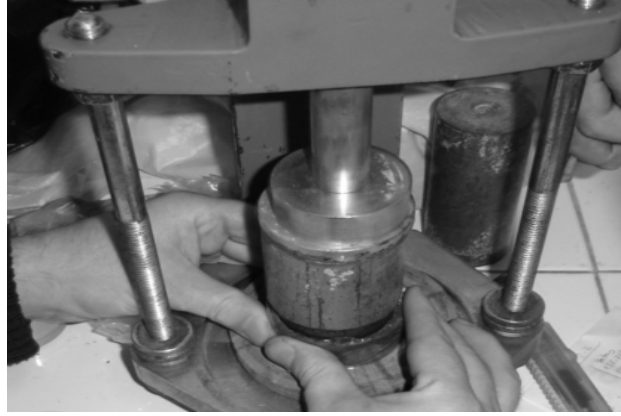
3.4. Sabit Su İçerikli Konsolidasyon Deneyi İçin Zemin Örneklerinin

Hazırlanma Aşamaları

- 1) Örnek alma tüpü hidrolik krikoya yerleştirilmiştir.
- 2) Örselenmiş olma olasılığı düşünülerek bir parçası, tüpten dışarı çıkarılmış ve kesilip atılmıştır.
- 3) Hidrolik kriko yardımı ile, yaklaşık 4 cm kalınlıklı bir zemin parçası, numune alma tüpünden dışarı itilmiş ve alt tarafından kesilmiştir. Daha sonra, ringlerin zemine itilmesi sırasında, örneklerin dağılmaması ve yakın çevre direncinin sağlanması amacıyla, silindirik parçanın çevresi bant ile sarılmıştır (Taşkiran, 2006).
- 4) 63.5 mm çaplı ring yağlanarak tüpten çıkarılan, yaklaşık 4 cm kalınlıktaki zemin parçasına itilmiştir. 63.5 mm çaplı bu ringlerin kullanılma nedeni, deneyler öncesinde yapılan kurutma işlemi esnasında numunelerde oluşacak hacim değişimleridir. Örnekler kurutma işleminden sonra, nihai su içeriklerinde, konsolidasyon deney ringlerine alınmışlardır. 63.5 mm çaplı ringler içindeki bu örnekler, arada hava kalmayacak şekilde, naylon bir poşet içine sarılarak korunmuştur (Taşkiran, 2006).
- 5) Yukarıda anlatılan yöntemle 14 (ondört) adet zemin örneği hazırlanmış ve bu örnekler farklı başlangıç su içeriklerine sahip hale getirilmiştir.
- 6) Zeminin endeks özellikleri, örnek alma tüpünden artan örselenmiş kısımlar kullanılarak tespit edilmiştir. Örnekler üzerinde; su içeriği, dane birim hacim ağırlık, kıvam limitleri, granülometrik analiz vs. deneyler gerçekleştirilmiştir (TS1900-1).
- 7) Ringler içindeki deney örnekleri, desikatöre alınmış ve kurumunun yavaşça gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir. Kuruma olayının, zeminin dış yüzeyinden başlaması nedeni ile, örneklerin dış ve iç bölgeleri arasında oluşacak nem farkı, örnek yüzeylerinde büzülme çatlakları oluşturacaktır. Bu problemi gidermek amacı ile, örnekler birden fazla kademe ve yavaş yavaş kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Her kademe sonrasında, numune naylon poşet içine sarılarak, nem dağılımının yeniden dengelenmesi için, bir süre

beklenmiştir. Bu bekleme süresi zeminin plastisitesi ile doğru orantılıdır ve çatlak oluşumuna izin vermeden kurutma işlemi tamamlanmıştır (Taşkiran, 2006; TS1900-1).

- 8) Değişik su içeriklerinde hazırlanmış olan deney örneklerinin çevreleri koli bandı çevrilmiştir. Konsolidasyon deneylerinde kullanılacak olan 50 mm çaplı ringler, yağlanarak, hazırlanan örneklerin içine baskı ile itilmiştir. Bu işlem sırasında kullanılan ekipmanlara ait resim, Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Zemin Örneği Hazırlama Çalışması

Kurutma işlemini müteakip, konsolidasyon ringine alınan örneklerden artan zemin parçalarından deney başı; konsolidasyon deneyi sonrasında da, kullanılan örnekten deney sonu su içerikleri bulunmuştur.

Ayrıca; ödometre için (2.4) numaralı ifadede yanal deplasmanların önlendiği, böylelikle de örnek alanının sabit kaldığı hatırlanırsa ve

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1 + e_i} \quad (3.1)$$

Eşitliği, (2.5) numaralı ifadede yerine konularak,

$$m_v = -\frac{\Delta e}{(1 + e_i)\Delta p} \quad (3.2)$$

ifadesi elde edilmiş olur (Önalp,1997). Bu ifade hacim değiştirme davranışı ile, ilk boşluk oranı ve boşluk oranı değişimi ilişkisini ortaya koyar. Zeminin hacim değiştirme özelliklerine, ilk boşluk oranının etkisinin yadsınamaz olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında e_i ilk boşluk oranının, irdelenen hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) - su içeriği (w) ilişkisinde hacim değiştirme davranışlarını etkileyen bir değişken olarak yer almaması amacıyla ve hacim değiştirme özelliklerinin su içeriği ile ilişkisinin sağlıklı incelenebilmesi için, deneylerde kullanılan deney örneklerinin ilk boşluk oranı değerlerinin birbirine çok yakın olmasına özen gösterilmiştir.

3.5. Konsolidasyon Deney Düzenegi

Örnek hazırlama işlemlerinden ve konsolidasyon deney düzeneginin hazırlanmasından sonra, zemin örneğinin yüklenmesi aşamasına geçilmiştir. Yükleme kademeleri Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi seçilmiştir.

Çizelge 3.2. Konsolidasyon Deneyi İçin Seçilen Yük Kademeleri

P	0.50	1.00	1.50	2.50	3.25	4.00	8.00	16.00
	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²

Önceki çalışmalardan elde edilen deneyimler, zeminin hacimsel sıkışma katsayısının başlangıçta yüklemelerden daha fazla etkilendiği, başka bir ifade ile m_v değerindeki değişimin, başlangıçta (ilk yükleme kademelerinde) daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, klasik konsolidasyon deneylerinde uygulanan, yükün iki katına çıkarılması işlemi yerine, özellikle deney başında, daha küçük adımlar ile yükleme yapılmasına karar verilmiştir.

Yükleme işlemi, yük askısına ağırlık konulmasından sonra, yükleme koluna temas eden destek civatasının oldukça yavaş bir hızla çevrilmesi şeklinde

gerçekleştirilmiştir. Doymamış zeminlerde oturmaların dikkate değer bir kısmının, başlangıçta gerçekleşmesi sonucu, yüklemelerin oldukça hassas yapılabilmesi için, yükleme hızının düşük olmasına özen gösterilmiştir.

Yüklemeler 24 saat ara ile, belirtilen düzen içinde yapılmış, oturmalar okunmuş ve her deneye ait çizelge doldurulmuştur. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneylere ait verilerin ve sonuçların işlendiği deney tablosu Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Konsolidasyon Deney Çizelgesi

DOYMAMIS NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON										
AİT OL DUAĞU PROFİ		w-m _v ilişkisi		RING AĞIRLIĞI (g) : R						
ÖRNEK ÇAPİ (cm)	:	D		RING+YAŞ NUMUNE (g) : R+N ₁						
ÖRNEK BOYU (cm)	:	L ₁		RING+KURU NUMUNE (g) : R+N ₂						
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	A		ÖZGÜL AĞIRLIK : G _s						
BAŞLANGIÇ ISIĞI KİĞİ (%)	:	w ₁		NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) : N _k						
				BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (L ₂) = N ₂ (G _s /W)						
Uygulanan Basınç	Oturma	Oturma Farkı	Örnek Yüksekliği	Deformasyon (e)	Boşluk Yüksekliği	Boşluk Oranı	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı	Sıkışma Katsayısı	Hacimsel Sıkışma
kg/cm ²	cm	cm	cm	Ab/h ₀	h ₁	e ₁	e ₂	kg/cm ²	cm ³ /kgf	cm ³ /kgf
P ₁	T ₁	Δl ₁	L ₁	0.00	L ₁ H ₁	e ₁ = l ₁ /l ₁				
P ₂	T ₂	Δl ₂	L ₂	A/H ₀	l ₂ H ₂	e ₂ = l ₂ /H ₂	Δe	Δl ₁	Δe/Δl ₁	a _v (1+e)

Sabit su içerikli konsolidasyona tabi tutulan ve doymun olmayan zemin örneklerinin su içeriklerinin tayini için, deney öncesi yaş ve deney sonrası kuru örnek ağırlıkları ölçülmüştür. Zira su içeriğı (w), çalışma kapsamında irdelenen bağımsız değişkenlerden birisidir. Diğer bağımsız değişken ise oturmalara neden olan gerilmelerdir.

Gerilmeler ve oturmalar, piknometre deneyinden elde edilmiş olan özgül ağırlık değeri gibi, zemin özellikleri ile birlikte çizelgeye işlenmiştir. Her gerilme kademesi için, tabloda görülen örnek yüksekliği, deformasyon, boşluk yüksekliği, boşluk oranı ve sıkışma katsayısı ara değerler olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, su içeriğı (w) ile ilişkisi irdelenen (m_v) hacimsel sıkışma katsayısı değerine ulaşılmıştır.

3.5.1. Doymun Olmayan Örneklerde Konsolidasyon Deney Düzenegi

Sabit su içerikli konsolidasyon deneyinden amaç, doymun olmayan koşullardaki zeminlerin, maruz kaldıkları gerilme artımları ile oturmaların modellenmesidir.

Standart konsolidasyon deneyinden farklı olarak, deneyler doymun olmayan koşullarda yapılmıştır. Deneylerde, zemin örneği hazırlama aşamasında belirtilen işlemler izlenerek, su içerikleri değiştirilen örnekler kullanılmış ve hazırlanan doymamış deney örneklerinin sahip oldukları su içeriği değerlerini, deney süresince koruyabilmeleri için Şekil 3.4’de görülen deney düzenekleri kurulmuştur.



Şekil 3.4. Doymun Olmayan Zeminlerde Konsolidasyon Deney Düzenegi

Hazırlanan deney örnekleri, konsolidasyon deney aletine yerleştirilmiş ve deney düzenegi deneye hazır duruma getirilmiştir. Deney süresince, zeminde su içeriği değişimi (kuruma) olmaması için, konsolidasyon hücresi ıslak bir pamuklu

bez parçası ile ve bez parçasının etrafı ise saydam bir naylon ile sarılmıştır. Naylon ile bezin sarılma amacı, ıslak bezin nemini daha uzun süre koruyabilmesidir.

Doygun olmayan zeminlerde, konsolidasyon deneyi süresince, poroz taşların zeminden su emmeleri sonucunda, zemin bir miktar nem kaybına uğramaktadır (Taşkıran, 2006). Çalışma kapsamında yapılan, doygun olmayan zeminlerde, konsolidasyon deneylerinden elde edilen su içeriği değerlerinin bağımsız değişkenler olması nedeniyle deney boyunca değişmemesi, değişim varsa bile kabul edilebilir sınırlar içinde kalması istenmektedir. Bu nedenle deneylerin “sabit su içerikli” deney niteliği arz etmesi önemlidir. Bu amaçla, poroz taş işlevini görmesi için, metal malzeme kullanılarak, poroz taş boyutlarında, bir disk imal edilmiş ve suyu rahatlıkla iletebilmesi için, üzerine delikler açılmıştır. Zemin örneğinin üstüne konulan, üst poroz disk tarafından su emilmesini engellemek için, üst poroz taş da metal malzemeden üretilmiştir. Ancak üst poroz taşlara delikler açılmamıştır (Taşkıran, 2006). Deneyde kullanılan metal poroz taş Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Metal Malzemedен İmal Edilen Poroz Taş

Doygun olmayan örnekler üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri için, kullanılan CL tipi Çukurova’nın alüviyal kiline ait zemin örneklerinin, başlangıç su içeriği değerleri Çizelge 3.4’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.4 Örneklerin Su İçeriği Değerleri

w	% 10.3	% 12.5	% 15.2	% 17.6	% 21.5	% 24.6
---	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Deney düzeneği hazırlama aşamasında artan zemin parçalarından ve deney sonunda konsolidasyon deney aletinden çıkan zemin örneklerinden, su içeriği tayini yapılmıştır. Çalışma kapsamında yer alan bulgularda, deney sonu ve deney başı su içerikleri karşılaştırıldığında, başlangıç su içeriği değerini, yeteri derecede koruyan numunelere ait deney sonuçları kullanılmıştır.

3.5.2. Doymun Durumda Konsolidasyon Deney Düzeneği

Doymun halde hesaplanan konsolidasyon oturmalarının, doymamış haldeki konsolidasyon oturmalarından farkına değinmek amacıyla, çalışma kapsamında doymun deney düzeneği oluşturma fikri doğmuştur.

Son deney doymun durumda ve en elverişsiz koşulları sağlamak adına, klasik konsolidasyon deneyi olarak kurulmuştur. Doymun durumu modellemek adına kurulan deney düzeneği için, Çizelge 3.2’de verilen ve doymamış zemin örnekleri için kurulan konsolidasyon deneylerinde kullanılan yük kademeleri kullanılmıştır. Doymun durumdaki örneğe ait su içeriği

$$e.S.g_w = w.g_s \quad (3.3)$$

ifadesinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Doymun durumdaki örneğin ilk boşluk oranı 0.7258; dane birim hacim ağırlığı ise 2.65 gr/cm³ olarak, endeks özellikleri tayin edilirken bulunmuştur. (3.3) numaralı eşitlikten su içeriği değeri % 27.4 çıkmaktadır. Doymun durumdaki zemin örneğinin su içeriği, öteki deney verileriyle birlikte, Ek1.g’deki çizelgeye işlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Bu bölümde, deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş olan bulgular, çizelgeler ve grafikler halinde sunulmuş, deneysel verilerden çalışma kapsamında, bağımlı değişken olarak irdelenen hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) için ifadeler çıkartılmıştır. Bu bağlamda, önce her gerilme kademesi için, ayrı ayrı hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile su içeriği (w) ilişkisi için ifadeler elde edilmiştir. Daha sonra, genel bir ifade oluşturmak adına, ifadelere gerilmeler de dahil edilmiştir. Böylelikle eksenleri $p-w-m_v$ olan bir grafik çizilmiş ve her (p,w) değişkenine ait bir hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerinin bulunduğu bir yüzey oluşturulmuştur.

4.2. Doymamış Zeminde Sabit Su İçerikli Konsolidasyon Deney Bulguları

Çukurova aliviyonundan alınan söz konusu zemin örnekleri üzerinde, doymamış koşullarda gerçekleştirilen, yedi adet sabit su içerikli konsolidasyon deneyine ait, deney verilerini içeren çizelgeler, boşluk oranı (e) ile gerilme (p) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile gerilme (p) arasındaki ilişkilere ait grafikler, çalışmanın izleyen bölümlerinde, sırasıyla ve ayrıntılarıyla sunulmuştur. Sonuçta tez kapsamında irdelenen konu olan, hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile su içeriği (w) arasındaki ilişkiye ait bulgular değerlendirilmiştir.

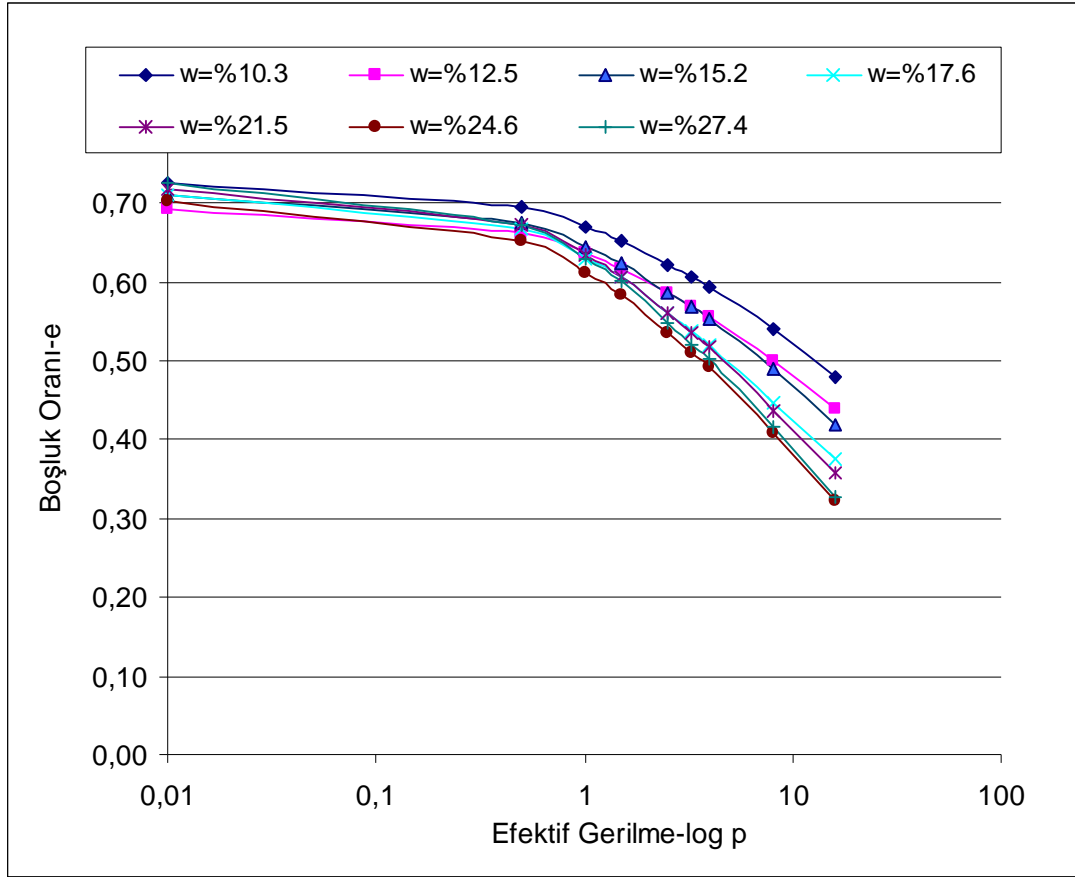
Deneysel çalışma sırasında, Çizelge 3.2'de verilen, sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi doldurulmuştur. Çalışmaya konu olan farklı su içeriklerinde hazırlanmış yedi zemin örneği üzerinde yapılan konsolidasyon deneyine ait çizelgeler Ek1 içinde sunulmuştur.

