

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU KONSOLİDASYON DENEY SİSTEMİ

Y. Lisans TEZİ
İnş. Müh. İbrahim Bahadır ADIYAMAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK
MÜHENDİSLİĞİ**

HAZİRAN 2005

ÜÇ BOYUTLU KONSOLİDASYON DENEY SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. İbrahim Bahadır ADIYAMAN
(501021277)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hüseyin YILDIRIM
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Ayfer ERKEN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Sıddıka Nilay KESKİN(S.D.Ü.)

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesi ve çalışmalarım süresince gösterdiği yakın ilgi ve değerli katkılarından dolayı tez yürütmenim ve danışmanım kıymetli Hocam Sayın **Doç.Dr.Hüseyin YILDIRIM'** a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca;

Her türlü destek ve yardımı bana sağlayan Dr. Atilla SEZEN'e ve Geoteknik Anabilim Dalı'nın değerli bütün elemanlarına konum hakkında bana aktardıkları, bilgi ve yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Bütün çalışmalarım süresince sağladıkları her türlü destek için aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2005

İnş.Müh.İbrahim Bahadır ADIYAMAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
SEMBOL LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. KONSOLİDASYON	3
2.1 Oturma.....	3
2.1.1 Oturma Miktarının Tahmininde Kullanılan Yöntemler	5
2.2 Konsolidasyon Teorisi.....	6
2.2.1 Konsolidasyon olayının analojisi	6
2.2.2 Bir Boyutlu Konsolidasyon	10
2.2.3 Konsolidasyon Oranın Hesabı.....	14
2.3 Ödometre Deneyi	16
2.3.1 Deney sistemi ve deneyin yapılışı	17
3. ÜÇ BOYUTLU KONSOLİDASYON DENEY SİSTEMİ	19
3.1 Deney Sisteminin Yapım Aşamaları	19
3.2 Deney Sistemi	19
3.3 Deney Sisteminin Kurulması	27
3.4 Deney Sistemine Ait Yapılan Hesaplar ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	29
3.5 Deney Sistemiyle Yapılması Planlanan Çalışmalar	31
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1 Giriş.....	33

4.2 Rowe Hücresinde Numune Hazırlanması	34
4.3 Klasik Konsolidasyon Deneyleri.....	35
4.4 Üç Boyutlu Konsolidasyon Deney Sistemi'nde Yapılan Deneyler	55
4.5 Deney Sonuçları Arasında İlişkilerin Araştırılması.	57
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	66

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Tv ile U Arasındaki İlişki.....	16
Tablo 3.1 Kullanılması Gereken Yükler ve b Uzaklığı	29
Tablo 3.2 Jeolojik Yükler İçin Kullanılması Gereken Yükler.....	30
Tablo 3.1 Malzemenin indeks özellikleri	33
Tablo 4.1 1A5-50 Deney Sonuçları.....	36
Tablo 4.2 1U1-50 Deney Sonuçları.....	37
Tablo 4.3 1U2-50 Deney Sonuçları.....	38
Tablo 4.4 1U3-50 Deney Sonuçları.....	39
Tablo 4.5 1A3-75 Deney Sonuçları.....	40
Tablo 4.6 1A4-75 Deney Sonuçları.....	41
Tablo 4.7 2A1-50 Deney Sonuçları.....	42
Tablo 4.8 2A2-50 Deney Sonuçları.....	43
Tablo 4.9 2A5-50 Deney Sonuçları.....	44
Tablo 4.10 2U1-50 Deney Sonuçları.....	45
Tablo 4.11 2U2-50 Deney Sonuçları.....	46
Tablo 4.12 2A3-75 Deney Sonuçları.....	47
Tablo 4.13 2A4-75 Deney Sonuçları.....	48
Tablo 4.14 3U1-50 Deney Sonuçları.....	49
Tablo 4.15 3U2-50 Deney Sonuçları.....	50
Tablo 4.16 3A1-75 Deney Sonuçları.....	51
Tablo 4.17 3A3-75 Deney Sonuçları.....	52
Tablo 4.18 2A5-75 Deney Sonuçları.....	53
Tablo 4.19 4A3-75 Deney Sonuçları.....	54
Tablo 4.20 Ringsız Yapılan Deney Değerleri	57
Tablo 4.21 50mm ve 75 mm Çaplı Numunelerin Δh Karşılaştırması	57
Tablo 4.22 Yeni Deney Sisteminde Yapılan Ringli Deney Sonuçları.	60

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Kohezyonlu (Doygun) Zeminlerde , Oturma-Zaman	5
Şekil 2.2 : Konsolidasyon Olayının Benzetimi	7
Şekil 2.3 : Sıkışabilir Kil Tabakasının Konsolidasyonunu Gösteren Diyagram.....	8
Şekil 2.4 : Farklı Yükleme Ve Drenaj Koşulları İçin İzokronlar	9
Şekil 2.5 : Elementer Zemin Küpünde Akım.....	11
Şekil 2.6 : Zaman Faktörü Ve Konsolidasyon Yüzdesi Arasındaki Bağntı.....	15
Şekil 2.7 : Logaritmik Ölçekte $U(\%)$ - T_v İlişkisi	16
Şekil 2.8 : Ödometre Deney Sistemi	17
Şekil 3.2 : Hücre Kesit Ve Planı	20
Şekil 3.3 : 120 mm Çaplı Ringlere Ait Plan Ve Kesitler	21
Şekil 3.4 : Üst Başlık Yükleme Ünitesi ve Ayakları.....	22
Şekil 3.5 : Değişik Çapta ve Yükseklikte Klasik Konsolidasyon Ringleri	23
Şekil 3.6 : Yükleme Pistonları ve Üst Başlıklar.....	23
Şekil 3.7 : Deney Sisteminin Son Hali.....	24
Şekil 3.8 : Sistemin Yapılması Düşünülen İlk Hali	25
Şekil 3.9 : Hazırlanan 120 mm Çaplı Deney Numunesi	26
Şekil 3.10 : Alt Filtre Taşı.....	26
Şekil 3.11 : Rijit Dış Ring.....	27
Şekil 3.12 : Farklı Yükseklikte ve 120 mm Çaplı Ringler	28
Şekil 3.13 : Deneyden Başlamadan Önce ve Sonra Numunenin Görünümü	28
Şekil 3.14 : Moment Kolunun Boyutları.....	29
Şekil 3.15 : Oturma Olayının Karşılaştırılması.....	30
Şekil 4.1 : Rowe Hücresi.....	34
Şekil 4.2 : Hücre İçinde 120 mm Çaplı Hazırlanan Numune	55
Şekil 4.3 : Ringsiz Deney Sonucunda Göçen Numune.....	56
Şekil 4.4 : Oturma Moment Kolu.....	56
Şekil 4.5 : $\log P - \Delta H$ Diyagramı (çap=50 mm ve 75 mm).....	58
Şekil 4.6 : Yeni deney sisteminde yapılan deneylerin nihai oturma grafiği	61

ÖZET

Taşıma gücü ve konsolidasyon üst yapının güvenliği ve kullanılabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Zeminin taşıma gücünün yerinde belirlenebilmesi amacıyla plaka yükleme deneyi mevcut olmasına karşın, aynı konunun laboratuarda ve arazi koşullarına uygun şartlar altında incelenmesini sağlayacak bir deney sistemi geliştirilememiştir. Bunun yanı sıra, oturmaların laboratuarda belirlenmesi için kullanılmakta olan ödometre deney sisteminde belirli bir çapa sahip numune, yanal olarak hareketi engellenecek şekilde düşey doğrultuda yüklenmektedir. Bu sistem aslında numunenin tek boyutta konsolidasyon durumunun incelemesini sağlamaktadır. Ancak, gerçek arazi koşullarında zeminlerin yanal hareketinin tamamen engellenmesi mümkün olmadığından zemin yapısı içinde düşey ve yatay gerilme ve şekil değiştirmeler arasında yanal toprak basıncı(K_0) olarak adlandırılan durum söz konusudur.

Bu çalışmada işletilebilir hale getirilen deney sistemi anlatılacaktır. Üç boyutlu konsolidasyon deney sisteminin hücre kısmı yükleme elemanları ve kaide kısmı klasik konsolidasyon sistemiyle benzerlik gösterse de, yükleme koşulları, sınır koşulları ve elde edilmesi tasarlanan neticeler açısından iki sistem arasında benzerlik yoktur. Üst başlık ve askı sistemi vasıtasıyla arazide mevcut jeolojik gerilmenin zemin numunesine laboratuarda uygulanabilmesi, yükleme pistonları sayesinde numunenin sadece orta kısmından yüklenmesi ve bu sayede çevre sınır koşullarının, ring kullanılmaması nedeniyle araziyle benzeşiminin sağlanmıştır. Arazi koşullarına olabildiğince uygun ve benzer koşullar sağlanarak yüklenmeleri sonucunda hem zeminlerin taşıma güçleri, hem de bu yükleme koşulları altında konsolidasyon özellikleri incelenecek ve klasik konsolidasyon deney sonuçları ile karşılaştırma yapılabilecektir.