4.2.1. Boşluk Oranı ile Gerilme Arasındaki Değişime Ait Eğriler

Bölüm (3.4)'de verilen (3.2) numaralı ifadeyle, hacim değiştirme davranışı ile ilk boşluk oranı ve boşluk oranı değişimi ilişkisi ortaya konmuştur. Zeminin hacim

değiştirme özelliklerine, ilk boşluk oranının etkisinin yadsınamaz olduğu görülmektedir. Daha önce de bölüm (3.4)'de belirtildiği gibi, çalışma kapsamında (e_i) ilk boşluk oranının, hacim değiştirme davranışlarını etkileyen bir değişken olarak yer almaması ve hacim değiştirme özelliklerinin su içeriği ile ilişkisinin sağlıklı incelenebilmesi için, deneylerde kullanılan örneklerin, ilk boşluk oranı değerlerinin birbirine çok yakın olmasına özen gösterilmiştir. Deneylerde başlangıç boşluk oranları %70 değeri etrafında salınan örnekler kullanılmıştır. Her bir su içeriği değeri için ayrı ayrı çizilen gerilme ile boşluk oranı değişimi yarı logaritmik ölçekte Ek2.a ile Ek2.g arasındaki şekillerde gösterilmiştir. Çizilen boşluk oranı ile gerilme arasındaki ilişkiye ait eğriler, beklendiği gibi, artan gerilme kademesiyle birlikte oluşan oturma sonucunda, boşluk oranında azalma olarak şekil almışlardır. Dikkat edileceği gibi; boşluk oranındaki değişim, yük artımlarına bağlı olarak beklenen bir eğilim göstermektedir.

Ayrı ayrı her su içeriği değeri için, yarı logaritmik ölçekte çizilen bu boşluk oranı ve gerilme arasındaki ilişkiye ait grafikler Şekil 4.1'de topluca sunulmuştur. Eğrileri oluşturmak için kullanılan değerler, Ek1.a ile Ek1.g arasında sunulan deneylere ait çizelgelerden alınmıştır. Şekil 4.1'de verilen grafikte, gerilme ile boşluk oranı arasındaki ilişkiye, su içeriğinin nasıl bir etkide bulunduğu açıkça gözlenebilmektedir. Yaklaşık olarak aynı başlangıç boşluk oranlarıyla başlatılan deneylerde, başlangıç su içeriğinin artmasıyla, deney sonu boşluk oranının daha küçük bir değere eriştiği görülmektedir. Aynı gerilme kademesinde; başlangıç su içeriği fazla olan zemin örneği, deney sonunda daha fazla hacim kaybetmiştir.



Şekil 4.1. Gerilme ile Boşluk Oranı Değişimleri

4.3. Gerilme ve Su İçeriği Değişkenleri İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkileri

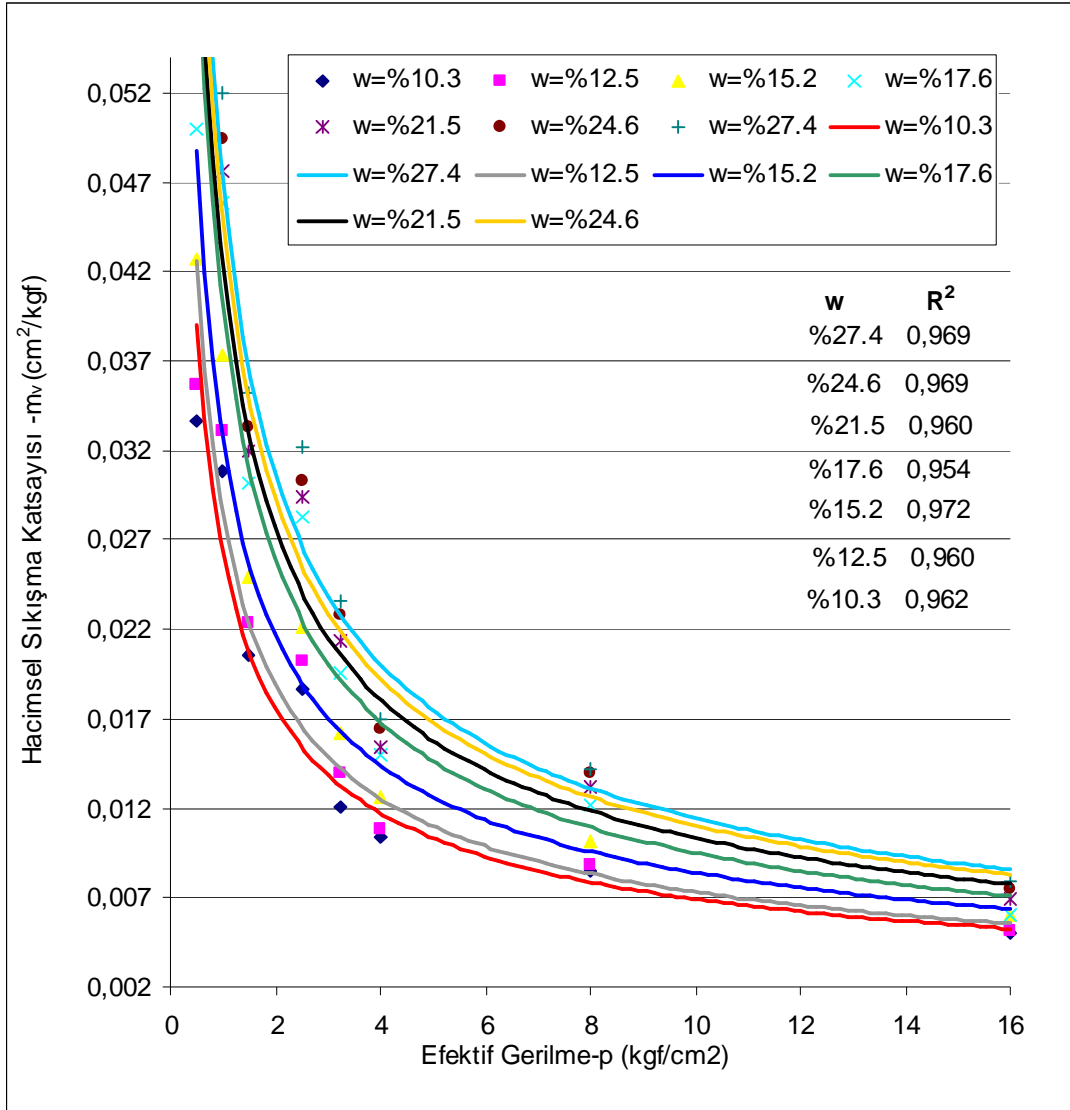
Bu başlık altında, çalışmada bağımsız değişkenler olan su içeriği ve gerilme ile, bunlara bağımlı değişen hacimsel sıkışma katsayısı değerleri grafiklenmiş ve değerlendirilmiştir. Söz konusu eğrileri oluşturmak için kullanılan değerler, Ek1.a ile Ek1.g arasında sunulan deney çizelgelerinden alınmıştır. Zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen sabit su içerikli konsolidasyon deneylerinden elde edilen hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerleri, gerilme kademesi ve her bir örneğe ait su içeriği değerleri ile birlikte Çizelge 4.1’de topluca verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sabit Su İçerikli Konsolidasyon Deneylerine Ait Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) Değerleri

$w(\%)$ $p(\text{kgf/cm}^2)$	10.3	12.5	15.2	17.6	21.5	24.6	27.4
0.00-0.50	0.0337	0.0356	0.0428	0.0500	0.0545	0.0600	0.0630
050-1.00	0.0308	0.0331	0.0374	0.0458	0.0477	0.0495	0.0520
1.00-1.50	0.0206	0.0224	0.0249	0.0302	0.0320	0.0333	0.0352
1.50-2.50	0.0186	0.0202	0.0221	0.0282	0.0294	0.0302	0.0322
2.50-3.25	0.0120	0.0140	0.0162	0.0196	0.0213	0.0228	0.0236
3.25-4.00	0.0104	0.0109	0.0126	0.0150	0.0155	0.0165	0.0170
4.00-8.00	0.0084	0.0088	0.0101	0.0121	0.0132	0.0140	0.0142
8.00-16.00	0.0050	0.0052	0.0060	0.0061	0.0069	0.0075	0.0079

4.3.1. Gerilme İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi

Oturmayı ifade eden bir parametre olarak, hacimsel sıkışma katsayısı ile gerilme arasındaki ilişkinin, farklı başlangıç su içeriklerine sahip örneklerde irdelenebilmesi için, Çizelge 4.1'deki değerler kullanılarak, değişim eğrileri elde edilmiştir. Her bir su içeriği değerine ait gerilme (p) ile hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) arasındaki ilişkiye ait eğriler, Ek3.a ile Ek3.g arasındaki şekillerde, ayrı ayrı sunulmuştur. Şekil 4.2'de bu eğriler toplu halde verilmiştir.



Şekil 4.2. Gerilme ile Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi

Çizilen bu eğrilerden görüldüğü üzere, hacimsel sıkışma katsayısı ile gerilmenin lineer olarak değişmediği açıktır. Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), yük artımlarından (Δp) kaynaklı, hacim değişimlerinin bir ifadesi olmakla beraber, hacimsel sıkışma katsayısı üzerinde, zeminin geçmişinde maruz kaldığı yüklerin ve zemin üzerine etki eden yük kademesinin de göstergesidir.

Şekil 4.2'de verilen gerilme (p) ile hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) arasındaki ilişkiye ait eğrilerin, su içeriği değeri azaldıkça, eksenlere yaklaştığı ve hacimsel sıkışma katsayısına ait değişimin düzenli bir hal aldığı, lineer bölgenin de nispeten arttığı gözlenmektedir. Deneylerde en küçük su içeriği değeri olan %10.3 değeri için

çizilen eğri, grafiğin eksenlerine en yakın eğridir. Bu eğrinin lineer bölgesine ait eğimin, öteki su içeriği değerleri için çizilen eğrilerin eğimlerinden daha az olduğu göze çarpmaktadır. Su içeriği değeri daha da azaldıkça, lineer bölgenin eğimi sıfıra yaklaşmaktadır. Bu durumda hacimsel sıkışma katsayısı, sabit bir değere dönüşmüş olacaktır. Taşkiran (2006) çalışmasında, zeminlerdeki katılığın bir göstergesi olan rötre limiti altındaki su içerikleri için, zeminlerin birer katı cisim özelliğine sahip olduğu ve elastik özelliklerin daha da belirginleştiğine değinmiştir.

Zeminin su içeriği değeri arttıkça; şekil değiştirme özelliklerinin lineer elastik malzeme özelliklerine dönmesi, bir diğer deyişle hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerinin, elastisite modülü gibi, sabit bir parametre özelliği kazanabilmesi için, gereken gerilme değeri de artmaktadır.

Bu gözlemlerden anlaşılacağı üzere; aynı depozitten alınmış olsalar bile, zemin örnekleri farklı su içeriklerinde olduklarından, aynı yük kademesinde, farklı şekil değiştirme davranışına sahip olurlar. Aynı yük kademesinde, zeminlerin su içeriği değeri düştükçe, hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerleri, dolayısıyla hacim değişimleri de azalmaktadır

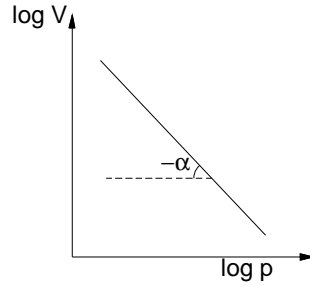
Aynı Δp yük artımında, ancak farklı yük kademelerinde, zeminin tepkisi aynı değildir. Bu sebeple çalışma kapsamında, verilen gerilme (p) ile hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) arasındaki ilişkiye ait eğrilerle, irdelenen esas ilişkiye ait olan hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile su içeriği (w) arasındaki ilişkiye ait eğriler, ilgili başlık altında birleştirilerek su içeriği, gerilme bağımsız değişkenleri ile hacimsel sıkışma katsayısı ilişkisi elde edilmiştir.

4.3.2. Su İçeriği İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi

Çalışmanın bu aşamasında; daha önceden sabit su içerikli konsolidasyon deneyinden elde edilen hacim değişimi ile ilgili sonuçların, bağımsız değişken olan su içeriği (w) ile ilişkilendirilmesinde izlenecek yol için ifadeler elde edilmiştir. Böylelikle oluşturulacak olan hacimsel sıkışma katsayısı ile su içeriği arasındaki ilişkiye ait grafiğin türü belirlenmiştir. Doğal sıkışma yasası gereğince (Lancellotta, 1995),

$$\log V = -a \log p \quad (4.1)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikte a , eğimi göstermektedir. Bunun grafiklenmesi Şekil 4.3' deki eğriyi verir.



Şekil 4.3 Gerilme ile Hacim Değişimi İlişkisi

Verilen (4.1) numaralı eşitlik ve Şekil 4.3'ten de anlaşılacağı üzere, logaritmik eksenlerde çizilen gerilme ile hacim arasındaki ilişki lineer bir ilişkidir. (4.1) numaralı ifadenin türevi alınarak (4.2) numaralı ifadeye ulaşılır.

$$\frac{dV}{V} = -a \frac{dp}{p} \quad (4.2)$$

Hacimsel sıkışma katsayısının, ödometre için, (2.4) ifadesiyle tanımlanmış olduğu hatırlanırsa;

$$m_v = -\frac{dV}{Vdp} = \frac{a}{p} \quad (4.3)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlik düzenlenip hacim ve gerilme için, deney başı ile deney sonu değerleri sınır olarak alınırsa, bunun integrali aşağıdaki eşitlikleri verir.

$$\int_{V_0}^V \frac{dV}{V} = -a \int_{p_0}^p \frac{dp}{p} \quad (4.4)$$

$$-\frac{1}{a} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad \left[\frac{1}{a} = b\right] \quad (4.5)$$

$$\ln\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\frac{1}{a}} = \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (4.6)$$

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^b \quad (4.7)$$

$$p = p_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^b \quad (4.8)$$

Böylelikle, hacmin gerilme ile değişimi elde edilmiş olur (Lancelotta, 1995). Zemin örneğinin dane ağırlığı sabit olduğu için, hacim değişimi kuru birim ağırlığın değişimi ile sonuçlanır. Böylelikle (4.2) numaralı eşitlikte hacim yerine, kuru birim ağırlık ifadesi konur ve ara işlemler de aynı şekilde uygulanırsa, (4.8) numaralı ifade

$$p = p_0 \left(\frac{g_k}{g_{k0}}\right)^b \quad (4.9)$$

şeklini alır. (4.9) numaralı gerilme ifadesi, (4.3) ifadesinde yerine konacak ve

$$g_k = \frac{g_n}{1+w} \quad (4.10)$$

eşitliği hatırlanacak olursa,

$$m_v = \frac{a}{p} = \frac{a(g_{k0})^b}{p_0(g_k)^b} = \frac{a(g_{k0})^b}{p_0(g_n)^b} (1+w)^b \quad (4.11)$$

genel olarak,

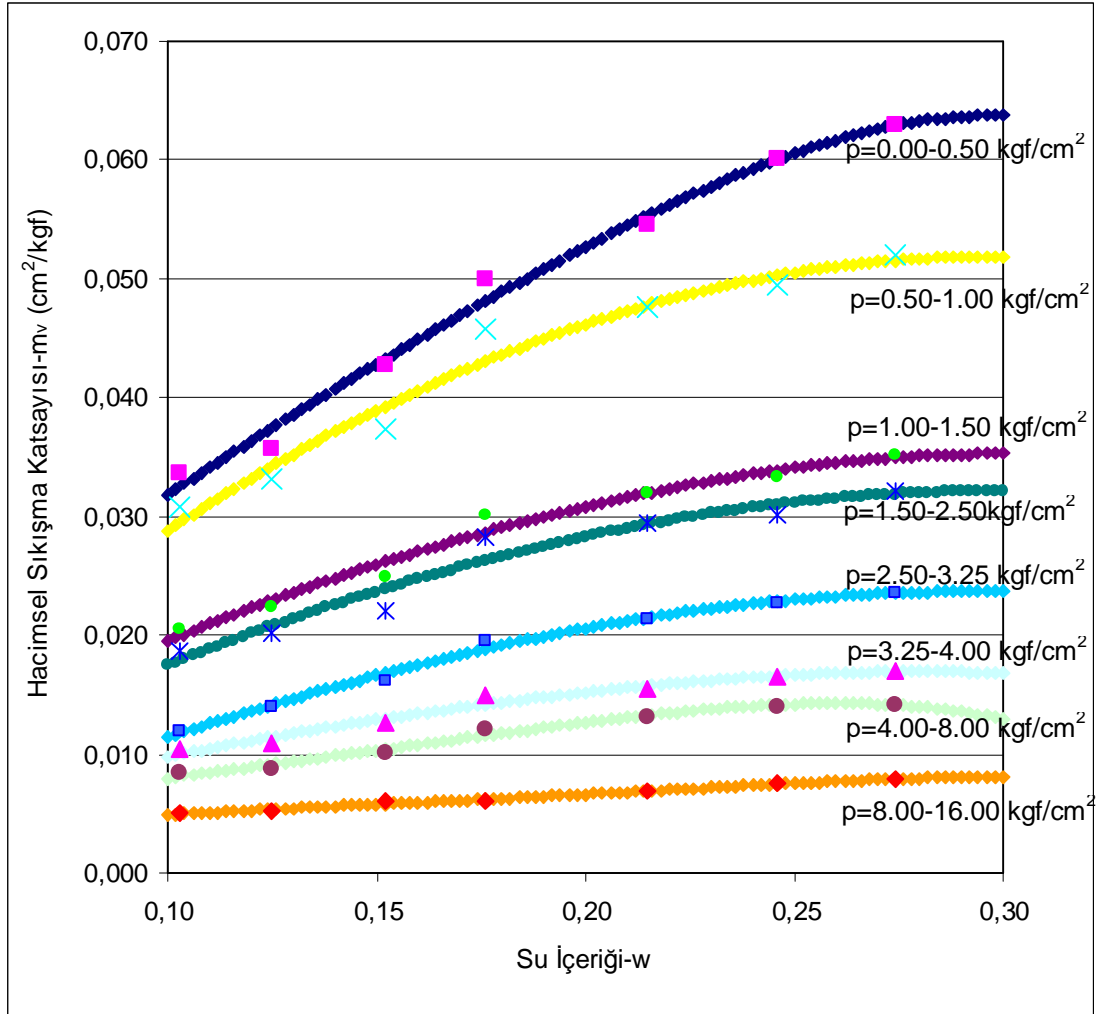
$$m_v = \Delta(1+w)^n \quad (4.12)$$

şeklinde bir eşitliğe ulaşılmış olur. Burada Δ , zeminin doğal birim hacim ağırlığına, ön konsolidasyon basıncına, başlangıç kuru birim hacim ağırlığına bağlı bir parametre olarak ortaya çıkmıştır.