SUMMARY

Bearing capacity and consolidation is very important for reliability and serviceability of the structure. Although plate loading test is available for the bearing capacity of the soil, there is no system in the laboratory that has the same conditions with the field conditions. Besides, in the odometer test for the determination of the settlements in the laboratory, sample that has a limited diameter is loaded vertically in order to prevent horizontal movement. In fact this system enables the examination of the one dimensional consolidation of the sample. However as the prevention of horizontal movement is not possible in real field conditions K_0 exists between the vertical and horizontal stress and strain in the soil structure.

In this study experiment system that has been put into access is explained. Although the cell and apparatus base of the Three Dimensional Consolidation System has similarities with the classical consolidation system, the loading conditions, boundary conditions and the expected results does not similar. By the load hanging system the geological stresses can be applied to the soil sample, by the loading pistons the sample can be loaded only from the middle portion of the sample and confined boundary conditions behave same properties with the field a result of not using a ring. By the loading of soil providing similar and appropriate conditions with the field, the bearing capacity of the soil and consolidation properties under the loading conditions is examined and the results are compared to classical consolidation results.

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinde yapıyla ilgili bizi ilgilendiren ve üzerinde durduğumuz konu, yapının üzerine oturduğu zemin bu yükü taşır mı ve zemin ince daneli zeminse ne kadar oturacağı ve ne kadar sürede oturacaktır. Özellikle killi zeminlerde konsolidasyon oturması önem kazanmaktadır.

Zemin taşıma gücünün yerinde belirlenebilmesi amacıyla, arazi için geliştirilen plaka yükleme deneyi mevcut olmasına karşın, aynı konunun laboratuarda ve arazi koşullarına uygun şartlar altında incelenmesini sağlayan bir deney sistemi geliştirilememiştir. Bunun yanı sıra, oturmaların laboratuarda belirlenmesi amacıyla zemin mekaniğinde kullanılmakta olan ödometre deney sisteminde, belirli bir çapa sahip numune, yanal olarak hareketi engellenecek şekilde düşey doğrultuda yüklenmekte ve bu durum aslında numunenin, tek boyutlu konsolidasyon durumunun incelenmesini sağlamaktadır. Ancak gerçekte zeminin yanal hareketini tamamen engellemek mümkün değildir ve zemin yapısı içinde düşey ve yatay gerilme ve şekil değiştirmeler arasında Yanal toprak basıncı(K_0) olarak adlandırılan durum söz konusudur. Bu durumu laboratuarda üç eksenli basınç deneyi ile doğru bir biçimde belirlenmesine karşın her zaman basit olan ve karışık hesapları olmayan hesaplamalar kullanıldığı için pratikte pek kullanılmaz.

Bu tezin konusu olan üç boyutlu konsolidasyon deney sistemi ise klasik ödometre deneyi kadar basit ve kolay, üç eksenli basınç deneyi kadar gerçek koşullara uygun şartlara sahiptir. Patenti alınan deney sisteminin tasarımı yapılmış, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu(TUBİTAK)'tan maddi destek alınmış ve deney sisteminin üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan deney sistemi İstanbul Teknik Üniversitesi(İTÜ) Ord. Prof. Dr. Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarında kurulup deneylere başlanmıştır.

“Üç Boyutlu Konsolidasyon Deney Sistemi” olarak adlandırılan bu tez beş bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde konsolidasyon olayından bahsedilmiş ve tek boyutlu Terzaghi konsolidasyon teorisi anlatılmıştır..

Üçüncü bölümde yeni yapılan deney sisteminin parçaları tanıtılıp çizim ve şekilleri verilecektir. Deney sisteminin kurulumu anlatılacak ve deney sisteminin çalışma prensiplerinden bahsedilecektir, ayrıca deney sistemiyle ileride yapılabilecek çalışmalardan bahsedilecektir.

Dördüncü bölümde klasik konsolidasyon deneylerinden bahsedilecek ve farklı çaplarda yapılan ödometre deney sonuçları verilecektir. Ayrıca deneyler için kullanılan numunenin hazırlanması ile ilgili bilgi verilecek ve kullanılan numunenin indeks özellikleri tablo olarak verilecektir.

Son bölüm olan beşinci bölümde ise yapılan deneylerin sonuçları hakkında yorumlara yer verilecek ve yeni yapılan deney sisteminde yapılan deney sonucuyla klasik konsolidasyon deney sonuçları karşılaştırılıp aralarında bir korelasyon bulunmaya çalışılacaktır. Ayrıca yeni deney sistemi üzerinde yapılabilecek değişiklikler ve geliştirmelerden bahsedilecektir.

2. KONSOLİDASYON

Bir temel yada temel sisteminin üç koşulu sağlaması gerekir:

1. Taşıma Gücü Koşulu: Yüklenmiş olan temel, zeminde kırılma meydana getirmemeli ve de böyle olaylara karşı güvenliği olmalı.
2. Oturma Koşulu: Temeller vasıtasıyla yüklenen zemin ortamda, az veya çok bir oturma (çökme, sıkışma, tasman) olur. Genel anlamda oturma, uygulanan yüklerden veya etkilere dolayı, taneler arası boşlukların azalması sonucu, kısa veya uzun sürede olabilen bir hacim azalması, sıkışma olayıdır.
3. Ekonomiklik Koşulu: Yapı ekonomik olmalıdır [1].

2.1 Oturma

Bir yapı veya temelin oturması; temelin tipi, yükleme biçimi ve zemin özellikleri gibi faktörlere bağlıdır. Temel, fleksibl veya rijit olabilir. Temel şekli, gömülme derinliği ve temel aralığı; temel cinsine göre değişecektir. Temel zeminine intikal eden yükler de değişik olmaktadır. Yükler kalıcı veya devinimli veya kademeli olabilmektedir.

Yükleme biçimi, yapı cinsine göre değişmektedir. Eğer zemine yapılacak yükleme bir yapı inşasından kaynaklanıyorsa yükleme kalıcıdır. Oysaki bir depolama tankında veya bir su deposunda ise yükleme, tanktaki sıvının veya suyun seviyesine göre değişmektedir. Yani temel zemine intikal eden yük devinimli olmaktadır. Aynı durum, rezervuardaki su seviyesini değişikliğine bağlı olarak baraj temel zemini için de geçerlidir.

Bir temelin, zeminde kırılma meydana getirmemesi ve kırılmaya karşı güvenli olması yetmez. Ayrıca, meydana gelebilecek oturmaların, yapıya zarar vermemesi gerekir. Başka bir deyişle, oturma veya oturma farkları, belli oturma değerlerini aşmamalıdır. İzin verilebilir oturmalar aşıldığında, yapılarda çatlaklar, ağır hasarlar, hatta yıkılmalar meydana gelebilir. Mevcut yapılardaki hasar veya göçme nedenlerinin başında, oturmalar, özellikle de farklı oturmalar gelmektedir.

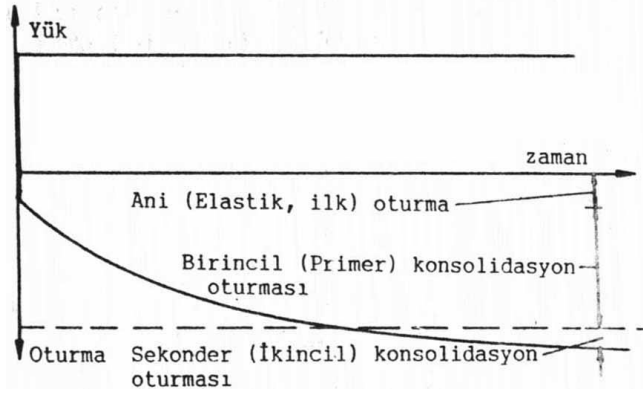
Bu bakımdan r toplam oturmaları yanında d farklı oturmaları ile $\frac{d}{L}$ açısal deformasyonlarının müsaade edilen değerlere eşit veya ufak olduğunun gösterilmesi gerekir.[2]

Oturma olayına, çeşitli nedenler yol açar. Bunlar genel olarak aşağıdaki gibi belirtilebilir:

1. Zeminin yüklenmesi
2. Yer altı su seviyesinin indirilmesi
3. Taneli zeminlerde meydana gelen titreşimler (Depremler, kazık çakma işlemleri v.b)
4. Bitişik kazılar nedeniyle, mevcut temel veya temellerin altındaki zemin durumunun bozulması.
5. Yeraltındaki boşluk, mağara, tünel, galeri v.b. çökmesi
6. Yeraltı su akımlarının yol açtığı erozyon
7. Yer kaymaları
8. Temel elemanlarının tahrip olması (Sülfatlı suların betonu etkilemesi, çelik kazıkların paslanması(Korozyon), ahşap kazıkların çürümesi veya kurt, solucanlar tarafından kemirilmesi)
9. Don olayı kabarma
10. Zeminde meydana gelebilen kimyasal olaylar
11. Killi zeminlerde, çabuk büyüyen ağaçlar vb.