Hacimsel Sıkışma katsayısı (m_v) ile su içeriği (w) arasındaki ilişkinin, (4.12) eşitliği şeklinde elde edilmesi, aynı eşitliğin bir polinomla da ifade edilebilme olanağını sunmaktadır.

4.3.3. Su İçeriği İle Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisine Ait Eğriler

Çizelge 4.1'deki veriler kullanılarak ve (4.12) numaralı ifadede elde edildiği gibi, denklemleri birer polinom olacak şekilde, hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile su içeriği (w) ilişkisine ait grafikler oluşturulmuştur. Eğriler oluşturulurken Curve Expert programı kullanılmıştır. Deney verilerine ait en uygun eğrilerin, korelasyon katsayılarına bakılarak, 4. dereceden polinom olduğuna karar verilmiştir. Denklemleri Çizelge 4.2'de verilen eğriler, Şekil 4.4'de topluca gösterilmiştir. Verilen bu sekiz adet grafiğin korelasyon katsayıları 0.994 ile 0.999 arasındadır. Görüldüğü üzere, her yükleme kademesi için bir eğri mevcuttur. Şekil 4.4'de gösterilen eğriler, Ek4.a ile Ek4.g arasında yer alan şekillerde, ayrı ayrı sunulmuştur.



Şekil 4.4. Su İçeriği-Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi

Çizelge 4.2. Hacimsel Sıkışma Katsayısı-Su İçeriği İfadeleri

Yükleme Kademesi	Hacimsel Sıkışma Katsayısı	R ²
p=0.00-0.50 kgf/cm ²	$m_v=3.046e-005+0.451w-1.980w^2+7.725w^3-12.596w^4$	0.998
p=0.50-1.00 kgf/cm ²	$m_v=-4.074e-005+0.349w-0.619w^2+0.239w^3-0.431w^4$	0.996
p=1.00-1.50 kgf/cm ²	$m_v=2.331e-005+0.258w-0.801w^2+1.977w^3-2.911w^4$	0.998
p=1.50-2.50 kgf/cm ²	$m_v=2.889e-005+0.211w-0.412w^2+0.482w^3-0.900w^4$	0.994
p=2.50-3.25 kgf/cm ²	$m_v=7.714e-006+0.107w+0.190w^2-1.270w^3+1.008w^4$	0.999
p=3.25-4.00 kgf/cm ²	$m_v=1.161e-005+0.134w-0.483w^2+1.396w^3-2.182w^4$	0.997
p=4.00-8.00 kgf/cm ²	$m_v=8.855e-006+0.142w-1.023w^2+4.805w^3-8.317w^4$	0.998
p=8.00-16.00 kgf/cm ²	$m_v=3.746e-007+0.095w-0.691w^2+2.607w^3-3.547w^4$	0.999

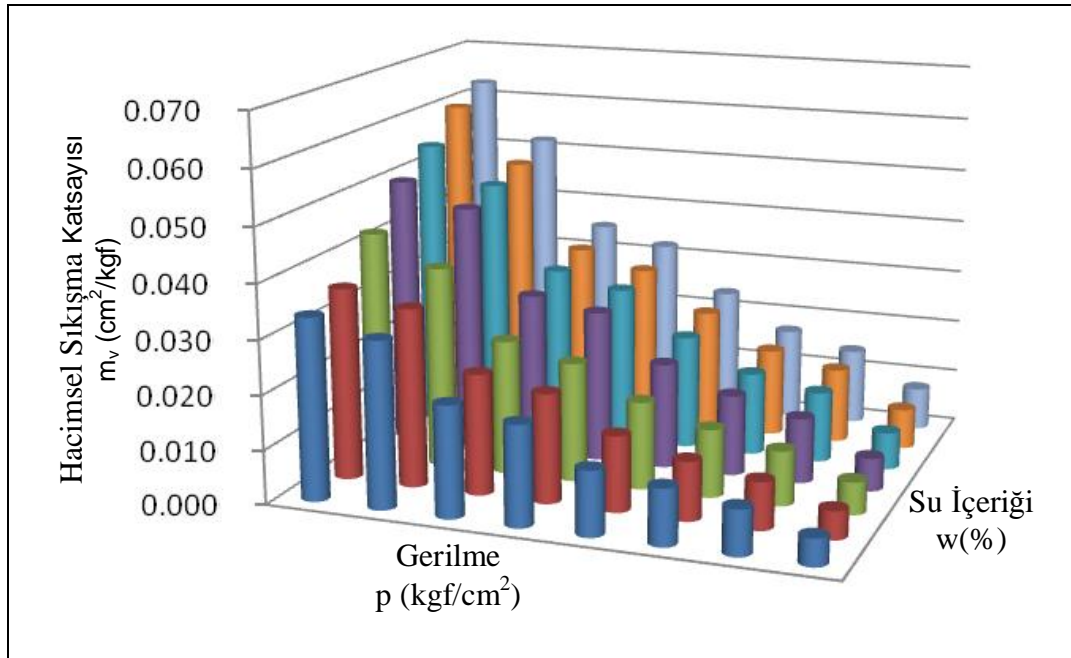
Şekil 4.4’de topluca sunulan ve ifadeleri de Çizelge 4.2’de verilen eğrilerden de görüldüğü gibi; aynı yük kademesinde, su içeriği değeri ile artan bir hacimsel sıkışma katsayısı değeri söz konudur. Büyük su içeriği değerleri için, grafiğin eğrisel hali göze çarpmaktadır. Düşük yük kademelerinde, yüksek su içeriği değerleri için, eğrisellik daha belirgin bir hal almaktadır.

Artan yük kademesi değerlerinde, hacimsel sıkışma katsayısının değişimi düzenli duruma gelmiş, grafiklerde eğrisellik kalkmış ve grafikler lineer eğrilere yaklaşmıştır. 8.00-16.00 kgf/cm² gerilme aralığı için, su içeriği değerinin hacimsel sıkışma katsayısının değişimine etkisi, 0.00-0.50 kgf/cm² gerilme aralığındaki etkisine göre azdır. Ayrıca, artan yük kademesiyle birlikte, eğrilerin eğimlerinin azaldığı ve gitgide yataya yaklaştığı görülmektedir.

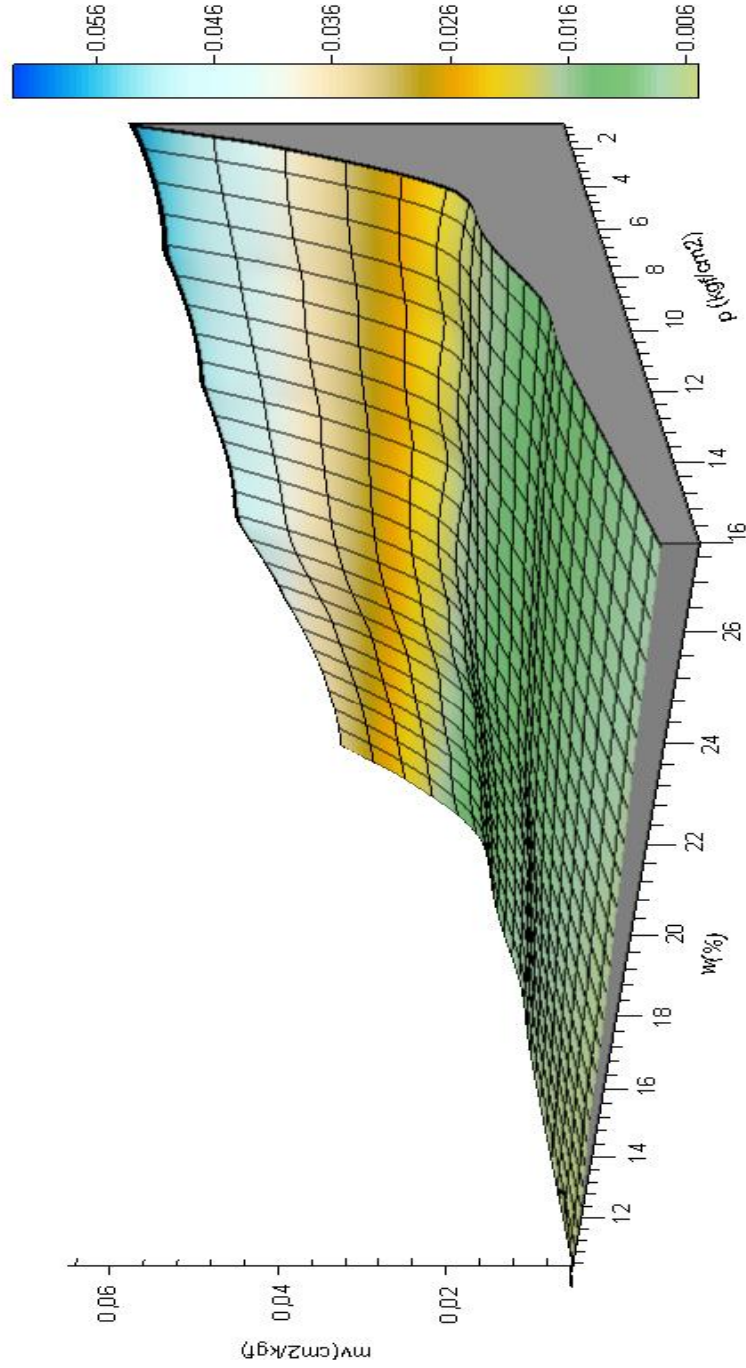
Hacimsel sıkışma katsayısının su içeriği değerine bağlı olarak değişmediği ve eğrinin su içeriği eksenine paralel olduğu gerilme değerinde, zemin lineer elastik malzeme gibi şekil değiştirme davranışı göstermeye başlayacaktır.

4.3.4. Gerilme, Su İçeriği ve Hacimsel Sıkışma Katsayısı İlişkisi

Gerilme ile hacimsel sıkışma katsayısı ve su içeriği ile hacimsel sıkışma katsayısı ilişkileri için oluşturulmuş iki eksenli grafikler birleştirilmiş ve her (p-w) değişkenleri için, çalışma kapsamında kullanılan, söz konusu zemin örneklerine ait p-w-m_v grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4.5’de verilen grafikte, her (p-w) değişkeni için, bir hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerinin mevcut olduğu, sütun grafik görülmektedir. Düzensiz üçgenler modeli kullanılarak, Surfer adlı bilgisayar programı yardımıyla Şekil 4.6’da yer alan, bir hacimsel sıkışma katsayısı yüzeyi oluşturulmuştur. Çizelge 4.2’de görülmeyen ara değerler, sözü edilen yaklaşım ile tahmin edilmiştir.



Şekil 4.5. Gerilme ve Su İçeriği Değişkenleri İçin Hacimsel Sıkışma Katsayısı Değerleri



Şekil 4.6. Hacimsel Sıkışma Katsayısı Yüzeyi

4.4. Tartışma

Su içeriğinin artması, zeminlerin daha fazla oturmalarına karşılık gelmektedir. Yüksek başlangıç su içeriğine sahip örneklerin, aynı yükleme kademesinde, daha büyük hacimsel sıkışma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür. (2.4) numaralı ifadeye bakıldığında, aynı yük kademesindeki iki farklı örnek için hacim değişim oranlarının, hacimsel sıkışma katsayılarına ait oranlar ile aynı kaldığı görülmektedir. Bu bağlamda; her yük kademesindeki doymuş zemin örneğinin hacim değişimi 100 birim kabul edilmiş ve buna bağlı olarak, doymuş duruma göre, aynı yük kademesindeki öteki su içerikleri için, zemin örneklerinin hacim değişim yüzdeleri bulunmuştur. Yük kademeleri, su içerikleri ve örneklerin doymuş duruma göre, hacim değişim yüzdeleri Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Zemin Örneklerinin Aynı Yük Kademesinde Doymuş Duruma Göre Hacim Değişim Yüzdeleri

$p(\text{kgf/cm}^2)$ $w(\%)$	10.3	12.5	15.2	17.6	21.5	24.6	27.4
0.50	53.49	56.51	67.94	79.37	86.51	95.24	100.00
1.00	59.23	63.65	71.92	88.08	91.73	95.19	100.00
1.50	58.52	63.64	70.74	85.80	90.91	94.60	100.00
2.50	57.76	62.73	68.63	87.58	91.30	93.79	100.00
3.25	50.85	59.32	68.64	83.05	90.25	96.61	100.00
4.00	61.18	64.12	74.12	88.24	91.18	97.06	100.00
8.00	59.15	61.97	71.13	85.21	92.96	98.59	100.00
16.00	63.29	65.82	75.95	77.22	87.34	94.94	100.00

İlişkilerde görülen bir diğer önemli nokta ise; su içeriği değerinin artmasıyla, tüm hacimsel sıkışma katsayısına ait eğrilerin lineerliğinin azalmasıdır. Buna göre, doymamış koşullardaki bir zeminin sahip olduğu su içeriğinin azalması, hacimsel sıkışma katsayısı eğrilerinin doğrusal değişen bir hale yönelmesine neden olmaktadır. Elde edilen bu sonuç, zemin mekaniği kaynakları ile de uyumludur. Zira, Wang ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, doymamış koşullardaki üç eksenli deneylerde, zemin su içeriği azaldıkça, gerilme-deformasyon eğrilerine ait lineer bölgenin de arttığı görülmüştür.

Taşkıran (2006) tarafından yapılan, yük kontrollü üç eksenli ve doymamış zeminlerdeki sabit su içerikli konsolidasyon deneylerinden, doymamış koşulların belirginleşmesi oranında, sıkışabilirliğin azaldığı ve su içeriği değerinin düşmesiyle zeminin izotropik özellikler kazandığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen konsolidasyon deneyi sonuçları da aynı davranışı sergilemektedir.

Bu araştırmada, Şekil 4.4’de verilen eğrilerden, doymamış koşullarda ve örselenmemiş zemin örneğine ait hacimsel sıkışma katsayısı değerinin, artan yük kademesi ile azaldığı gözlenmiştir. Cora (2000) tarafından farklı su içeriklerinde hazırlanmış kompakte zemin örnekleri üzerinde yapılan, sabit su içerikli konsolidasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar, aynı su içeriği değerinde, artan yük kademesine karşın, hacimsel sıkışma katsayısının azaldığını göstermiştir. Örneğin kompakte ya da örselenmemiş oluşu, hacimsel sıkışma katsayısı değerinin artan yük kademesiyle azaldığı sonucunu değiştirmemektedir.

Şekil 2.7’de verilen grafikte; Cora (2000) tarafından, deney sonuçlarına göre çizilmiş en uygun eğriler negatif eğimlidir. Bu da, aynı yük kademesinde, artan su içeriği değeri için, hacimsel sıkışma katsayısının azalan bir eğilim içinde olduğu anlamını taşımaktadır. Oysa ki, yapılan araştırma kapsamında elde edilen sabit su içerikli konsolidasyon deneyi bulguları, aksi yöndedir. Bunun nedeni, Cora (2000) tarafından yapılan çalışmada doğal zeminler yerine, konsolidasyon deneyleri için, söz konusu su içeriği değerlerinde, kompakte edilmiş zemin örnekleri kullanılmış olmasıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çukurova alüvyal zeminine ait, doymamış koşullarda ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde, su içeriği ve gerilme değerlerinin, hacimsel sıkışma katsayısına olan etkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla, aynı depozitten alınan örnekler, farklı su içeriklerinde hazırlanmış ve sabit su içerikli konsolidasyon deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deney verilerinden, değişik su içeriklerinde hazırlanan bu örneklerin, hacimsel sıkışma katsayıları hesaplanmıştır. Tez kapsamında, deney verilerinden elde edilmiş çizelgeler ve hacimsel sıkışma katsayısının, su içeriği ve gerilme değişkenleriyle olan değişimine ait grafikler değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda hacim değiştirme özelliklerinin; zeminin tarihçesi, ilk boşluk oranı, gerilme geçmişi ve su içeriğine bağlı olduğu görülmüştür. Hacimsel sıkışma katsayısı, gerilme ve su içeriği bağımsız değişkenleri ile ilişkilendirilmiştir. Gerilme ve su içeriği değerlerine bağlı olarak, bir hacimsel sıkışma katsayısı yüzeyi elde edilmiştir. Buna göre, aynı su içeriğinde, artan gerilme değerleri ile hacimsel sıkışma katsayısının azaldığı, aynı yük kademesinde ise artan su içeriğiyle hacimsel sıkışma katsayısının arttığı gözlenmiştir.

Zeminin hacim değiştirme özelliğinin bağlı olduğu parametreler içinde; su içeriği değeri, matrik emme ve zemin kıvamıyla ilgili olması nedeniyle, oldukça önemlidir. Aynı yükleme kademelerinde; başlangıç su içeriği yüksek zemin örneklerinin, daha büyük hacimsel sıkışma katsayısına sahip olduğu görülmüştür ki bu durumun, zeminin azalan su içeriğindeki matrik emme değerinin artması ve buna bağlı olarak zemin iskeletinin sıkışabilirliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Doymamış koşulların belirginleşmesi oranında sıkışabilirliğin azaldığı gözlemlenmiştir.

Su içeriği azaldıkça zemin, izotropik özellikler kazanmakta ve hacim değiştirme yeteneğini yitirmektedir. Su içeriğinin rötrelimitinin altındaki değerlerinde, zemin katı bir cisim gibi davranmaya başlamakta ve elastik özellikler daha belirginleşmektedir.

Sonuç olarak, zeminlerin hacim değiştirme davranışları üzerinde, su içeriği ve değişiminin bir etkiye sahip olması nedeniyle, doymamış zeminler için drenaj olayı önem kazanmaktadır. Bu nedenle zeminin dışarıdan su alarak matrik emmesinin değişmemesine özel önem gösterilmelidir. Aksi takdirde matrik emme azalır ve zeminde ilave oturmalar oluşur. Bu ise özellikle temel altı kil zeminler için, üzerinde taşınmış olduğu yapıya zarar vermesi anlamını taşır. Doymamış olmayan kil zeminlerin ıslahında, oturma problemlerinin ortadan kaldırılması ve mukavemetlerinin artırılması için drenaj, düşünülmesi gereken ilk iyileştirme yöntemidir.

Mukavemet ve oturmalar açısından, zeminlerin doymamış durumu göz önünde bulundurularak, yapılan temel tasarımının, konsolidasyon oturmaları ve mukavemet açısından en uygunsuz durum olan, doymamış durum için yapılan temel tasarımına göre, ekonomik tarafta kalacağı açıktır. Temel altı zeminin, doymamış durumuna göre boyutlandırılan temeller şüphesiz ki temel altı zeminde daha az gerilmeye neden olurlar. Bu da temellerin, servis yüküne göre oldukça güvenli kalması anlamındadır. Ancak; temel altı zeminin doymamış zemin olması durumunda dahi, zeminin doymamış durumuna göre tasarlanan temeller, ekonomi açısından ödün verildiği anlamına gelmektedir. Temel tasarımında, ekonomi ve güvenlik optimizasyonu açısından, drenajına önem verildiği takdirde, doymamış olmayan durum yaklaşımı daha uygundur.