Kohezyonsuz zeminlerde (Kum, çakıl gibi), oturma, kısa sürelidir. Yani, yük uygulanır uygulanmaz, oturma kısa sürede meydana gelir. Böyle zeminlerde, tanelerin yeniden yerleşmesi veya doymuş zeminlerde, yüksek geçirimsizlikten dolayı boşluklardaki suyun bir kısmının dışarı akarak, boşluk hacminin azalması, kısa sürede olur.

Kohezyonlu zeminlerde (suya doymun), oturma olayı, düşük geçirimlilikten dolayı, boşluklardaki suyun bir kısmının dışarı çıkması nedeniyle, uzun zamanda meydana gelir (Şekil2.1).



Şekil 2.1 Kohezyonlu (Doygun) Zeminlerde , Oturma-Zaman

İnce taneli zeminlerde oturmalar zamana bağlıdır ve 3 bileşenden oluşur:

1. Ani (ilk, elastik) oturma (r_i) : Yük uygulanır uygulanmaz, zeminin düşük geçirimliliğinden dolayı, hacim değişikliği olmaksızın ($DV = 0$) poisson oranı, ($u = 0,5$)
2. Birincil (Primer) Konsolidasyon oturması (r_c): Suya doymun kil tabakasına aktarılan ek düşey gerilmelerden dolayı, zeminin boşluksuyu basıncı artar. Boşluk suyunun bir kısmı, zeminin düşük geçirimliliğinden dolayı, uzun sürede (Bir kaç aydan, bir kaç yıla kadar) tabaka dışına çıkar. İşte, sabit bir gerilme altında, uzun sürede meydana gelen oturmaya, Birincil (Primer) Konsolidasyon veya sadece, konsolidasyon oturması denilir. Killerde (suya doymun) esas olarak dikkate alınan oturma budur, değeri birkaç mm.den, bir kaç m.ye kadar olabilir.
3. İkincil (Sekonder) konsolidasyon oturması (r_s): Ek boşluk suyu basıncının sönmesinden sonra, oturmanın sona ermesi gerekir. Ancak, araştırmalar, oturmanın, bazı durumlarda çok az da olsa devam ettiğini göstermiştir. İşte buna, İkincil (Sekonder) Konsolidasyon oturması denilir.

2.1.1 Oturma Miktarının Tahmininde Kullanılan Yöntemler

1. Arazi deneylerine dayanan yöntemler

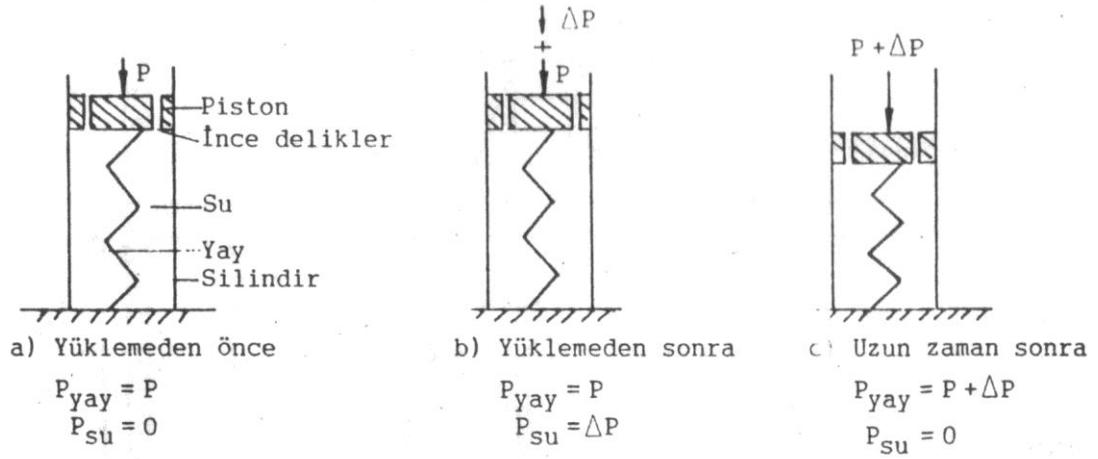
- a. Plaka yükleme deneyi
 - b. Vida plaka deneyi
 - c. Standart penetrasyon deneyi
 - d. CPT deneyi
 - e. Presiyometre deneyi
2. Laboratuar deneylerine dayanan yöntemler
 - a. Klasik dometre deneyi
 - b.  eksenli basıncı deneyi[9]
 - c. Rowe hcreti
 3. Analitik yöntem
 4. Sonlu elemanlar yöntemi [3]

Bu çalışmada klasik ödometre deneyinden ve Doç. Dr. Hüseyin Yıldırım tarafından TR 1999 01299 B sayılı Patenti alınan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen proje kapsamında üretilen ve geliştirilen yeni deney sisteminden bahsedilecektir.

2.2 Konsolidasyon Teorisi

2.2.1 Konsolidasyon olayının analogisi

Konsolidasyon en iyi, su dolu bir silindirde, üzerinde çok ince delikler olan ve bir yay üzerine oturan piston düzenine benzetilerek açıklanabilir. Suyu doygun bir zemin tabakası üzerine yk uygulandığı zaman, eğer boşluklardaki su hemen dışarı ıkamıyorsa, boşluk suyu basıncında uygulanan gerilmeye eşit bir artış meydana gelecektir. Su dışarı çıktıktan sonra boşluk suyu basıncı düşmeye ve suyun hareket hızı düşmeye başlayacaktır[5]



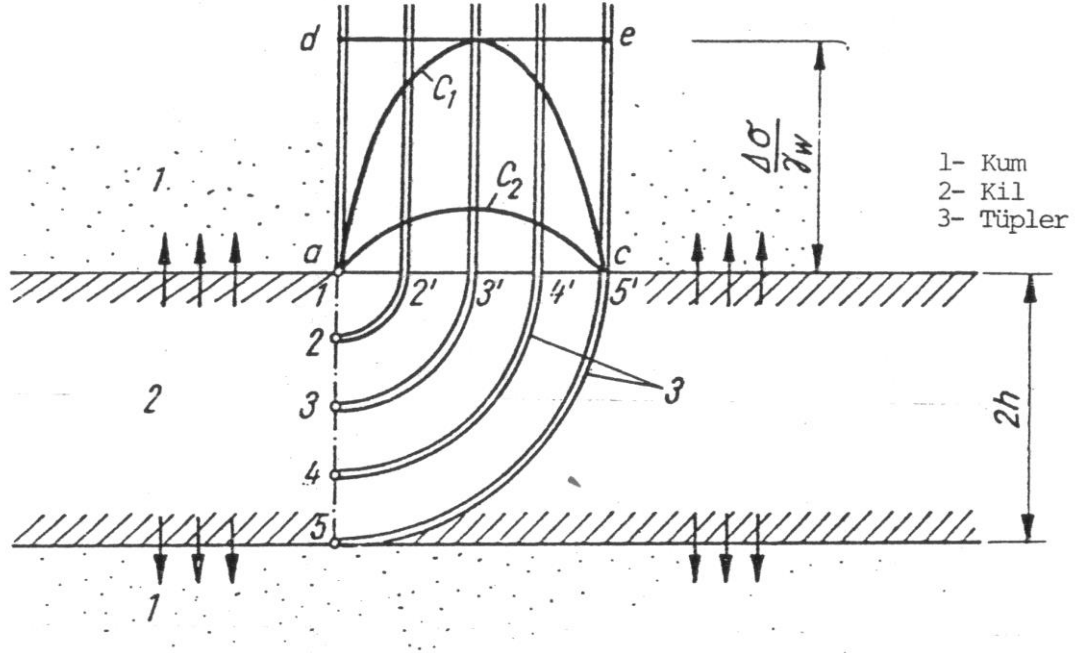
Şekil 2.2 Konsolidasyon Olayının Benzetimi

Sabit bir P yükü altında uzun süre kalmış bir sistemde (Şekil 2.2a) P yükü yay tarafından taşınmakta olup, silindirdeki su herhangi bir yük taşımamaktadır. Bu durumda piston üzerindeki yük ΔP kadar arttırıldıktan hemen sonra (Şekil 2.2b), suyun pratik olarak sıkışmaz olmasından dolayı, ΔP ek yükü su tarafından taşınır, yay ek yük gelmez. Zamanla, basınç altındaki suyun bir kısmı ince deliklerden yavaşça dışarı çıkar ve bir süre sonra (Şekil 2.2c) su, herhangi bir yük taşımaz, $P + \Delta P$ yükü, tamamen yay tarafından taşınır.

Bu düzenekte yay; zemin danelerini, ince delikler; daneler arasındaki boşluğu temsil eder.

Aynı şekilde Şekil 2.3 de, sıkışabilir tabaka içindeki suyun sadece düşey yönde hareket ettiği kabulü yapılarak başka bir diyagramla konsolidasyon anlatılmaya çalışılmıştır.

Zemin tabakası içinde konsolidasyonun yer alışı bir seri piyezometre borusundaki su seviyelerinin gözlenmesiyle incelenebilir. Boruların alt uçları zemin tabakası içine, düşey bir doğrultu boyunca yerleştirilmiştir. İlave hidrostatik basınç su seviyesi durumundan bağımsız olduğundan, su seviyesinin konsolidasyona maruz tabakanın üst yüzünde olduğu kabul edilmiştir. Piyezometre boruları şekilde gösterildiği gibi yerleştirilirse belli bir anda piyezometre borularındaki su seviyelerinin geometrik yerini gösteren eğri, izokron olarak tanımlanır.