Bu nedenler ile ve kurak, yarı-kurak zeminlerin yeryüzünün yarıya yakın alanını oluşturmasından ötürü, doymamış zemin mekaniğine yeteri derecede önem verilmelidir. Bu bağlamda; doymamış zeminler üzerinde, hacimsel değiştirme davranışlarının ve taşıma güçlerinin, çeşitli zemin parametreleriyle değişimi, ayrıntılı biçimde araştırılması gerekmektedir. Yapılacak olan çalışmalarda, doymamış zeminlerde matrik emme potansiyelinin ölçümü, matrik emmenin hacimsel sıkışma ile değişimi, hacim değiştirme davranışları ve matrik emme üzerine kıvamın etkileri araştırılabilecek konular arasındadır.

KAYNAKLAR

- AKBAY, U, 1972. The Influence of Saturation on Volume Change Characteristics of Ankara Clay Under Various Surcharge Pressures. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- ALONSO, E.E. and LIORET, A., 1982. Behaviour of Partially Saturated Soil In Undrained Loading and Step by Step Embankment Construction. In Proc. IUTAM Conf. Deformation and Failure of Granular Mater. Delft, The Netherlands, 173-180.
- BARDEN, L., MADEDOR, A.O. AND SIDES, G.R., 1969. Volume Change Characteristics of Unsaturated Clay. Asce J. Soil Mech. Found Div., SM1, 95, 33-52.
- BISHOP, A.W. and BLIGHT G.E., 1963. Some Aspects of Effective Stress in Saturated and Unsaturated Soils. Geotechnique, 13(3): 177-197
- BIOT, M. A., 1941. General Theory of Three-Dimensional Consolidation. J. Appl. Phys. , 12(2): 155-164.
- BLIGHT, G.E., 1965. A Study of Effective Stresses for Volume Change, Moisture Equilibrium and Moisture Changes in Soils Beneath Covered Areas. Sydney Australia, 270-278.
- BOWLES, J.E., 1988. Foundation Analysis and Desing. Mc.Graw-Hill Int.Edition, 4th Edition, New York, U.S.A., 1004 p.
- BUCKINGHAM, E., 1907. Studies of The Movement of Soil Moisture. U.S.D.A. Bur. Of Soils. Bulletin No. 38., USDA Bureau of Soils, Washington, DC., U.S.A.
- CORA, Ö., 2000. Shear Strength and Volume Change Characteristics of Unsaturated Compacted Metu Campus Clay. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- CORONEY,D, COLEMAN, J. D., and BRIDGE, P.M.,1952. The Suction of Moisture Held in Soils and Other Porous Materials. Tech. Paper, Road Research Board, no 24, HMSO, London.

- COLEMAN, J. D., 1962. Stress/Strain Relations for Partly Saturated Soils Geotechnique (Correspondence), 12(4):348-350.
- DAS, B.M., 2002. Principles of Geotechnical Engineering. Brooks Cole. U.S.A., 589p.
- FREDLUND, D.G. and MORGENSTREN, N.R. 1977. Stress State Variables for Unsaturated Soils. A.S.C.E. Journal of Geotechnical Division, Vol.103., GT5 447-466.
- FREDLUND D.G. and RAHARDJO H.,1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. New York, Wiley, 517s.
- HOLTZ, R. and KOVACS, W., 1981. Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, U.S.A., 723p.
- JANBU, N.,1967. Settlement Calculations Based on the Tangent Modulus Concept. Institutt for Geoteknikk, University of Trondheim, Bulletin 2, 1-20.
- JENNINGS,J.E. and BURLAND, J.B., 1962. Limitations To The Use of Effective Stresses in Partly Soils. Geotechnique, 12(2): 125-144.
- LANCELOTTA, R., 1995. Geotechnical Engineering, A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 95-142.
- MATYAS, E.L. and RADHAKRISHNA H.S.,1968. Volume Change Characteristics of Partially Saturated Soils. Geotechnique, 18(4): 432-448.
- ÖNALP, A., 1997. Geoteknik Bilgisi-I. Sakarya Üniversitesi Yayınevi, Sakarya, 408s.
- ÖZAYDIN, K., 1989. Zemin Mekaniği. Meya Matbacılık ve Yayıncılık, İstanbul, 395s.
- UZUNER, B.A., 1992. Temel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Ankara, 291s.
- TAŞKIRAN, T., 2006. Doymamış Rezidüel Killi Zeminlerde Anizotropi'nin ve Buna Bağlı Gerilme Artımının İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- TEKİNSOY, M.A., 2002. Doymamış Zeminlerin İndeks ve Hidrolik Özellikleri. S.D.Ü. Basımevi, Isparta, 797s.
- TEKİNSOY, M.A., 2005. İleri Zemin Mekaniği II. Ders Notu. Çukurova Üniversitesi, Balcalı-Adana.

- TEKİNSOY, M.A., ve LAMAN, M., 2000. Elastik Zemin Problemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Basımevi, Isparta, 316s.
- TERZAGHI, K., 1925. Principles of Soil Mechanics, II-Compressive Strength of Clay. Engineering News Record,20(95):796-800.
- TERZAGHI, K., (1936). The shear resistance of saturated soils. Proc. First International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, Cambridge, MA, 1:54-56.
- TS 1900-1,2006.İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneylei Bölüm 1,Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Entstitüsü.
- WANG, Q., PUFAHL, D.E., FREDLUND, D.G., 2002. A Study of Critical State on an Unsaturated Silty Soil. Can. Geotech. J., 39:213-218.
- WHEELER, S.J.,1988 A Conceptual Model For Soils Containing Large Gas Bubbles Geotechnique, 38:389-397.
- YOSHIMI, Y., 1958. One Dimensional Compression of Partially Saturated Soil Ph.D. Thesis, Northwestern University, Evanston, U.S.A.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi ve BESYO şantiyelerinde, 1 sene süreyle saha mühendisi olarak çalıştı. 2004 yılında, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 6. Bölge Müdürlüğü Planlama Şubesinde, Planlama Mühendisi olarak göreve başladı. Halen Devlet Su işlerindeki görevine devam etmektedir.

EKLER

Ek1.a w= % 10.3 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

DOYMAMIŞ NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON

ALT OLDUĞU PROJE	:	w~m _v ilişkisi		RİNG AĞIRLIĞI (g) :	66,90
ÖRNEK ÇAPI (cm)	:	5,00		RİNG+YAŞ NUMUNE (g) :	133,44
ÖRNEK BOYU (cm)	:	2,00		RİNG+KURU NUMUNE (g) :	127,24
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63		ÖZGÜL AĞIRLIK :	2,65
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%)	:	10,3		NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) :	60,34
				BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm) :	1,16

Uygulanan Basınç kgf/cm ²	Oturma cm	Oturma Farkı cm	Örnek Yüksesliği cm	Deformasyon ε	Boşluk Yüksesliği hb cm	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı kgf/cm ²	Sıkışma Katsayısı av	Hacimsel Sıkışma mv cm ² /kgf
0.0100	0.0000	0.0330	2.0000	0.0000	0.8403	0.7246				
0.5000	0.0330	0.0303	1.9670	0.0165	0.8073	0.6962	0.0285	0.4900	0.0581	0.0337
1.0000	0.0633	0.0199	1.9367	0.0317	0.7770	0.6701	0.0261	0.5000	0.0523	0.0308
1.5000	0.0832	0.0357	1.9168	0.0416	0.7571	0.6529	0.0172	0.5000	0.0343	0.0206
2.5000	0.1189	0.0170	1.8811	0.0595	0.7214	0.6221	0.0308	1.0000	0.0308	0.0186
3.2500	0.1359	0.0145	1.8641	0.0680	0.7044	0.6075	0.0147	0.7500	0.0195	0.0120
4.0000	0.1504	0.0624	1.8496	0.0752	0.6899	0.5950	0.0125	0.7500	0.0167	0.0104
8.0000	0.2128	0.0717	1.7872	0.1064	0.6275	0.5411	0.0538	4.0000	0.0135	0.0084
16.0000	0.2845		1.7155	0.1279	0.5558	0.4793	0.0618	8.0000	0.0077	0.0050

Ek1.b w= % 12.5 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

DOYMAMIŞ NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON

AIT OLDUĞU PROJE	:	w~m _v ilişkisi	
ÖRNEK ÇAPI (cm)	:	5,00	RİNG AĞIRLIĞI (g) : 66,90
ÖRNEK BOYU (cm)	:	2,00	RİNG+YAŞ NUMUNE (g) : 136,08
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63	RİNG+KURU NUMUNE (g) : 128,37
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%)	:	12,5	ÖZGÜL AĞIRLIK : 2,65
			NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) : 61,47
			BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm) : 1,18

Uygulanan Basınç kgf/cm ²	Oturma cm	Oturma Farkı cm	Örnek Yüksekliği cm	Deformasyon ε	Boşluk Yüksekliği hb cm	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı kgf/cm ²	Sıkışma Katsayısı av	Hacimsel Sıkışma mv cm ² /kgf
0,1000	0,0000	0,0349	2,0000	0,0000	0,8186	0,6929	0,0295	0,4900	0,0603	0,0356
0,5000	0,0349	0,0325	1,9651	0,0175	0,7837	0,6634	0,0275	0,5000	0,0550	0,0331
1,0000	0,0674	0,0216	1,9326	0,0337	0,7512	0,6359	0,0183	0,5000	0,0366	0,0224
1,5000	0,0890	0,0386	1,9110	0,0445	0,7296	0,6176	0,0327	1,0000	0,0327	0,0202
2,5000	0,1276	0,0196	1,8724	0,0638	0,6910	0,5849	0,0166	0,7500	0,0221	0,0140
3,2500	0,1472	0,0151	1,8528	0,0736	0,6714	0,5683	0,0128	0,7500	0,0170	0,0109
4,0000	0,1623	0,0646	1,8377	0,0812	0,6563	0,5556	0,0547	4,0000	0,0137	0,0088
8,0000	0,2269	0,0731	1,7731	0,1135	0,5917	0,5009	0,0619	8,0000	0,0077	0,0052
16,0000	0,3000		1,7000	0,1349	0,5186	0,4390				

Ek1.c w= %15.2 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

DOYMAMIŞ NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON

AIT OLDUĞU PROJE	:		RİNG AĞIRLIĞI (g) :	68,44
ÖRNEK ÇAPI (cm)	:	5,00	RİNG+YAŞ NUMUNE (g) :	138,52
ÖRNEK BOYU (cm)	:	2,00	RİNG+KURU NUMUNE (g) :	129,27
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63	ÖZGÜL AĞIRLIK :	2,65
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%) :	:	15,2	NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) :	60,83
			BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm) :	1,17

Uygulanan Basınç	Oturma	Oturma Farkı	Örnek Yüksekliği	Deformasyon ϵ	Boşluk Yüksekliği hb	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı	Sıkışma Katsayısı av	Hacimsel Sıkışma mv
kgf/cm ²	cm	cm	cm		cm			kgf/cm ²	cm ² /kgf	cm ² /kgf
0,0100	0,0000		2,0000	0,0000	0,8309	0,7108				
		0,0419	1,9581	0,0210	0,7890	0,6749	0,0358	0,4900	0,0731	0,0428
0,5000	0,0419									
		0,0366	1,9215	0,0393	0,7524	0,6436	0,0313	0,5000	0,0626	0,0374
1,0000	0,0785									
		0,0239	1,8976	0,0512	0,7285	0,6232	0,0204	0,5000	0,0409	0,0249
1,5000	0,1024									
		0,0419	1,8557	0,0722	0,6866	0,5873	0,0358	1,0000	0,0358	0,0221
2,5000	0,1443									
		0,0225	1,8332	0,0834	0,6641	0,5681	0,0192	0,7500	0,0257	0,0162
3,2500	0,1668									
		0,0173	1,8159	0,0921	0,6468	0,5533	0,0148	0,7500	0,0197	0,0126
4,0000	0,1841									
		0,0737	1,7422	0,1289	0,5731	0,4902	0,0630	4,0000	0,0158	0,0101
8,0000	0,2578									
		0,0842	1,6580	0,1533	0,4889	0,4182	0,0720	8,0000	0,0090	0,0060
16,0000	0,3420									

Ek1.d w= %17.6 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

DOYMAMIŞ NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON

AİT OLDUĞU PROJE	:		RİNG AĞIRLIĞI (g) :	68,66
ÖRNEK ÇAPI (cm)	:	5,00	RİNG+YAŞ NUMUNE (g) :	140,19
ÖRNEK BOYU (cm)	:	2,00	RİNG+KURU NUMUNE (g) :	129,50
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63	ÖZGÜL AĞIRLIK :	2,65
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%) :	:	17,6	NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) :	60,84
			BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm):	1,17

Uygulanan Basınç	Öturma	Öturma Farkı	Örnek Yüksekliği	Deformasyon ϵ	Boşluk Yüksekliği hb	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı	Sıkışma Katsayısı av	Hacimsel Sıkışma mv
kgf/cm ²	cm	cm	cm		cm			kgf/cm ²	cm ² /kgf	cm ³ /kgf
0,0100	0,0000		2,0000	0,0000	0,8307	0,7105				
		0,0490					0,0419	0,4900	0,0855	0,0500
0,5000	0,0490		1,9510	0,0245	0,7817	0,6686				
		0,0447					0,0382	0,5000	0,0765	0,0458
1,0000	0,0937		1,9063	0,0469	0,7370	0,6303				
		0,0288					0,0246	0,5000	0,0493	0,0302
1,5000	0,1225		1,8775	0,0613	0,7082	0,6057				
		0,0530					0,0453	1,0000	0,0453	0,0282
2,5000	0,1755		1,8245	0,0878	0,6552	0,5604				
		0,0268					0,0229	0,7500	0,0306	0,0196
3,2500	0,2023		1,7977	0,1012	0,6284	0,5375				
		0,0202					0,0173	0,7500	0,0230	0,0150
4,0000	0,2225		1,7775	0,1113	0,6082	0,5202				
		0,0863					0,0738	4,0000	0,0185	0,0121
8,0000	0,3088		1,6912	0,1544	0,5219	0,4464				
		0,0822					0,0703	8,0000	0,0088	0,0061
16,0000	0,3910		1,6090	0,1753	0,4397	0,3761				

Ek1.e w= %21.5 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

DOYMAMIS NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON

AİT OLDUĞU PROJE	:	w~m _v ilişkisi	
ÖRNEK ÇAPI (cm)	:	5,00	68,66
ÖRNEK BOYU (cm)	:	2,00	142,21
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63	129,19
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%)	:	21,5	2,65
			60,53
			1,16

RİNG AĞIRLIĞI (g) :	68,66
RİNG+YAŞ NUMUNE (g) :	142,21
RİNG+KURU NUMUNE (g) :	129,19
ÖZGÜL AĞIRLIK :	2,65
NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) :	60,53
BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm):	1,16

Uygulanan Basınç kgf/cm ²	Oturma cm	Oturma Farkı cm	Ömek Yüksekliği cm	Deformasyon ε	Boşluk Yüksekliği hb cm	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı kgf/cm ²	Sıkışma Katsayısı av	Hacimsel Sıkışma mv cm ² /kgf
0,0100	0,0000	0,0534	2,0000	0,0000	0,8367	0,7192	0,0459	0,4900	0,0937	0,0545
0,5000	0,0534	0,0464	1,9466	0,0267	0,7833	0,6733	0,0399	0,5000	0,0798	0,0477
1,0000	0,0998	0,0304	1,9002	0,0499	0,7369	0,6334	0,0261	0,5000	0,0523	0,0320
1,5000	0,1302	0,0549	1,8698	0,0651	0,7065	0,6073	0,0472	1,0000	0,0472	0,0294
2,5000	0,1851	0,0290	1,8149	0,0926	0,6516	0,5601	0,0249	0,7500	0,0332	0,0213
3,2500	0,2141	0,0207	1,7859	0,1071	0,6226	0,5352	0,0178	0,7500	0,0237	0,0155
4,0000	0,2348	0,0932	1,7652	0,1174	0,6019	0,5174	0,0801	4,0000	0,0200	0,0132
8,0000	0,3280	0,0920	1,6720	0,1640	0,5087	0,4373	0,0791	8,0000	0,0099	0,0069
16,0000	0,4200		1,5800	0,1883	0,4167	0,3582				

Ek1.f w= %24.6 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

DOYMAMIŞ NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLIDASYON

AIT OLDUĞU PROJE	:	w~m _v ilişkisi	
ÖRNEK ÇAPI (cm.)	:	5,00	RİNG AĞIRLIĞI (g) : 66,90
ÖRNEK BOYU (cm.)	:	2,00	RİNG+YAŞ NUMUNE (g) : 143,06
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63	RİNG+KURU NUMUNE (g) : 128,05
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%)	:	24,6	ÖZGÜL AĞIRLIK : 2,65
			NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) : 61,15
			BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm) : 1,18