Şekil 2.3 Sıkışabilir Kil Tabakasının Konsolidasyonunu Gösteren Diyagram

Konsolidasyon işlemi süresince hidrolik basınç ve efektif gerilme cinsinden

$$- g_w Dh = - Du = Ds' \quad (2.1)$$

yazılabilir. Hidrolik eğim ise

$$i = \frac{1}{g_w} \times \frac{\nabla u}{\nabla z} \quad (2.2)$$

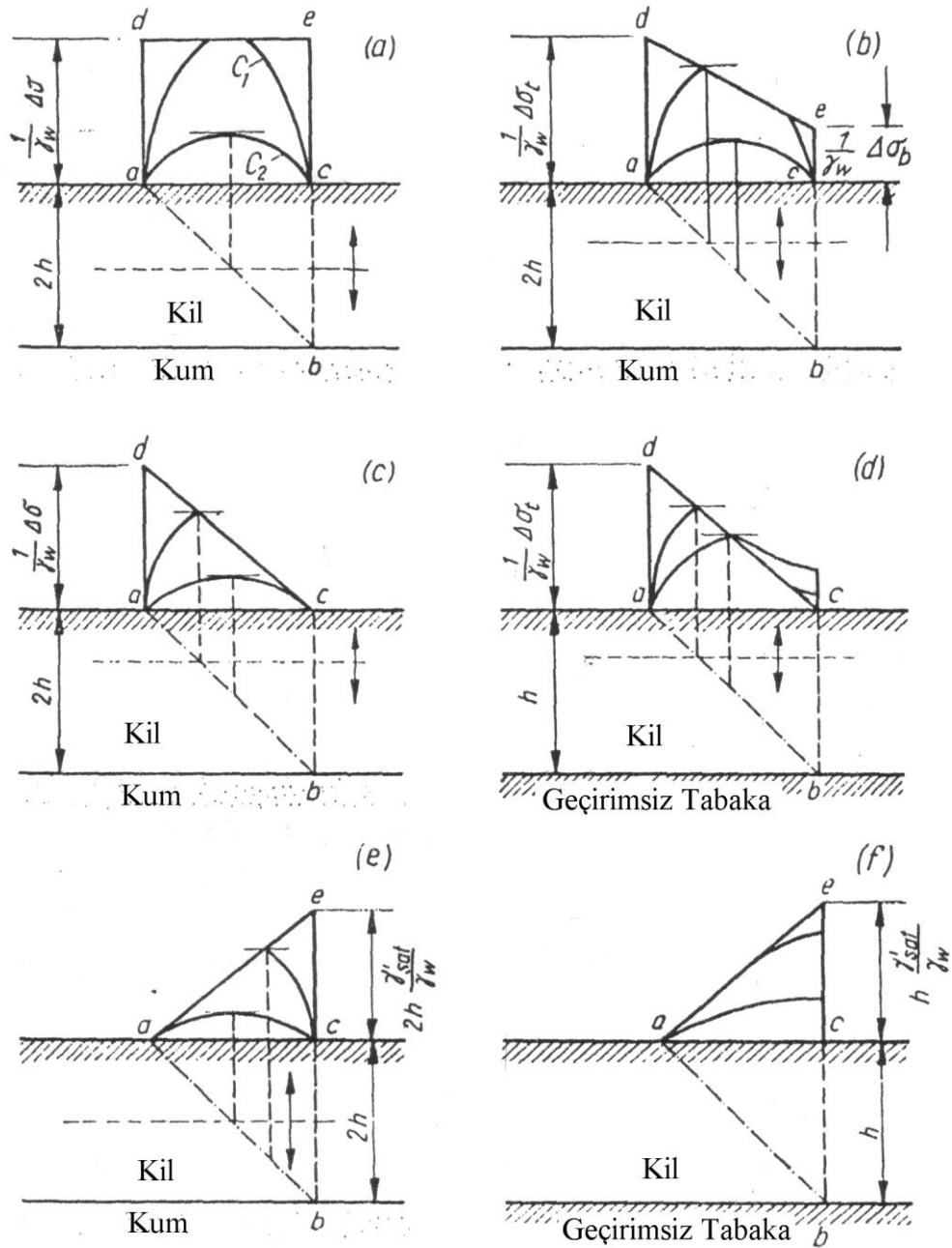
cinsinden yazılabilir.

a noktası altında herhangi bir d derinliğindeki i hidrolik eğimi a'dan d yatay uzaklığında izokronun eğimine eşittir.

Başlangıçtaki ilave hidrolik yükün kil tabakasında düşey kesitler boyunca dağılımı, serbest su yüzeyinden $\Delta p/\gamma_w$ kadar yükseklikteki yatay de doğrusu ile gösterilir. Bu doğru başlangıç izokronudur. Bir kil tabakasının konsolidasyonu suyun tabakanın iç kısımlarından dış yüzlere hareketi ile olur [6]. Bu bakımdan konsolidasyonun ilk safhalarında tabakanın orta kısımlarındaki seviyeler, C_1 izokronu ile gösterildi gibi, dış kısımlardaki seviyelerin düşmesine rağmen, değişmeden kalır. C_2 ile gösterilen ileri bir safhada, bütün seviyeler düşer, drenaj yüzlerinde yükseklikler ortadan kenarlara doğru ve kenarlarda sıfır olacak şekilde azalır. Nihayet, çok uzun bir

zaman sonra, bütün ilave hidrostatik basınç sıfır olur ve son izokron ac yatay doğrusu ile gösterilir.

Şekil 2.4 çeşitli konsolidasyon durumlarındaki izokronları gösterir. Konsolidasyona maruz tabaka hem alt hem de üst yüzeyden serbestçe drene oluyorsa açık tabaka olarak tanımlanır ve kalınlığı $2h$ ile gösterilir. Zemin içindeki su, yüzeylerin sadece biri boyunca dışarı çıkabiliyorsa, tabaka yarı-kapalı olarak isimlendirilir ve kalınlığı h ile gösterilir [7].



Şekil 2.4 Farklı Yükleme Ve Drenaj Koşulları İçin İzokronlar.

2.2.2 Bir Boyutlu Konsolidasyon

Terzaghi (1923) İstanbul’da yaptığı gözlemlerde killerin sıkışmasında en büyük etkenin oluşan fazla boşluk suyu basınçlarının zaman içinde sistem dışına atılması sonucu boşluk hacminde azalma olduğunu fark etmiş ve “Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon Teorisi”ni ortaya koydu. Bu teorinin kurulmasında, aşağıdaki basitleştirmeler, kabuller yapılır.

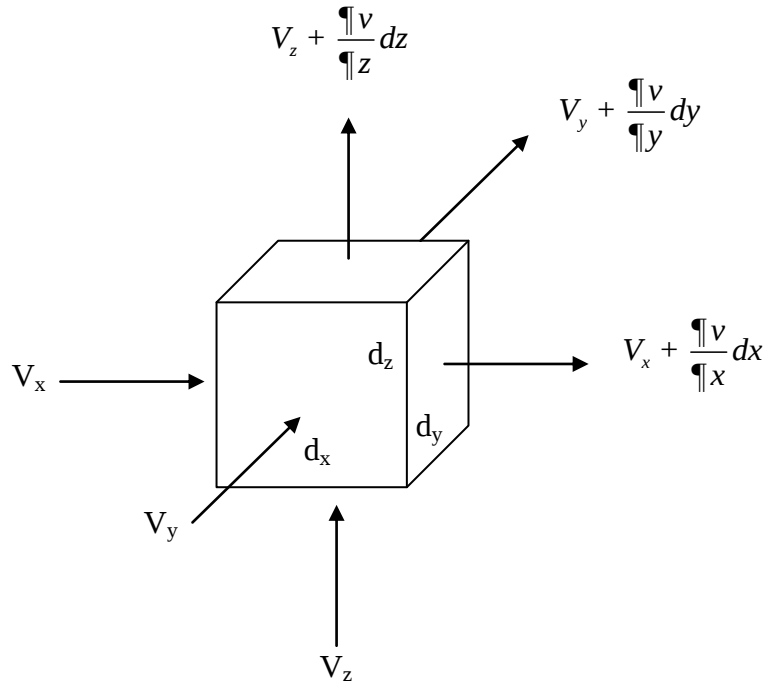
1. Zemin homojen ve doygunudur.
2. Zemin taneleri ve boşluklardaki su, sıkışmazdır.
3. Darcy Yasası geçerlidir. ($v=k.i$)
4. Konsolidasyon süresince, geçirimsizlik katsayısı k , sabittir.
5. Sıkışma sadece düşey doğrultuda olur (Bir boyutlu konsolidasyon).
6. Tabaka sınırları geçirimsiz olup, su akışına ve çıkışına engel olmazlar.
7. Oluşan sıkışmalar kilin ilk kalınlığına oranla küçük olduğundan ortalama özellikler ve ortalama boyutlar kullanılabilir.

Fazla boşluk suyu basıncının zaman içinde sönümü ısının bir plak yüzeyinde dağılımı, yada akımın bir alanda hareketini de inceleyen Laplace denklemi ile tariflenebilmektedir. Şekil 2.5’de bir zemin elementinde akım koşullarını inceleyelim. Süreklilik prensibi elementer küpe giren ve çıkan su debilerinin eşit olmasını öngörür. [4]

$$q_{giren} = \int_{\partial V_x} v_x - \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{dx}{2} dydz + \int_{\partial V_y} v_y - \frac{\partial v_y}{\partial y} \frac{dy}{2} dx dz + \int_{\partial V_z} v_z - \frac{\partial v_z}{\partial z} \frac{dz}{2} dx dy \quad (2.3)$$
$$q_{çıkan} = \int_{\partial V_x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{dx}{2} dydz + \int_{\partial V_y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial y} \frac{dy}{2} dx dz + \int_{\partial V_z} v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} \frac{dz}{2} dx dy$$

Aradaki fark zeminin süreç sonundaki sıkışmasını gösterir.

$$Dq = \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int v_x + \frac{\partial}{\partial y} \int v_y + \frac{\partial}{\partial z} \int v_z \quad (2.4)$$



Şekil 2.5 Elementer Zemin Küpünde Akım

Burada zeminin ilk hacmi

$$V = V_s (1 + e_0) = dx \times dy \times dz \quad (2.5)$$

ve bu hacmin zamana bağımlı değişimi ise

$$\frac{\partial V}{\partial t} = V_s \times \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.6)$$

Dane hacmini tüm hacim türünden yazıp (2.5) denkleminde yerine koyarsak

$$V_s = \frac{dx \times dy \times dz}{1 + e_0} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{dx \times dy \times dz}{1 + e_0} \times \frac{\partial e}{\partial t}$$

Boşluk oranındaki zamana bağlı değişimi de (2.7) bağıntısından yararlanarak

$$\frac{\partial e}{\partial t} = (1 + e_0) \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (2.8)$$

ifade edilir. Zeminde su hareketini sağlayan hidrolik yük

$$h = \frac{1}{g_w} \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (2.9)$$

olduğundan Darcy yasasının anizotrop ortamda geçerliliği varsayımı ile suyun ortamda hareket hızı yazılabilir.

$$v_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{k_x}{g_w} \frac{\partial u_w}{\partial x} \quad (2.10)$$

$$v_y = \frac{k_y}{g_w} \frac{\partial u_w}{\partial y}$$

$$v_z = \frac{k_z}{g_w} \frac{\partial u_w}{\partial z}$$

Homojen zeminde bu denklemlerin x, y ve z ye göre türevleri alınır (2.8) denklemine yerleştirilerek

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{1+e_0}{g_w} \left(k_x \frac{\partial^2 u_w}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 u_w}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 u_w}{\partial z^2} \right) \quad (2.11)$$

bulunur. Öte yandan, efektif gerilme denkleminde göre boşluk suyu basıncında azalmanın efektif gerilmede aynı miktarda artış oluşturacağı söylenebildiğinden

$$\frac{\partial s'}{\partial t} = - \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (2.12)$$

ifadesi yazılabilir. Buradan da çıkarak efektif gerilmedeki artışın getireceği boşluk oranı azalmasının sistemden çıkan boşluk suyu hacmine eşit olduğu gösterilebilir:

$$\frac{\partial e}{\partial t} = - \frac{\partial s'}{\partial t} \quad (2.13)$$

zemin için sıkışabilirliğin a_v gibi bir ‘sıkışma katsayısı’ ile ifade edilebileceğini kabul etsek

$$- \frac{\partial e}{\partial s'} = a_v \quad (2.14)$$

bu tarifi (2.14) e yerleştirerek

$$\frac{\partial e}{\partial u_w} = a_v \quad (2.15)$$

çıkar. Cebirsel olarak da

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial e}{\partial u_w} \cdot \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (2.16)$$

yazılabileceğinden, sıkışmanın zamana bağlı olarak ifadesi yukarıdaki eşitliklerden yararlanarak

$$\frac{\partial e}{\partial t} = a_v \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (2.17)$$

biçiminde belirir. (2.11) denklemini kullanarak boşluk suyu basıncının sönüm hızını gösterirsek

$$\frac{\partial u_w}{\partial t} = \frac{1+e_0}{a_v} \left(\frac{\partial^2 u_w}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 u_w}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 u_w}{\partial z^2} \right) \quad (2.18)$$

bu denklemde zeminin fiziksel özelliklerini “Konsolidasyon katsayısı” ile ifade edersek

$$c_v = \frac{k(1+e_0)}{a_v \gamma_w} \quad (2.19)$$

genel konsolidasyon denklemi belirecektir:

$$c_{vx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c_{vy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + c_{vz} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (2.20)$$

Terzaghi teorisinde suyun sadece bir boyutta(düşey) hareket ettiği kabul edildiğine göre denklem basitleşerek

$$c_{vz} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (2.21)$$

biçimine dönüşmektedir ve “Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon denklemi” olarak bilinir.

2.2.3 Konsolidasyon Oranın Hesabı

Bir boyutlu konsolidasyonun diferansiyel eşitliği analizinde, zeminin izotrop, tabakaların paralel, sıcaklığın sabit olduğu kabulüne göre doğrudur.

Denklem 2.21’deki u değerinin zamana ve derinliğe bağlı olduğunu biliyoruz. $u=f(z, t)$ fonksiyonun aşağıdaki sınır şartları altında u ’nun değeri yazılır.

$$t = 0 \quad \text{için} \quad z = z \quad \text{de} \quad u = u_0 = Ds = \text{sabit}$$

$$t = \infty \quad \text{için} \quad z = z \quad \text{de} \quad u = 0$$

$$t = t \quad \text{için} \quad z = 0 \quad \text{da} \quad u = 0$$

$$z = H \quad \text{da} \quad u = 0$$

Bu şartlar altında diferansiyel denklemin çözümü Fourier serileri yöntemiyle elde edilebilir. Bu halde,

$$u = \frac{4}{p} \sum_{N=1}^{\infty} \frac{1}{2N+1} \sin \frac{(2N+1)\pi z}{2H} e^{-\frac{(2N+1)^2 \pi^2 T_v}{4}} \quad (2.22)$$

ifadesi bulunur. Buradaki T_v bağımsız değişkeni gösterir ve adına zaman faktörü denir.

$$T_v = \frac{c_v t}{H^2} = \frac{k}{m_v \gamma_w \gamma H^2} \quad (2.23)$$

m_v ise hacimsel sıkışma katsayısı olarak tarif edilir.

$$m_v = \frac{Dh/h}{Ds'} = \frac{De/(1+e)}{Ds'} = \frac{a_v}{1+e_0} \quad (2.24)$$

Şekil 2.3 de çeşitli durumlarda konsolidasyon olayı anlatılmıştı. Konsolidasyon hızını ve konsolidasyon yüzdesi (U)

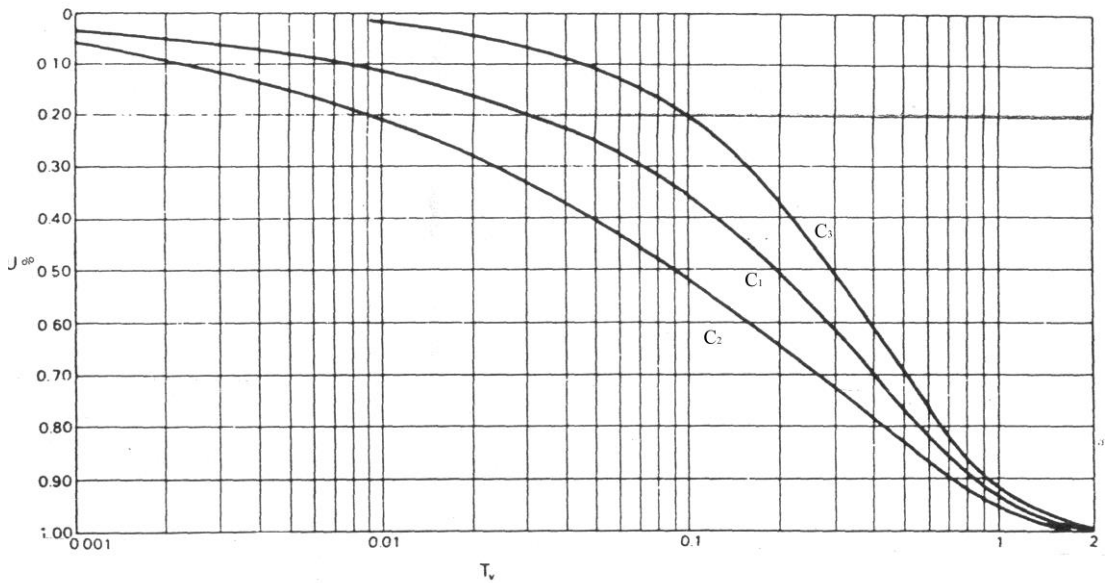
$$U\% = \frac{S}{S_{\infty}} \quad (2.25)$$

hesap etmek için bazı kabuller yapılır;