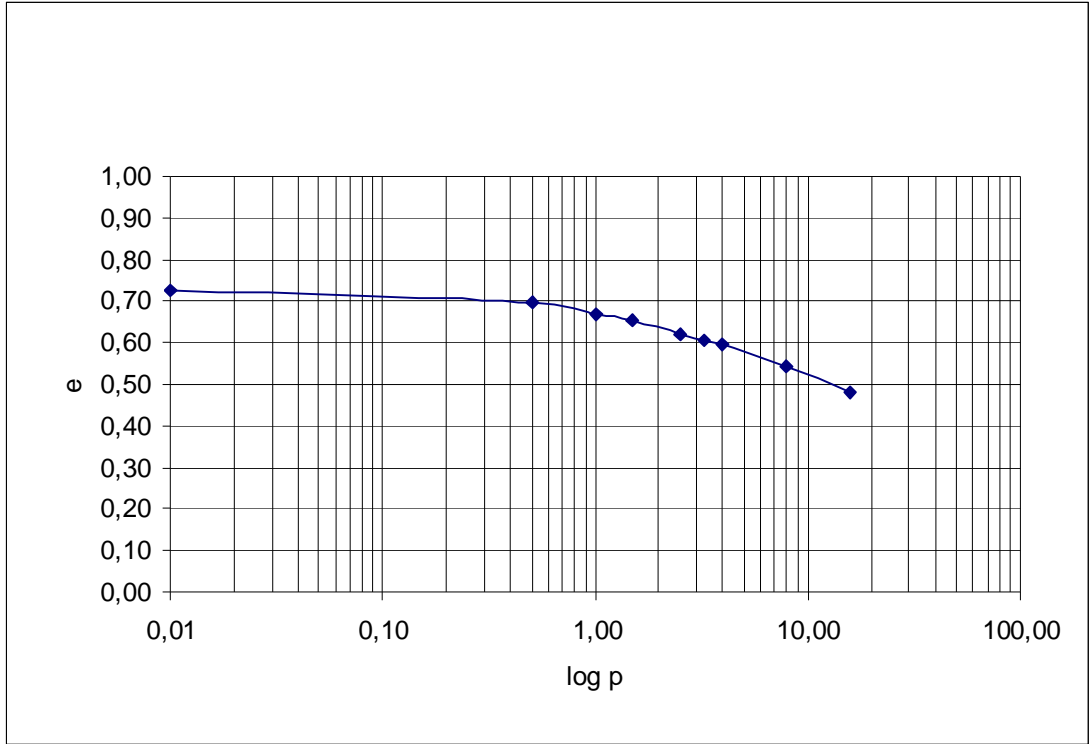
Uygulanan Basınç kgf/cm ²	Öturma cm	Öturma Farkı cm	Örnek Yüksekliği cm	Deformasyon ε	Boşluk Yüksekliği hb cm	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı kgf/cm ²	Sıkışma Katsayısı av	Sıkışma m _v cm ³ /kgf	Hacimsel Sıkışma cm ³ /kgf
0,0100	0,0000		2,0000	0,0000	0,8248	0,7018					
		0,0588					0,0500	0,4900	0,1021		0,0600
0,5000	0,0588		1,9412	0,0294	0,7660	0,6518					
		0,0480					0,0408	0,5000	0,0817		0,0495
1,0000	0,1068		1,8932	0,0534	0,7180	0,6109					
		0,0315					0,0268	0,5000	0,0536		0,0333
1,5000	0,1383		1,8617	0,0692	0,6865	0,5841					
		0,0563					0,0479	1,0000	0,0479		0,0302
2,5000	0,1946		1,8054	0,0973	0,6302	0,5362					
		0,0309					0,0263	0,7500	0,0351		0,0228
3,2500	0,2255		1,7745	0,1128	0,5993	0,5099					
		0,0219					0,0186	0,7500	0,0248		0,0165
4,0000	0,2474		1,7526	0,1237	0,5774	0,4913					
		0,0982					0,0836	4,0000	0,0209		0,0140
8,0000	0,3456		1,6544	0,1728	0,4792	0,4077					
		0,0994					0,0846	8,0000	0,0106		0,0075
16,0000	0,4450		1,5550	0,1989	0,3798	0,3232					

Ek1.g w= %27.4 için sabit su içerikli konsolidasyon deney çizelgesi

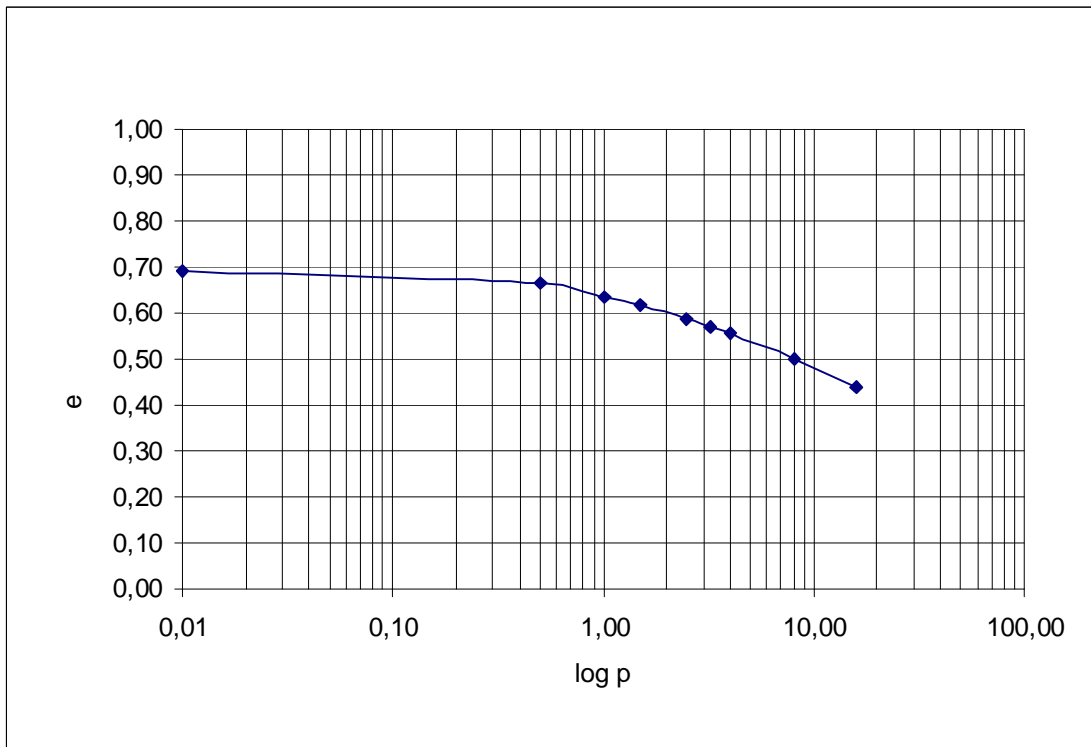
DOYMAMIŞ NUMUNELERDE SABİT SU İÇERİKLİ KONSOLİDASYON

AITOLDUĞU PROJE	:	w~mv ilişkisi	
ÖRNEK ÇAPI (cm.)	:	5,00	RİNG AĞIRLIĞI (g) : 66,90
ÖRNEK BOYU (cm.)	:	2,00	RİNG+YAŞ NUMUNE (g) : 140,15
ÖRNEK ALANI (cm ²)	:	19,63	RİNG+KURU NUMUNE (g) : 127,20
BAŞLANGIÇ SU İÇERİĞİ (%) :		27,4	ÖZGÜL AĞIRLIK : 2,65
			NUM. KURU AĞIRLIĞI (g) : 60,30
			BOŞLUKSUZ NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (cm) : 1,16

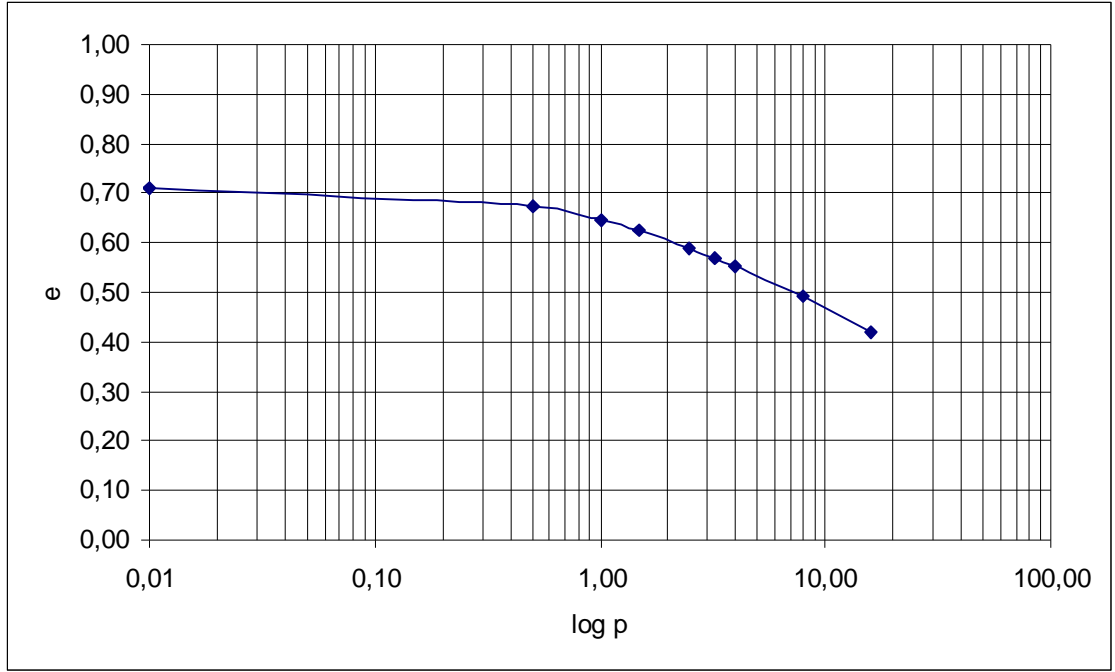
Uygulanan Basınç	Oturma	Oturma Farkı	Örnek Yüksekliği	Epsilon	Boşluk Yüksekliği	Boşluk Oranı e	Boşluk Oranı Değişimi	Basınç Artışı	Sıkışma Katsayısı av	Hacimsel Sıkışma mv
kgf/cm ²	cm	cm	cm	ε	hb	e		kgf/cm ²	cm ² /kgf	cm ³ /kgf
0,0100	0,0000		2,0000	0,0000	0,8411	0,7258				
		0,0617					0,0532	0,4900	0,1087	0,0630
0,5000	0,0617		1,9383	0,0309	0,7794	0,6725				
		0,0504					0,0435	0,5000	0,0870	0,0520
1,0000	0,1121		1,8879	0,0561	0,7290	0,6291				
		0,0332					0,0286	0,5000	0,0573	0,0352
1,5000	0,1453		1,8547	0,0727	0,6958	0,6004				
		0,0598					0,0516	1,0000	0,0516	0,0322
2,5000	0,2051		1,7949	0,1026	0,6360	0,5488				
		0,0318					0,0274	0,7500	0,0366	0,0236
3,2500	0,2369		1,7631	0,1185	0,6042	0,5214				
		0,0225					0,0194	0,7500	0,0259	0,0170
4,0000	0,2594		1,7406	0,1297	0,5817	0,5020				
		0,0991					0,0855	4,0000	0,0214	0,0142
8,0000	0,3585		1,6415	0,1793	0,4826	0,4164				
		0,1035					0,0893	8,0000	0,0112	0,0079
16,0000	0,4620		1,5380	0,2065	0,3791	0,3271				