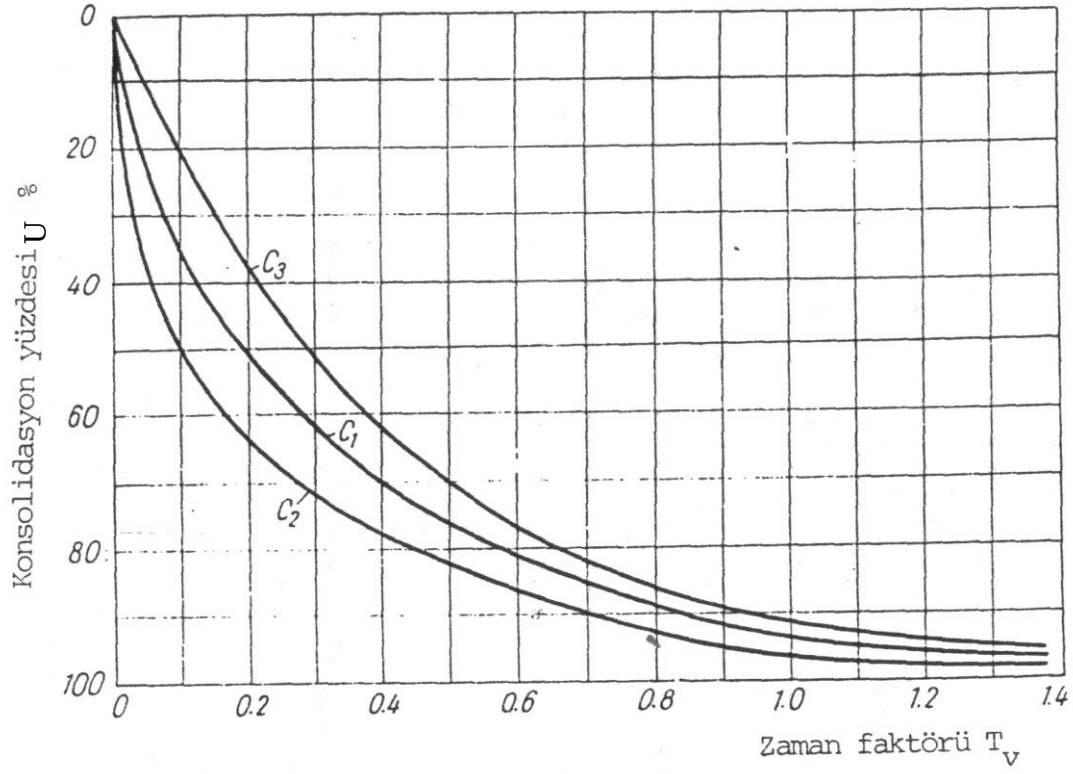
1. k permeabilite katsayısı konsolidasyonun her safhasında ve konsolidasyona maruz tabakanın her noktasında aynıdır.
2. m_v hacimsel sıkışma katsayısı konsolidasyonun her safhasında ve tabakanın her noktasında aynıdır.
3. Zemin içindeki su, sadece düşey doğrultuda hareket ederek dışarı atılır.
4. Sıkışma için geçen zaman tamamen zeminin permeabilitesinin düşüklüğünden ileri gelir.

Şekil 2.4'te gösterilen durumlar için $U(\%)-T_v$ grafiği çizersek Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'deki grafikleri elde ederiz. C_1 , C_2 , C_3 eğrileri sırasıyla Şekil 2.4'deki a, d, f ile gösterilen çeşitli drenaj ve yükleme durumlarına tekabül eder[7].

Her açık tabaka için U konsolidasyon yüzdesi ve T_v arasındaki bağıntı de sıfır izokronunun eğimine bağlı olmaksızın C_1 eğrisinden bulunabilir. Bu bakımdan C_1 eğrisi Şekil 2.4 a, b, c, ve e de gösterilen konsolidasyon problemlerinde kullanılabilir.



Şekil 2.6 Zaman Faktörü Ve Konsolidasyon Yüzdesi Arasındaki Bağntı



Şekil 2.7 Logaritmik Ölçekte $U(\%)$ - T_v İlişkisi

Zaman faktörü T_v konsolidasyon yüzdesi U ya bağlı olarak çözülmüş ve pratiklik sağlaması için tablolaştırılmıştır Tablo 2.1 deki sonuçlar C_1 eğrisine göre verilmiştir

Tablo 2.1 T_v ile U Arasındaki İlişki

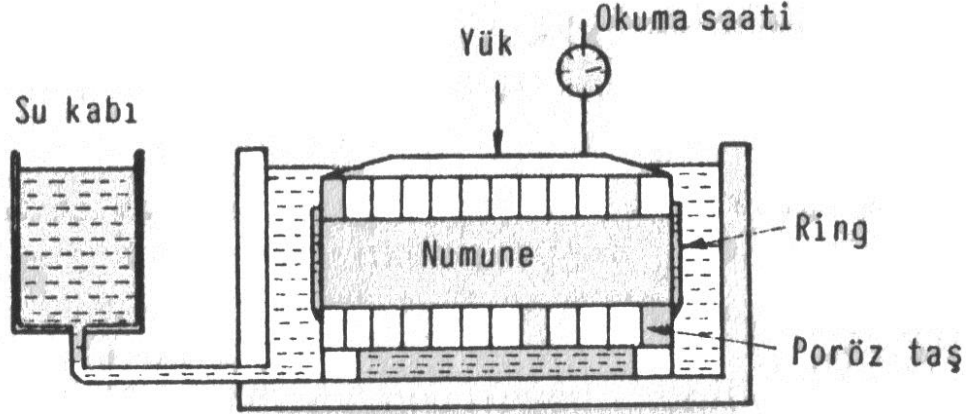
$U\%$	T_v	$U\%$	T_v
0	0	55	0,238
10	0,008	60	0,287
15	0,018	65	0,342
20	0,031	70	0,405
25	0,049	75	0,477
30	0,071	80	0,565
35	0,096	85	0,684
40	0,126	90	0,848
45	0,159	95	1,127
50	0,197	100	∞

2.3 Ödometre Deneyi

Deney sistemi (Şekil 2.8), konsolidasyonun tek boyutlu olduğu kabulüne göre hazırlanan ödometre diye isimlendirilen bir sistemdir.

2.3.1 Deney sistemi ve deneyin yapılışı

Ödometre sisteminde numune rijit bir ring içine yerleştirilir, alt ve üst kısmına poroz taş yerleştirilerek aksel yüklem yapılır. Deney hücresi alttan bir su kabına bağlıdır. Böylelikle numunenin suya doygun kalması sağlanır.



Şekil 2.8 Ödometre Deney Sistemi

Deneyde su çıkışı alttan ve üstten serbesttir ve ringden dolayı yanıl su çıkışı ve deformasyon engellenmiştir, yani tek boyutlu konsolidasyon söz konusudur. Deneye başladıktan 2 dakika sonra hücreye su konur. Yükleme 0,25 – 0,50 – 1,00 – 2,00 – 4,00 – 8,00 kg/cm² basınçlarla yapılır. Her yüklemeden sonra oturmanın sönümlenmesi beklenir, bu genellikle 24 saat civarında olduğu kabul edilir. Okuma saatinden 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1^s, 2^s, 4^s, 8^s, 24^s aralıklarla okumalar alınır.

Deney sonu su muhtevası bulunur 2.26 bağıntısından e_n bulunur.

$$e_n = w_n g_s \quad (2.26)$$

Deney sırasında aldığımız okumalar ve e_n kullanılarak e_0 2.27 bağıntısından bulunur.

$$e_0 = e_n + \frac{DH_t}{H_0} (1 + e_0)$$

$$e_0 = e_n + \frac{DH_t}{H_0} + e_0 \frac{DH_t}{H_0}$$

$$e_0 \left(1 - \frac{DH_t}{H_0} \right) = e_n + \frac{DH_t}{H_0} \quad (2.27)$$

$$e_0 = \frac{e_n + \frac{DH_t}{H_0}}{1 - \frac{DH_t}{H_0}}$$

Bulduğumuz e_0 değeri 2.24 de yerine konularak m_v katsayısı bulunabilir. Ayrıca $\log P$ - e_0 diyagramını çizmek için bulduğumuz e_0 'dan e değerleri bulunup çizilir.

3. ÜÇ BOYUTLU KONSOLIDASYON DENEY SİSTEMİ

Söz konusu deney sistemiyle amaç zeminlerin laboratuarda, arazi koşullarına benzer şekilde konsolide edilip yüklenmesi ve bu sayede, oturmaların ve zemin taşıma gücünün arazi koşullarına uygun şekilde laboratuarda deneysel olarak belirlenmesidir. Laboratuarda zeminlerin, üst başlık ve askı sistemi vasıtasıyla arazide mevcut jeolojik gerilmenin zemin numunesine uygulanabilmesi, yükleme pistonları sayesinde numunenin sadece orta kısımdan yüklenmesi ve bu sayede çevre sınır koşullarının ring kullanılmaması nedeniyle araziyle benzeşiminin sağlanmış olması gibi, arazi koşullarına olabildiğince uygun ve benzer koşullar sağlanarak yüklenmeleri sonucunda hem zeminlerin taşıma güçleri, hem de bu yükleme koşulları altında konsolidasyon özellikleri incelenecek ve klasik ödometre deney sonuçları ile karşılaştırma yapılabilecektir.

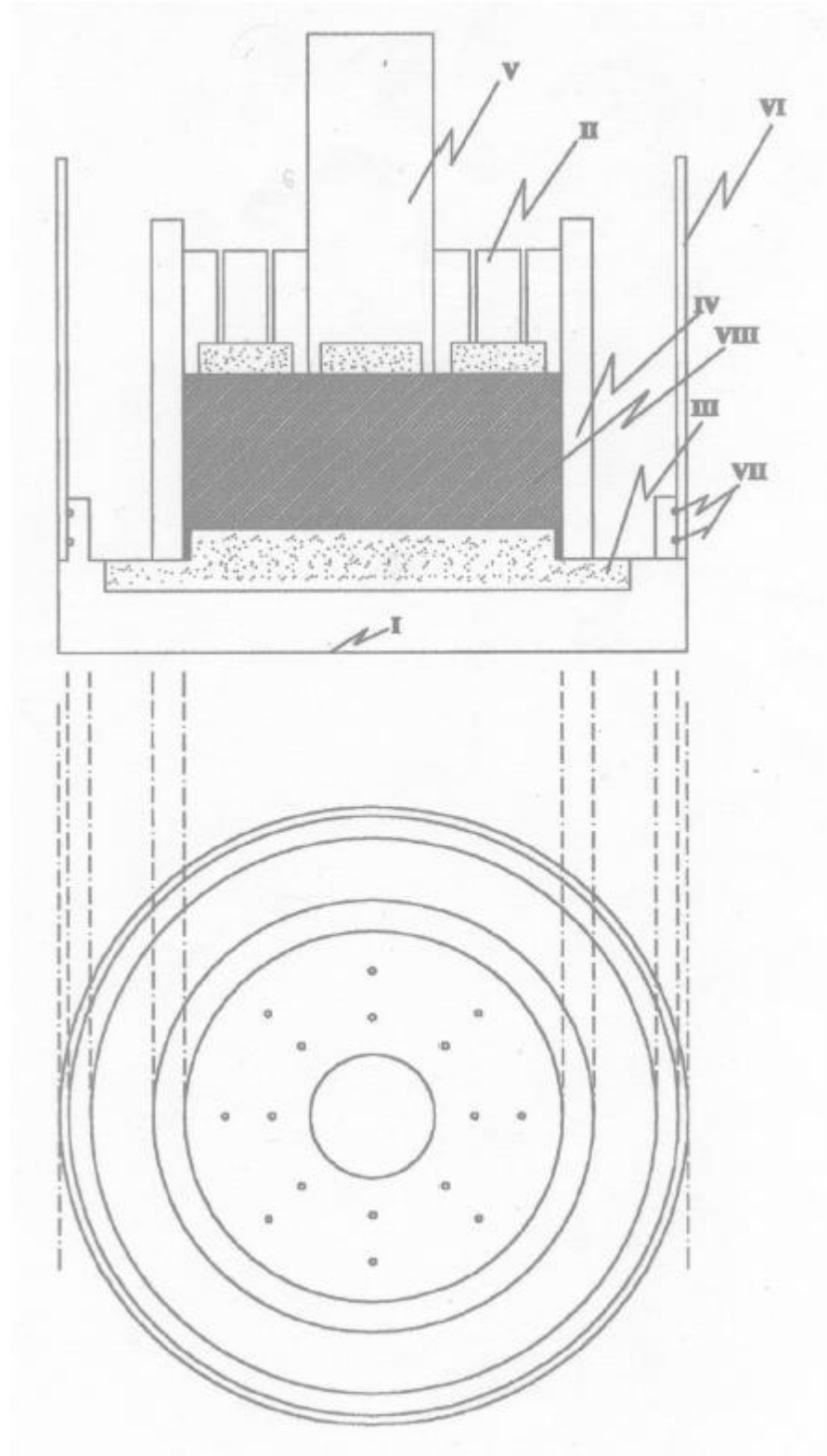
3.1 Deney Sisteminin Yapım Aşamaları

Tezin konusu olan zemin taşıma gücü ve oturmaların tayini için geliştirilen “Üç boyutlu konsolidasyon deney sistemi” Sayın Doç. Dr. Hüseyin Yıldırım tarafından TR 1999 01299B nolu patent numarasıyla Türk Patent Enstitüsü’nden patenti alınmıştır. Deney sisteminin üretime geçirilebilmesi için TÜBİTAK’a başvuruda bulunulmuş ve Nisan 2004 tarihinde gerekli olan maddi destek sağlanmıştır. Bundan sonraki aşama deney sisteminin hücre kısmı, yükleme pistonları, ringler, poroz taşlar Japonya’da KYODO SEIKI Co.,Ltd’ye yaptırılmıştır. Kaide kısmı, moment kolları Türkiye’de Kartal End. Meslek Lisesi’ne yaptırılmış, kullanılacak olan ağırlıklar Türkiye’de satın alınmıştır. Deney sisteminin Japonya’da yapılan parçalar Ocak 2005 tarihinde Türkiye’ye gelmiş ve Şubat 2005 tarihinde Türkiye’de yaptırılan kaideni üzerine kurularak işletilir hale getirilmiştir.

3.2 Deney Sistemi

Zeminin taşıma gücü ve oturmaların tayini için tasarlanan deney sistemi Şekil 3.2’de kesiti ve planı verilen hücre, konsolidasyon hücresine benzemektedir ve konsolidasyon hücresine benzer kaidenin üzerine oturtulmuştur. Deney sisteminde

genel olarak 5 farklı yükseklik ve 5 farklı çap olacaktır. Kullanılan metal parçaların tümü paslanmaz çelikten imal edilmiştir.



şekil 3.2 Hücre Kesit Ve Planı

şekil 3.2 de verilen numunenin yerleřtirildiėi hücre řu parçalardan oluşmaktadır.

I – Alt plaka

II – Üst başlıklar. (20-30-40-50-60 mm delik açıklıklı olarak imal edilmiştir. üst başlıklarda drenajın sağlanabilmesi için altlarında filtre taşı yerleştirilmiş üst kısımlarında da 2 mm açıklıklı delikler açılmıştır.)

III – Filtre taşı (Zemin numunesinin alt drenajının sağlanabilmesi için.)

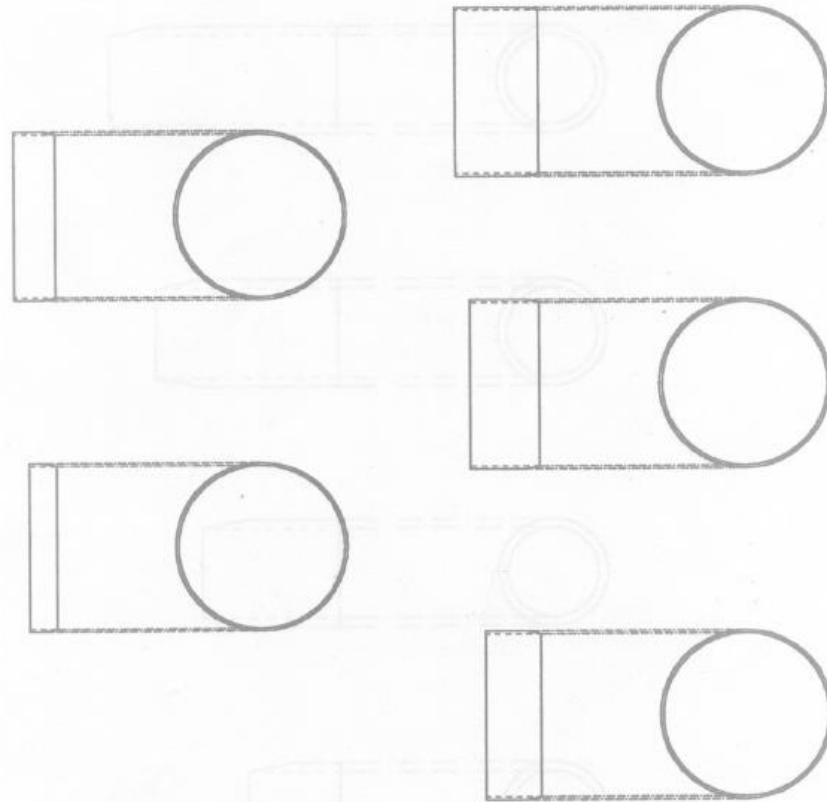
IV – Dış ring

V – Yükleme pistonları. (20-30-40-50-60 mm çaplı olarak imal edilmişlerdir. Altlarında drenajın sağlanabilmesi için filtre taşı konulmuştur.)

VI – Plastik silindir.