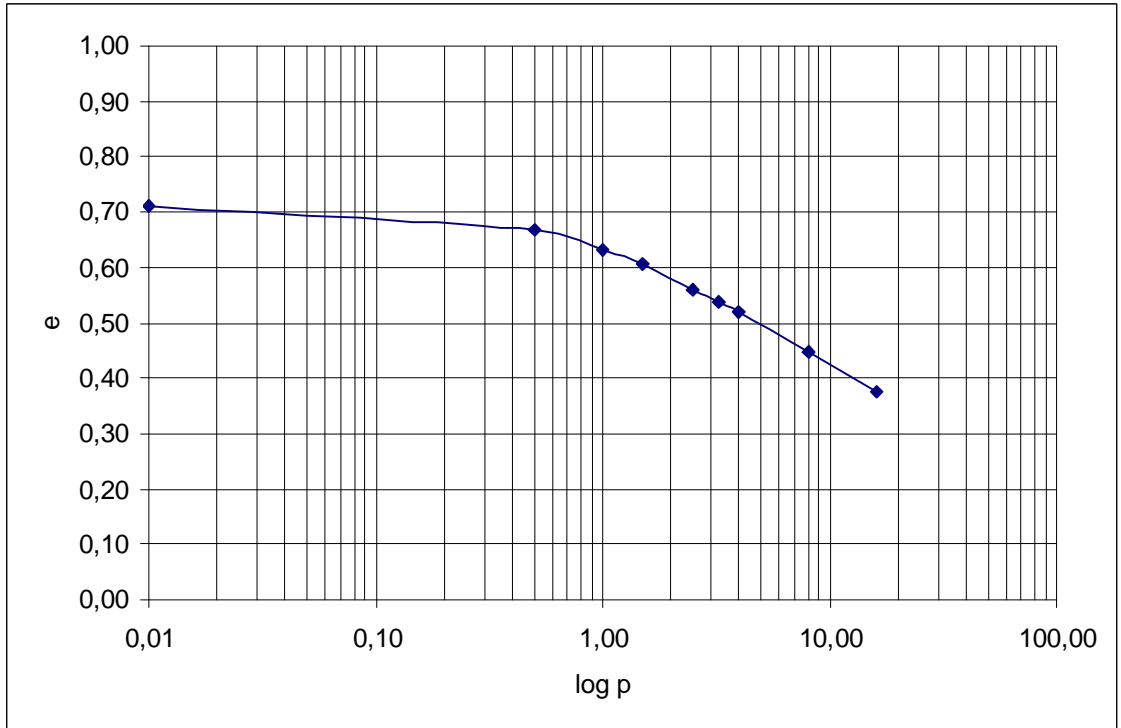
Ek2.a w=%10.3 için e-log p ilişkisi



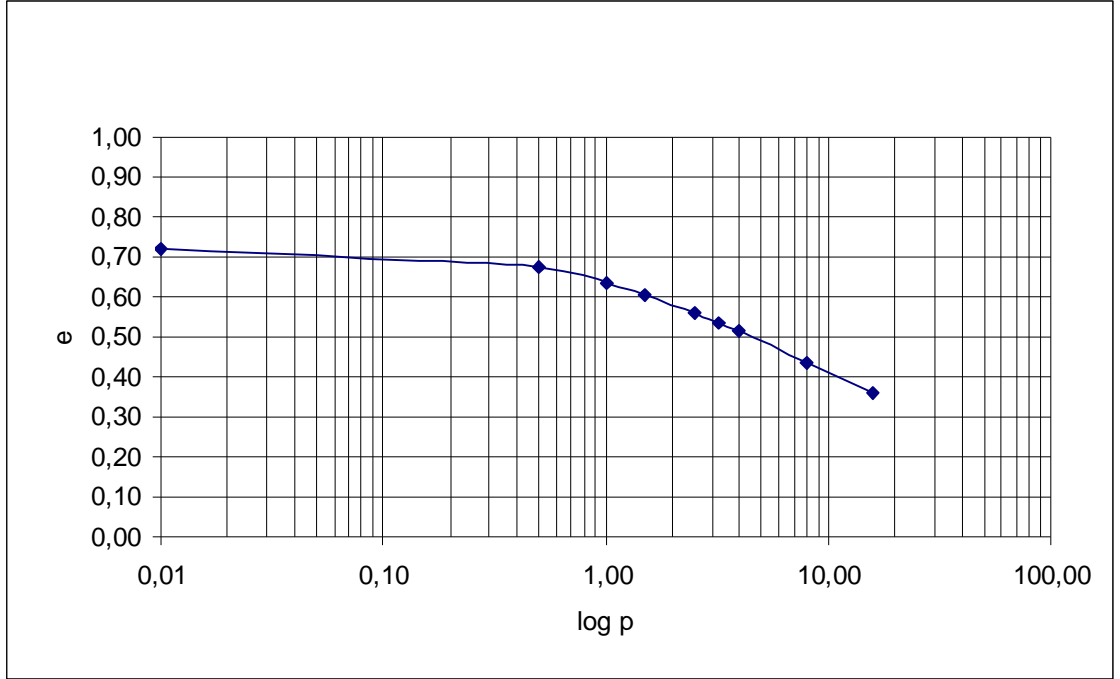
Ek2.b w=%12.5 için e-log p ilişkisi



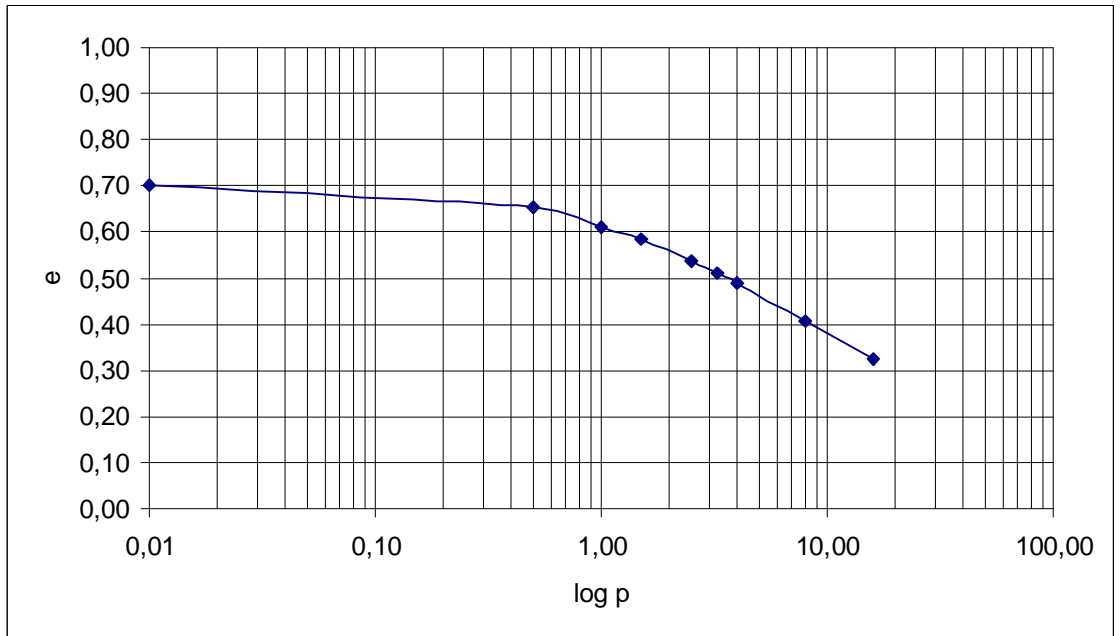
Ek2.c w=% 15.2 için e-log p ilişkisi



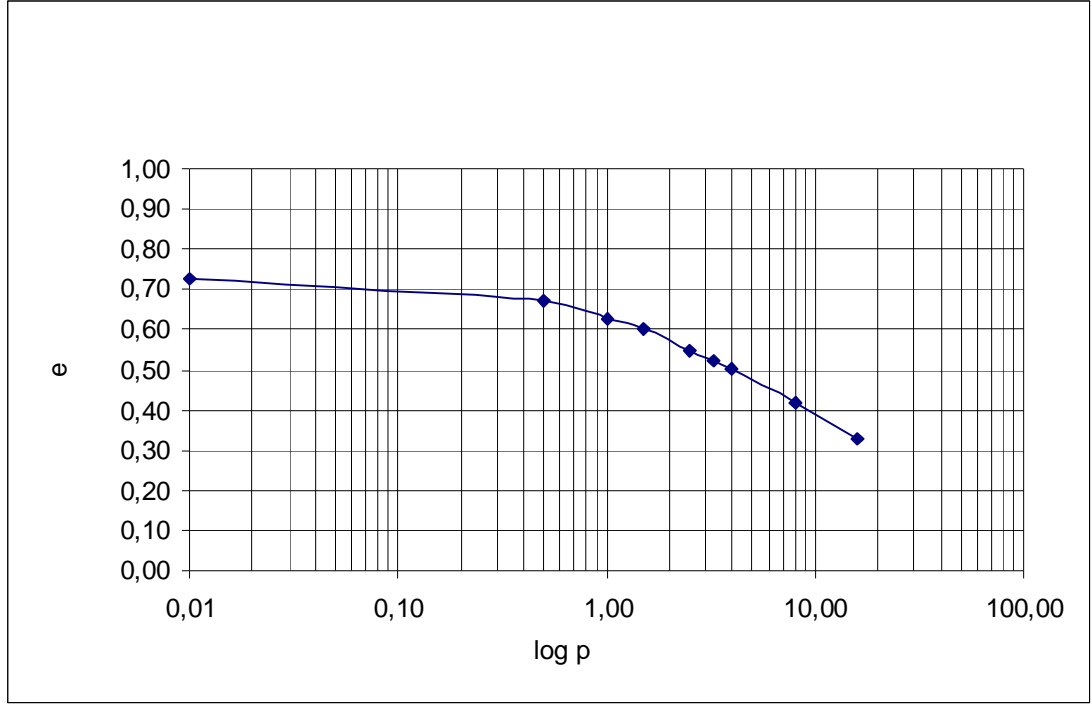
Ek2.d w=% 17.6 için e-log p ilişkisi



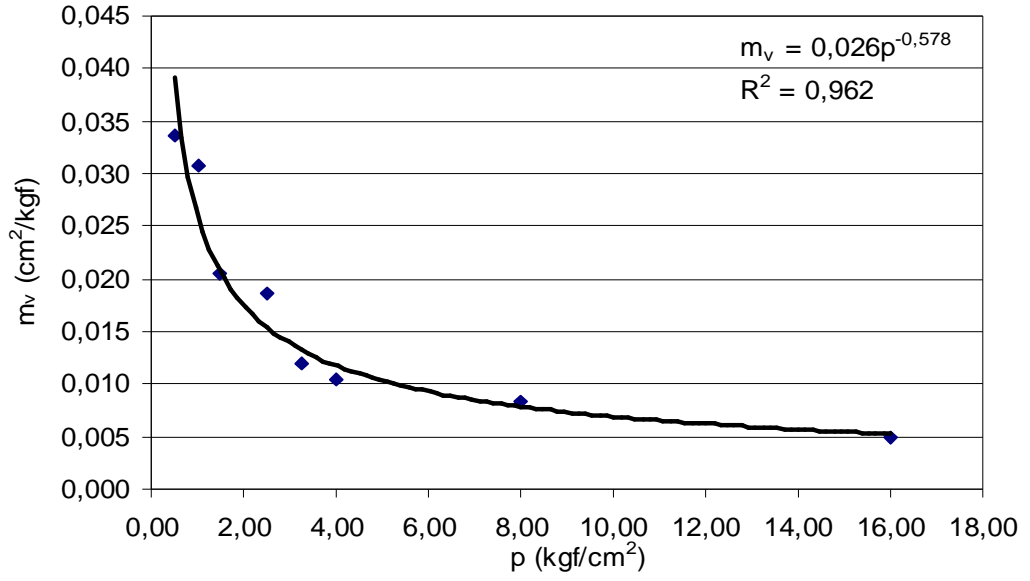
Ek2.e w=%21.5 için e-log p ilişkisi



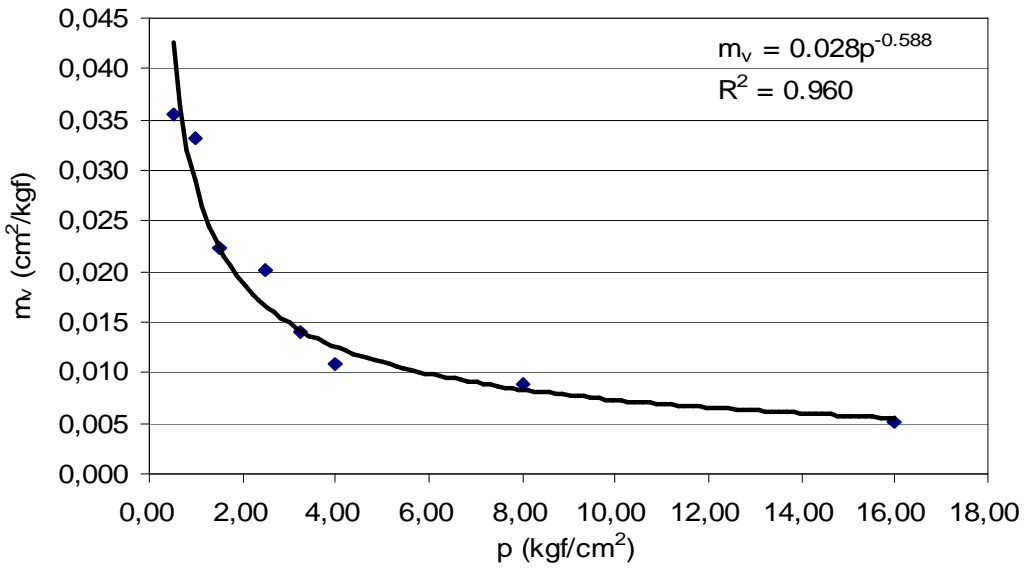
Ek2.f w=%24.6 için e-log p ilişkisi



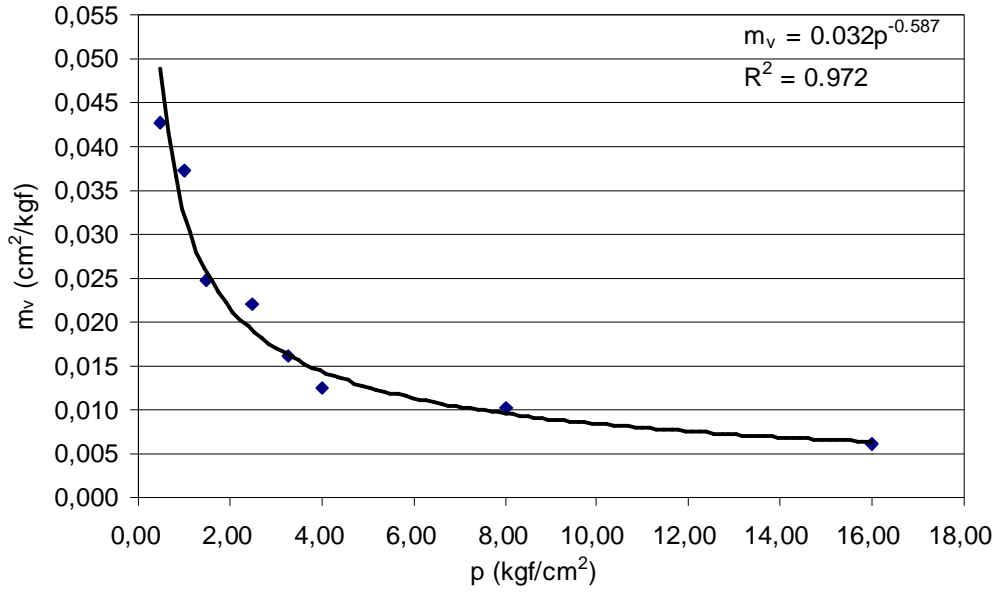
Ek2.g w=%27.4 için e-log p ilişkisi



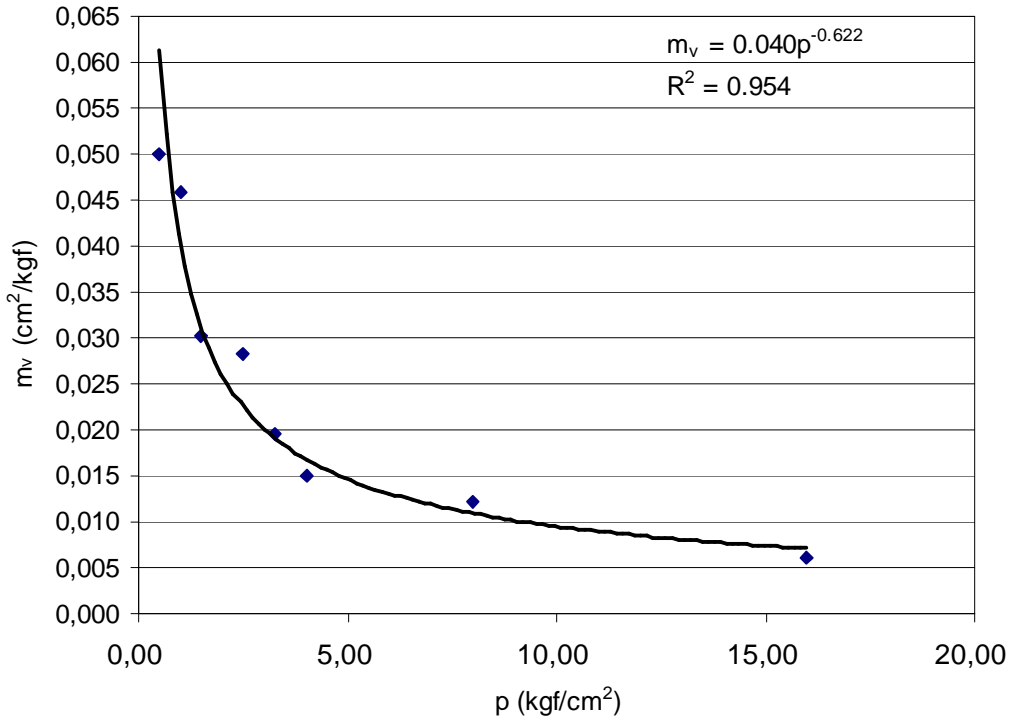
Ek3.a $w = 10.3\%$ için m_v - p ilişkisi



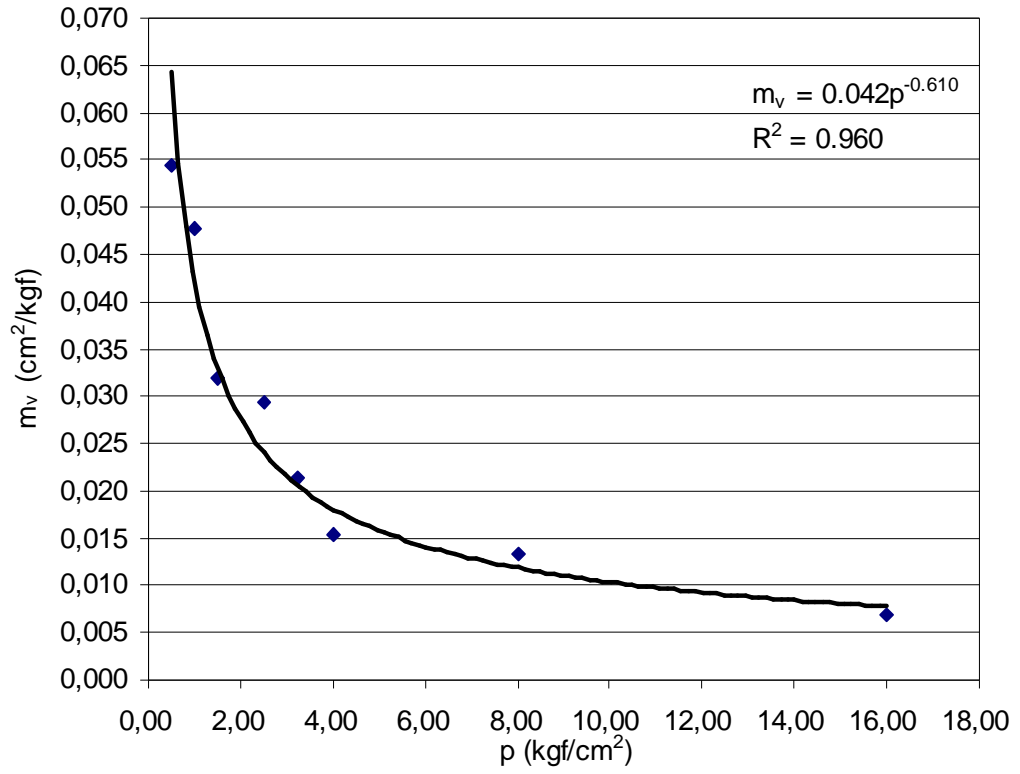
Ek3.b $w = 12.5\%$ için m_v - p ilişkisi



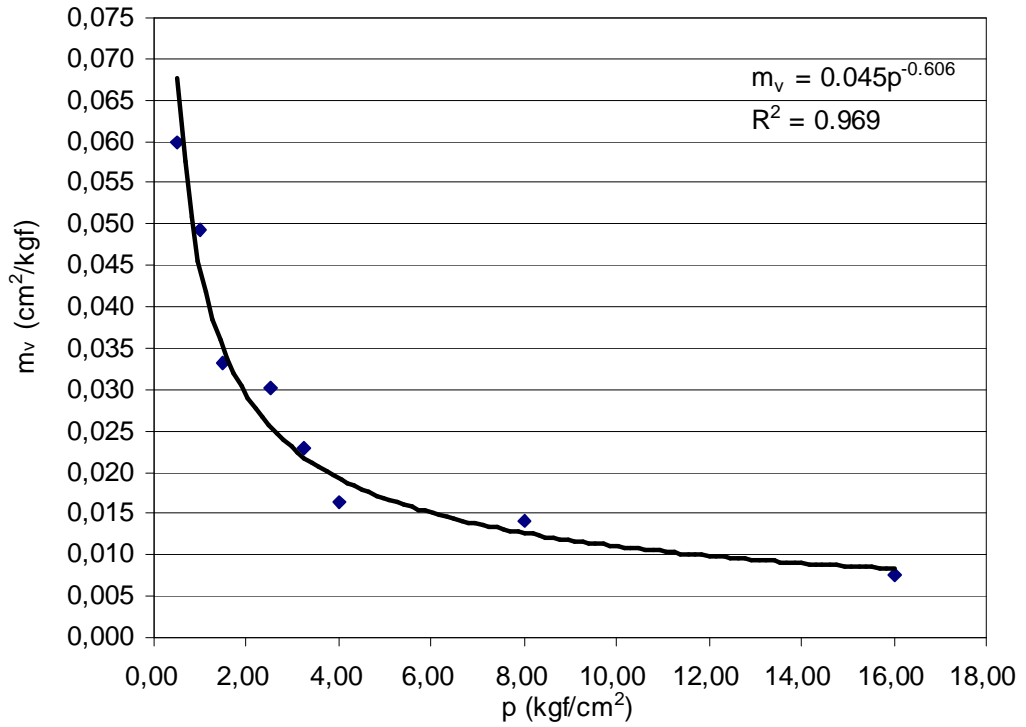
Ek3.c w=% 15.2 için m_v - p ilişkisi



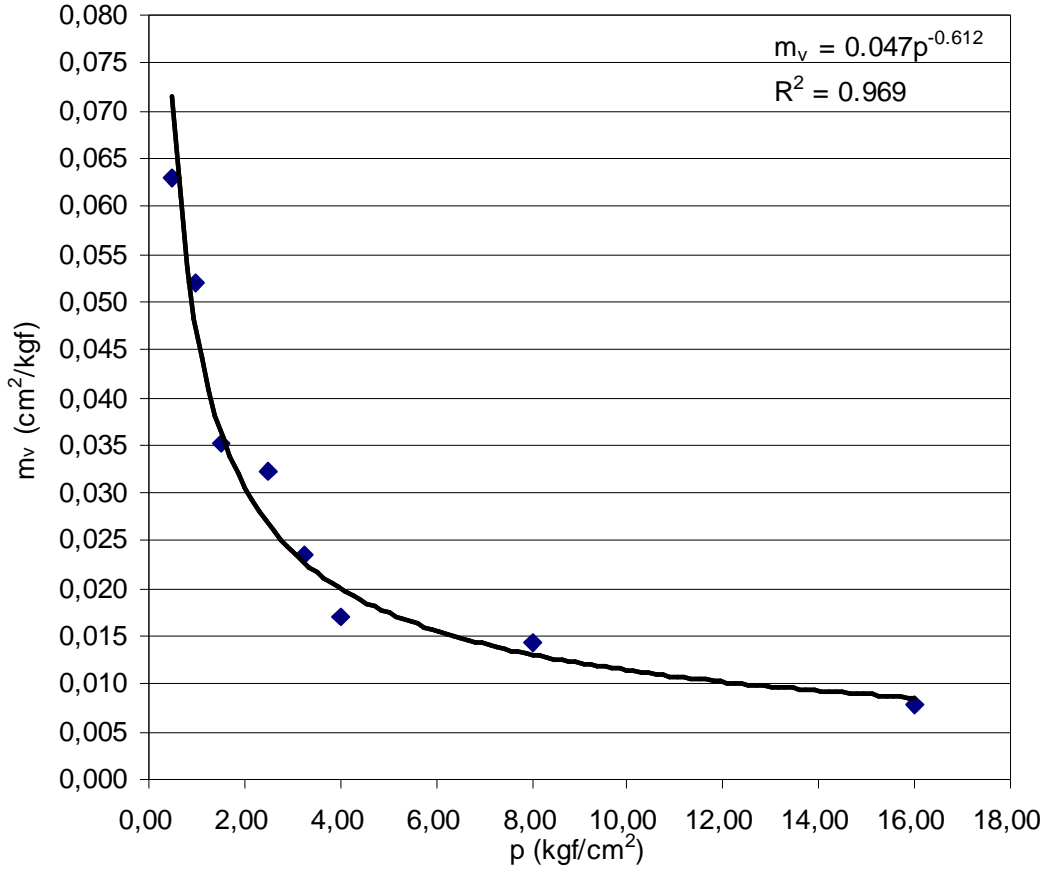
Ek3.d w=% 17.6 için m_v - p ilişkisi



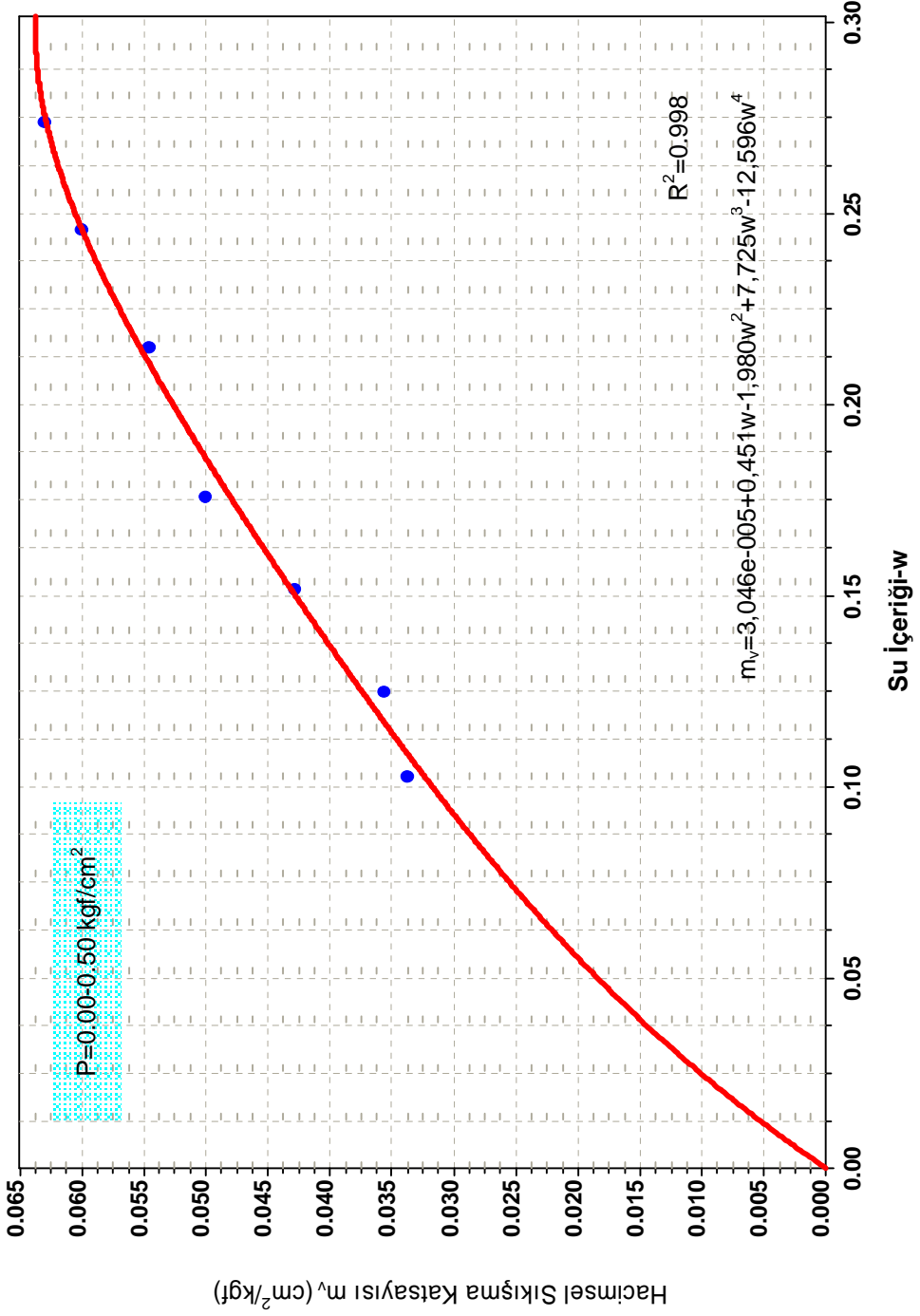
Ek3.e $w = 21.5\%$ için m_v - p ilişkisi



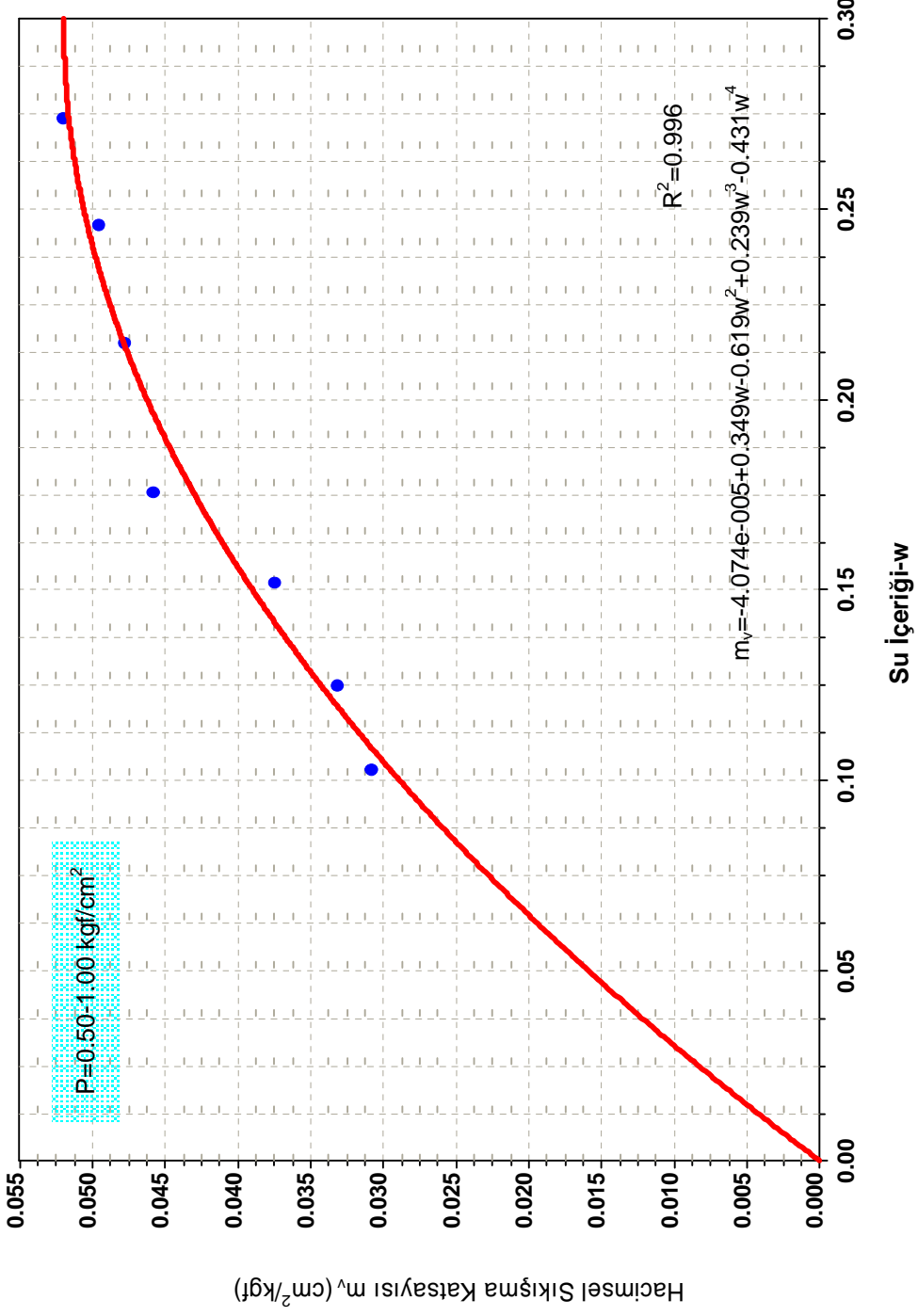
Ek3.f $w = 24.6\%$ için m_v - p ilişkisi



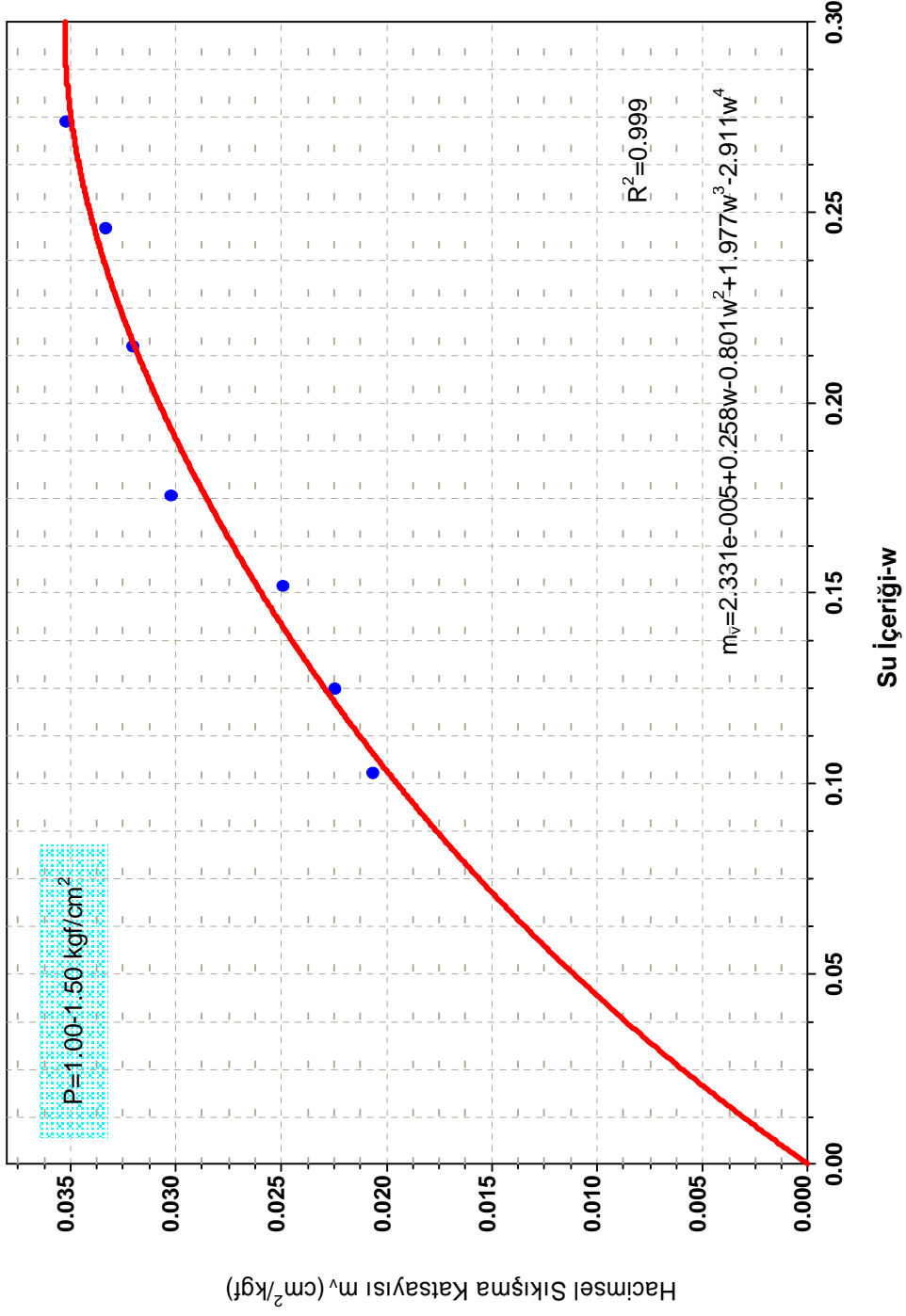
Ek3.g w=%27.4 için m_v-p ilişkisi



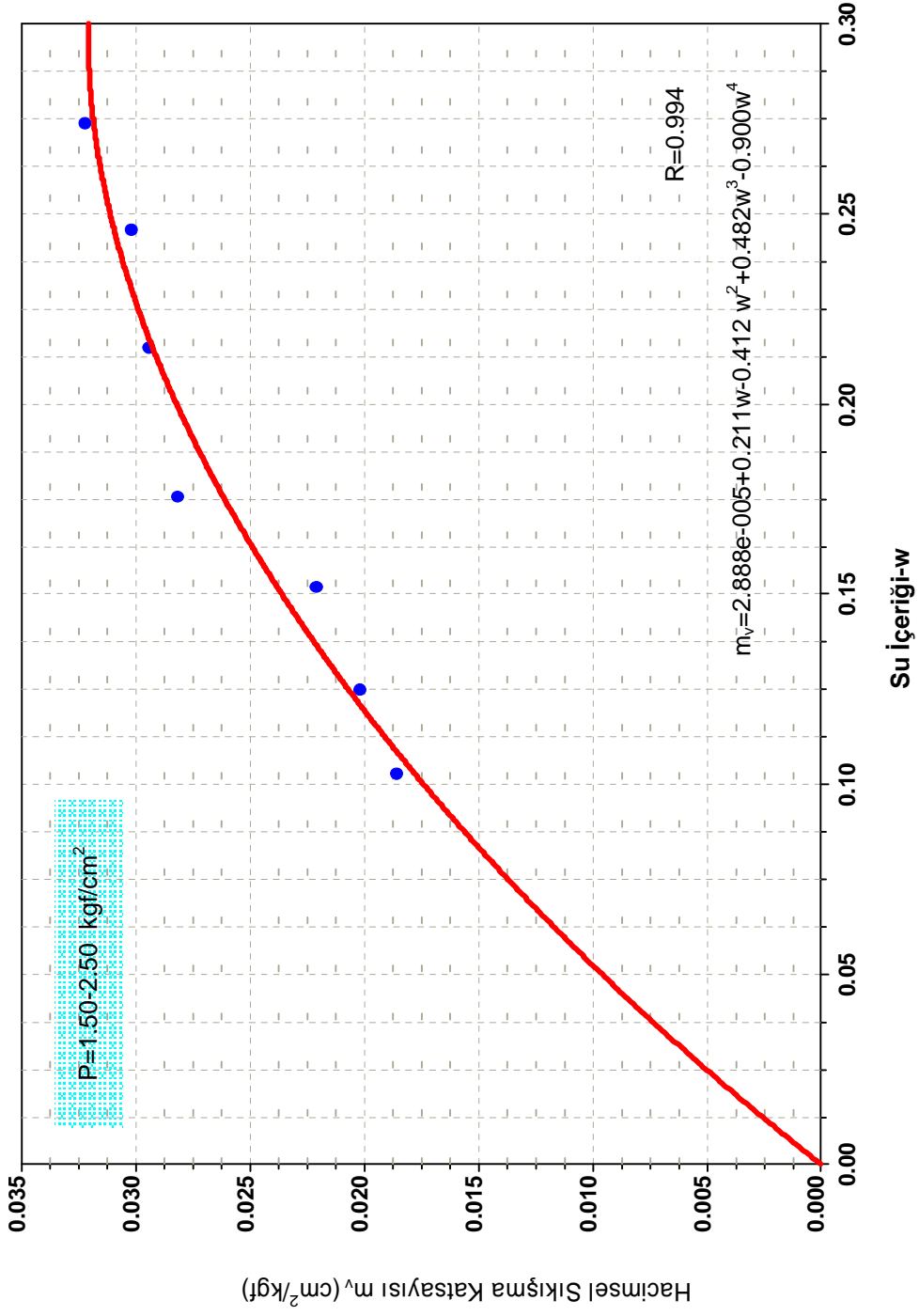
Ek4.a Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



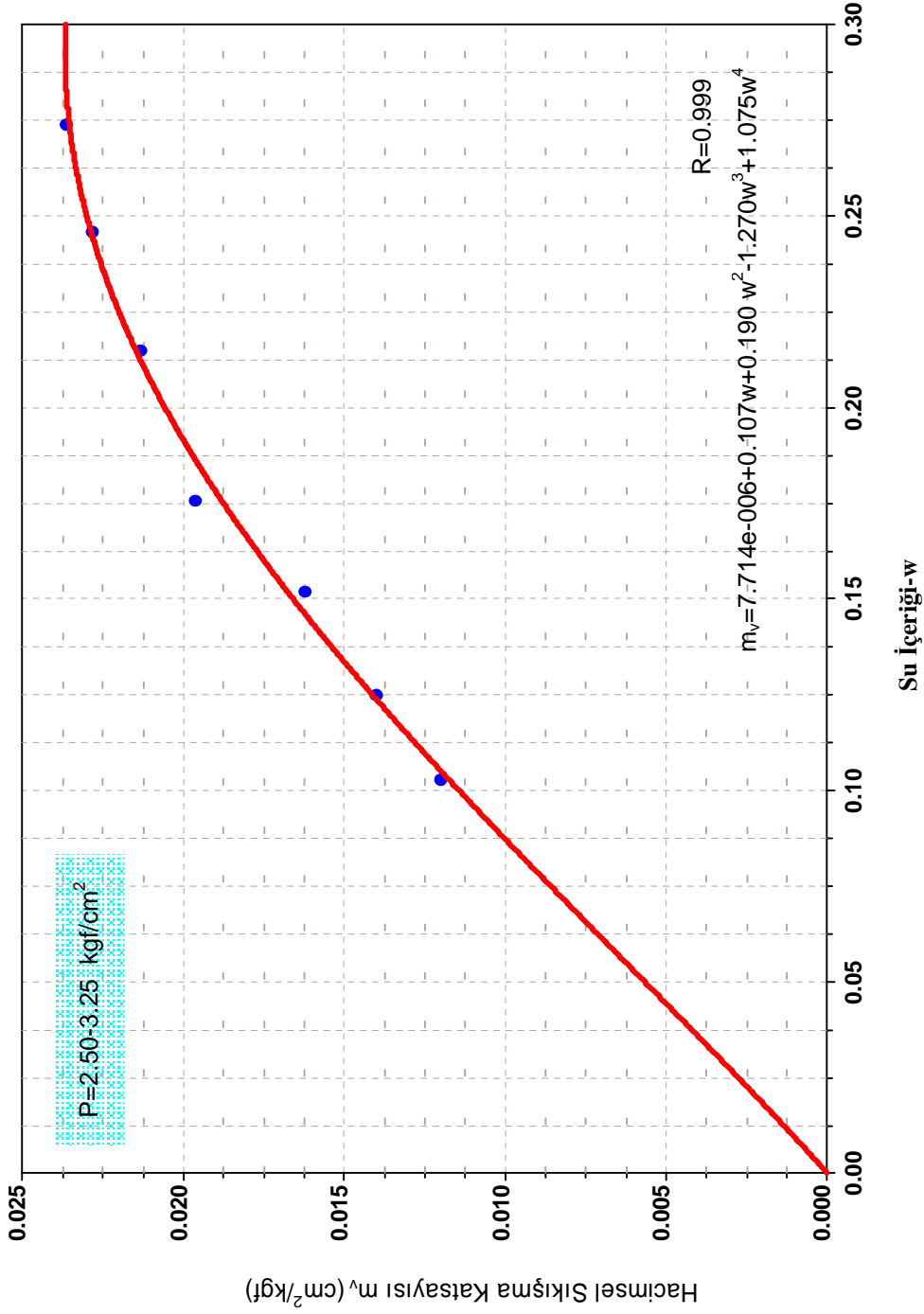
Ek4.b Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



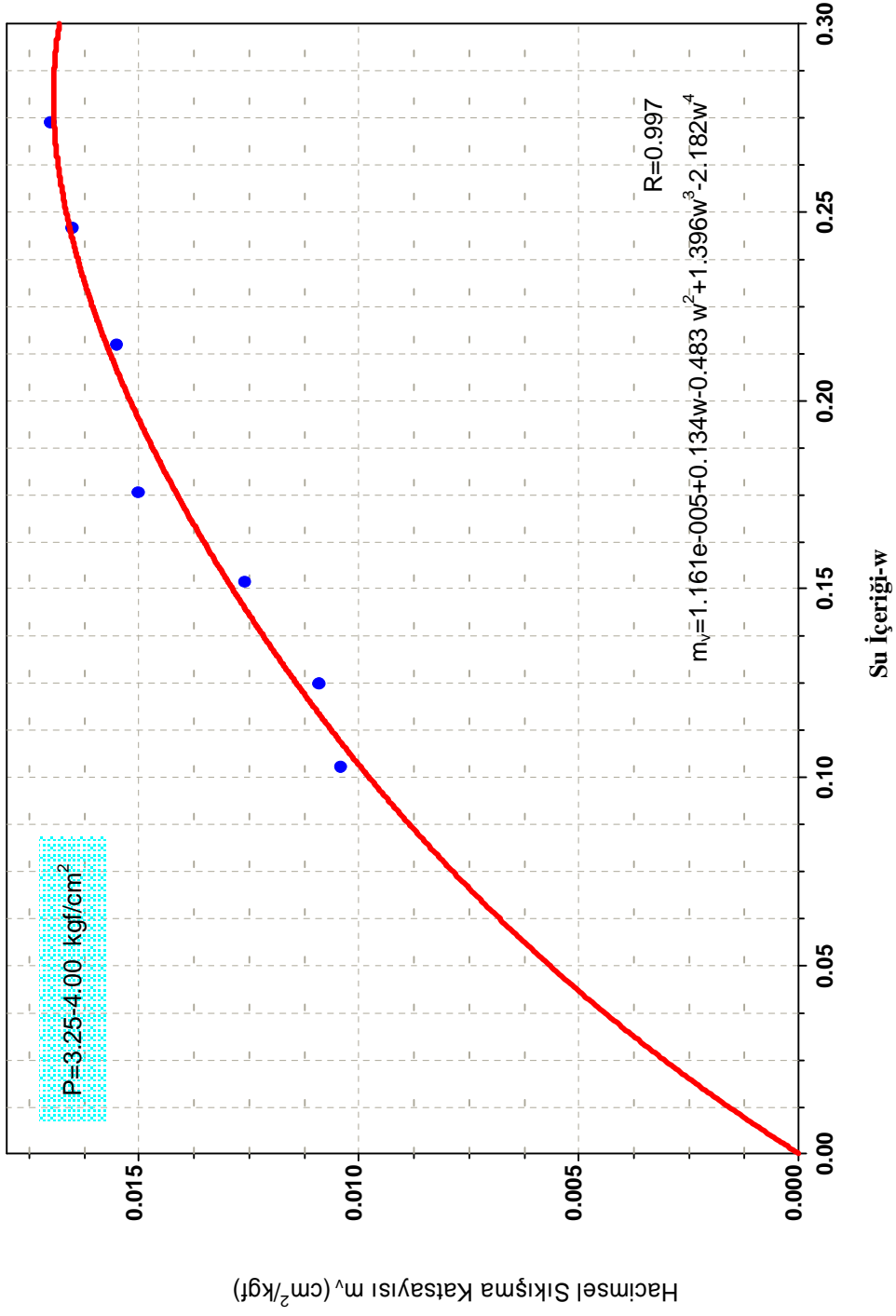
Ek4.c Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



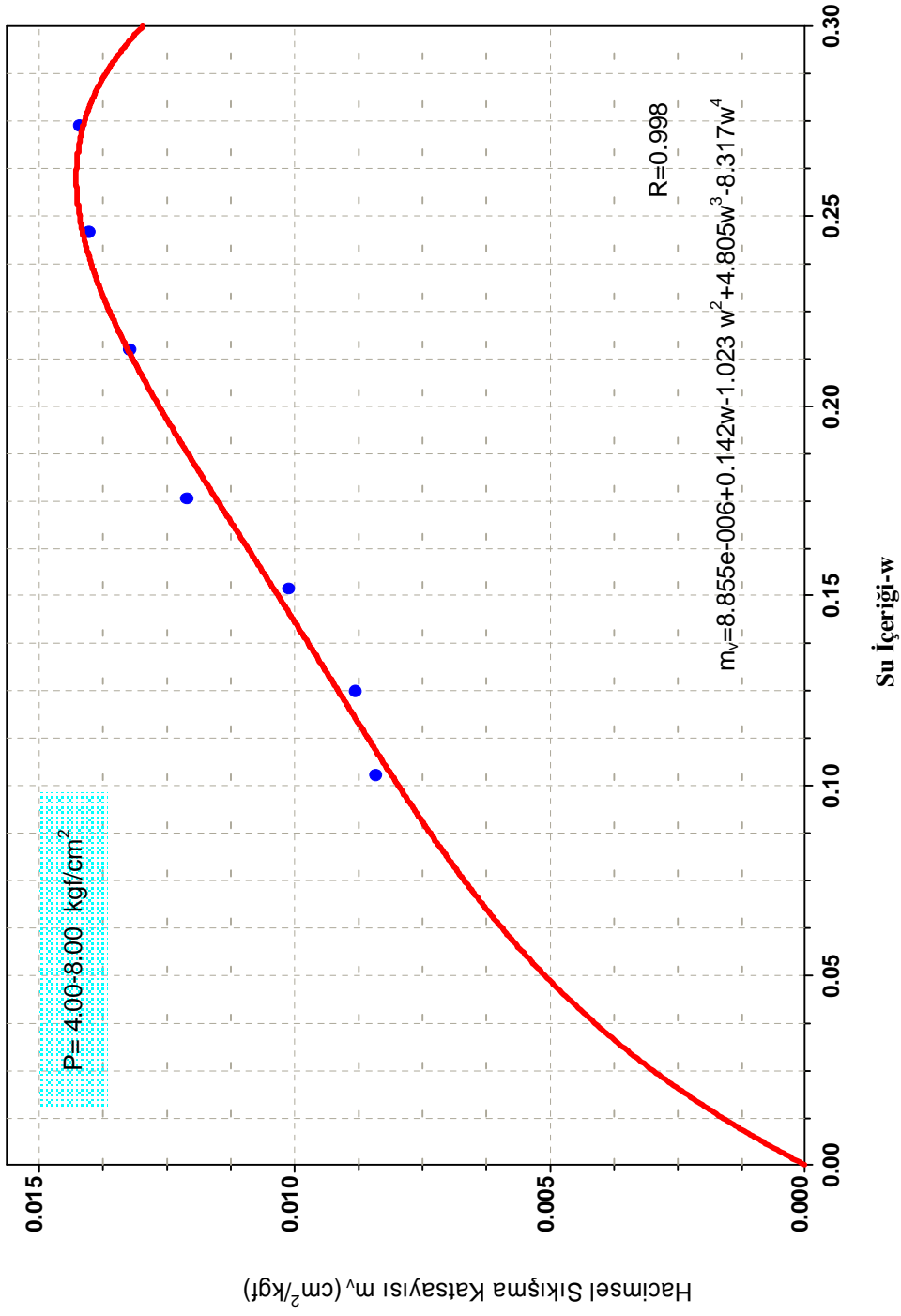
Ek4.d Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



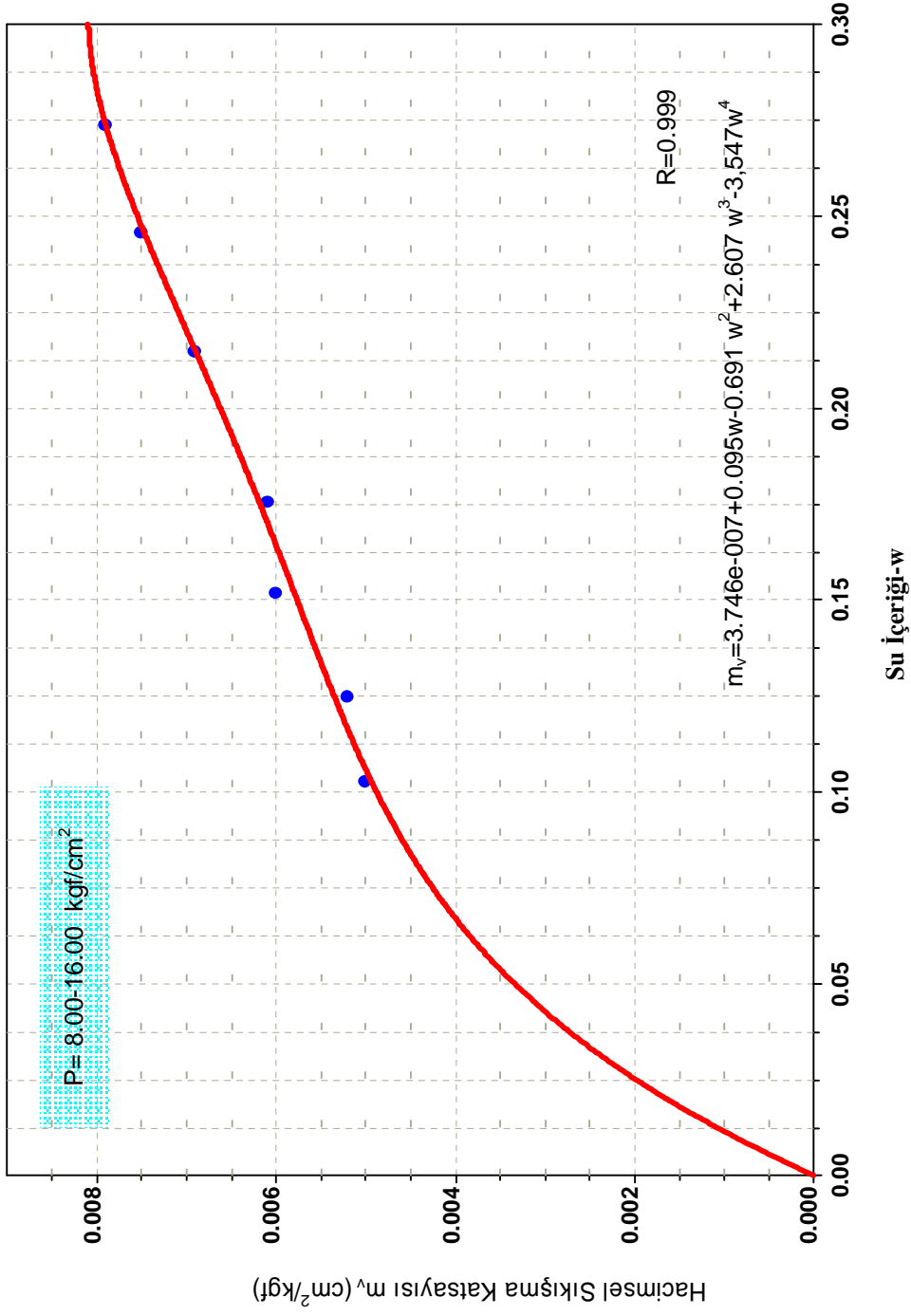
Ek4.e Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



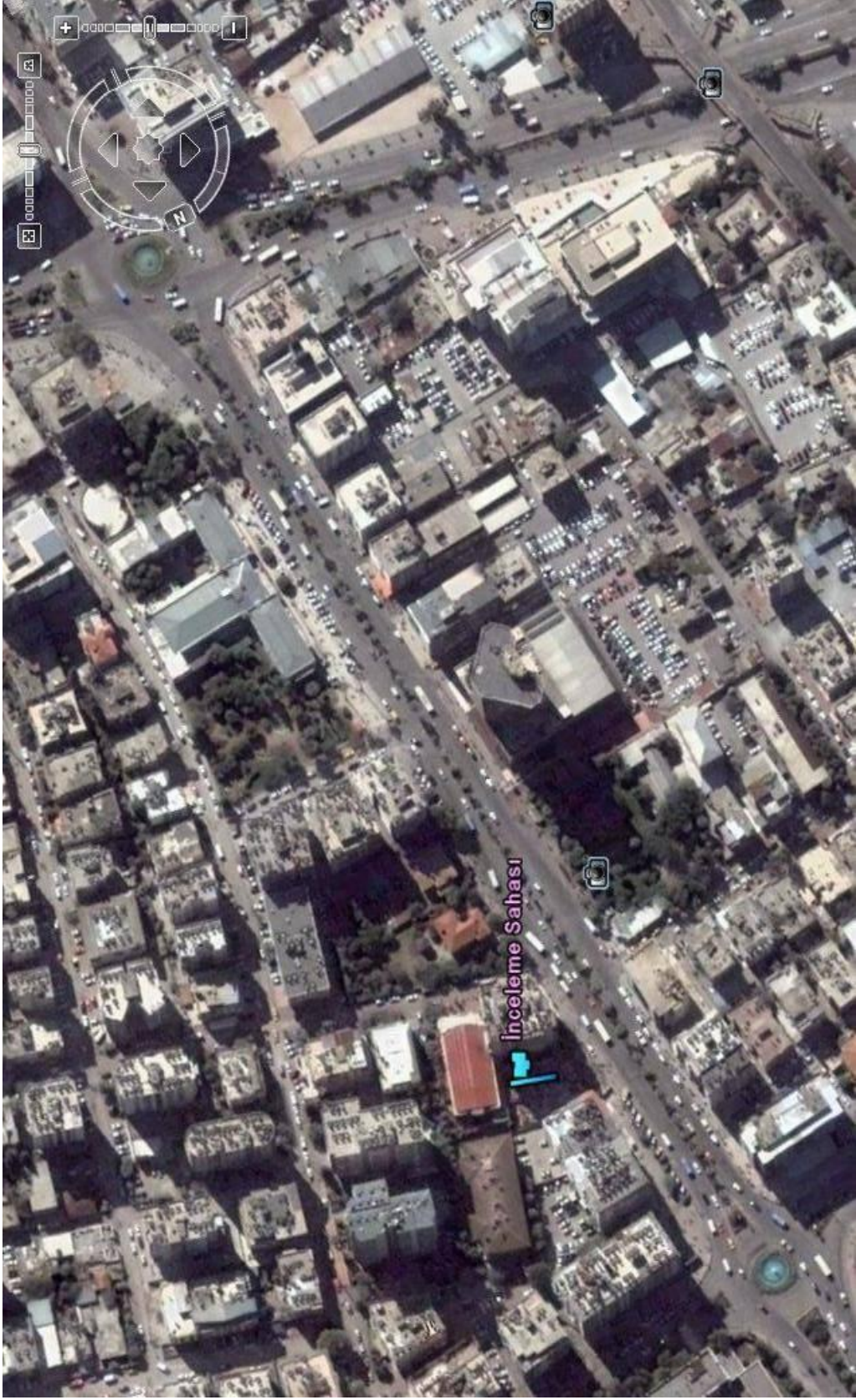
Ek4.f Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



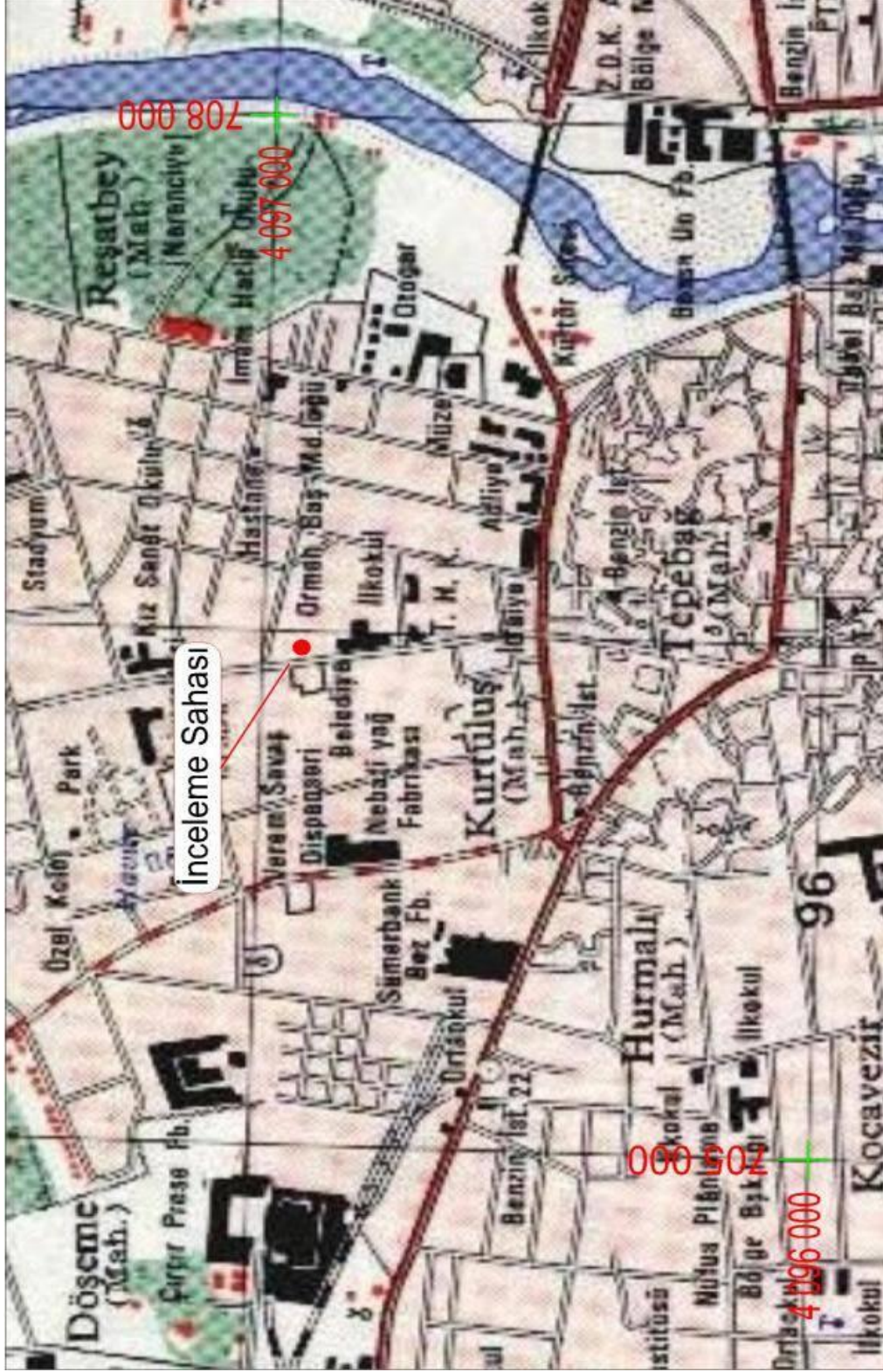
Ek4.g Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



Ek4.h Hacimsel sıkışma katsayısı su içeriği ilişkisi



Ek5.a. Inceleme Sahası Genel Durum Planı



Ek5.b.inceleme Sahası Genel Durum Planı