VII – Sızdırmazlık o-ringleri

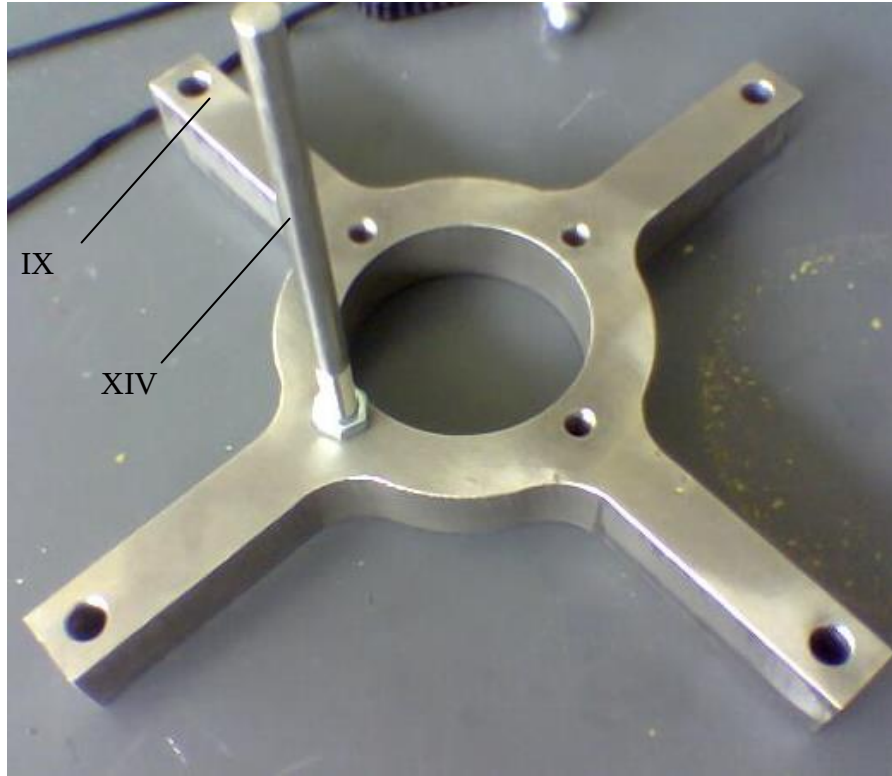
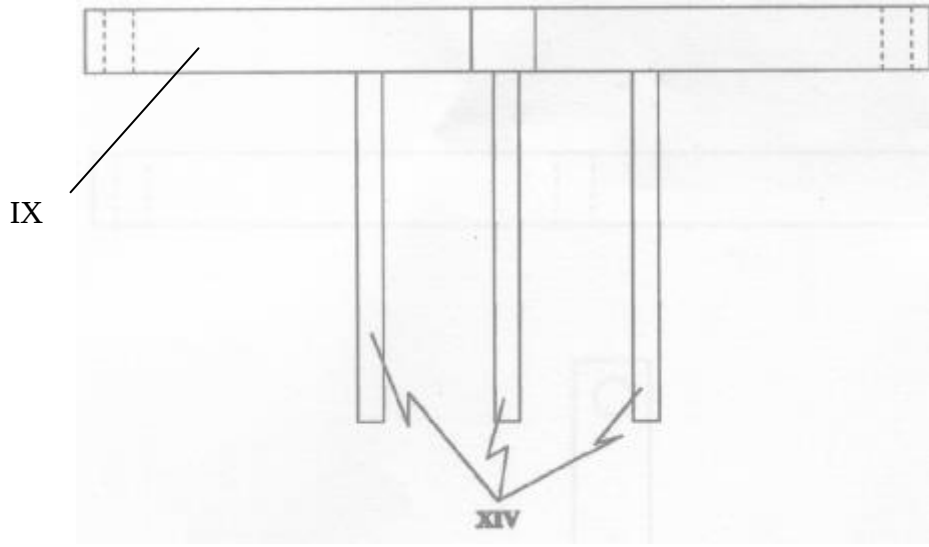
VIII – Zemin numunesi.



Şekil 3.3 120 mm Çaplı Ringlere Ait Plan Ve Kesitler

Şekil 3.3 de 120 mm çaplı numuneyi hazırlamak için kullanılacak 20-30-40-50-60 mm yükseklikteki ringlere ait plan ve kesitler verilmiştir.

Numuneye jeolojik yükün uygulanabilmesi için tasarlanan üst başlık yükleme ünitesi ve üst başlık yükleme ünitesi ayakları (Şekil 3.4);



Şekil 3.4 Üst Başlık Yükleme Ünitesi ve Ayakları

Ayrıca yeni geliştirilen deney sisteminde klasik konsolidasyon deneyi yapılabilmesi için ayrıca yapılan klasik konsolidasyon deneylerinde ϕ ve yükseklik etkisini araştırmak için 5 farklı yükseklikte (20-30-40-50-60 mm) ve 5 farklı ϕ ta (20-30-40-50-60 mm) ring bulunmaktadır.



Şekil 3.5 Değişik Çapta ve Yükseklikte Klasik Konsolidasyon Ringleri

Zemin taşıma gücünü laboratuarda deneysel olarak belirlenmesi ve numuneyi sınırlayıcı ring (Şekil 3.5) olmaksızın oluşan oturmaların elde edilmesi ve bu değerlerin klasik konsolidasyon sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi ve sınır koşullarının oturma üzerine etkisinin ortaya konulabilmesi amacıyla tasarlanmış olan “3 boyutlu konsolidasyon deney sistemi” esas olarak bir hücre ile numuneye arazide etkisinde bulunduğu jeolojik yükün uygulanabildiği farklı delik açıklıkları olan üst başlıklar ve askı mekanizması ile farklı çaplara sahip olan yükleme pistonlarından oluşmaktadır. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 Yükleme Pistonları ve Üst Başlıklar

Deney sisteminde farklı çapta numuneler kullanıldığı için uygulanmak istenen gerilmeleri moment kolu üzerinde tek bir noktadan vermek istediğinde 20 mm ile 60 mm çaplı numuneler arasında kullanılacak yükler çok farklı ve yükler arasındaki fark

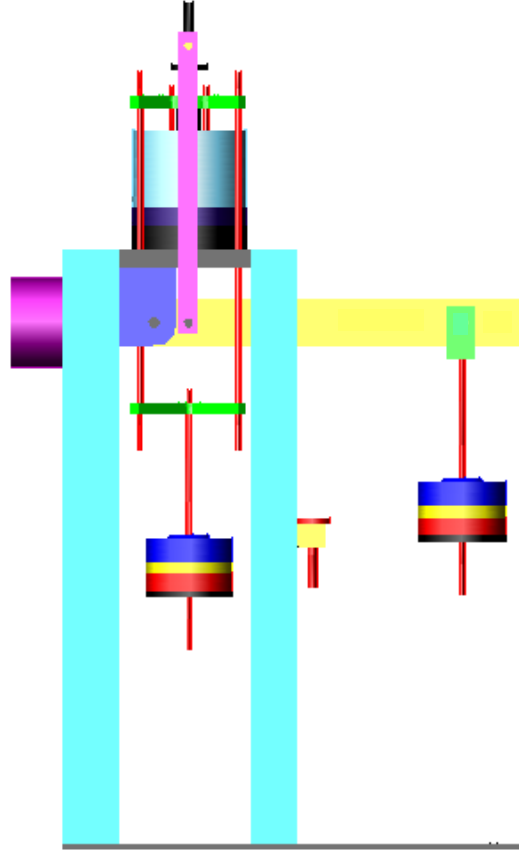
fazla olduğu için moment kolu üzerine bir cetvel konuldu ve ağırlıkların konulduğu askı çubuğu moment kolu üzerinde hareket edebilecek şekilde imal edildi (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 Deney Sisteminin Son Hali

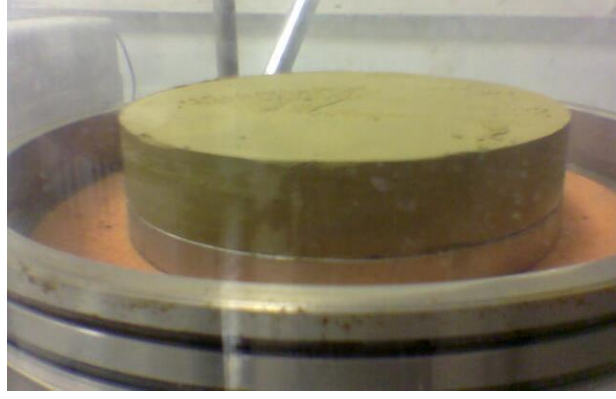
Deney sisteminin ilk tasarlanan halinde jeolojik yük askı sistemi yardımıyla kaidenin ortasından yüklenmesi planlanıyordu(Şekil 3.8) ancak jeolojik yükü verebilmek için kullanılması gereken ağırlıklar hesaplandığında çok yüksek değerler çıktığı için jeolojik yükünde moment kolu yardımıyla verilmesin karar verildi. Bunun için ikinci

bir moment kolu tasarlandı ve aynı şekilde yüklerin konulduğu çubuk kol üzerinde hareket edecek şekilde imal edildi ve deney sistemi nihai halini almış oldu.



Şekil 3.8 Sistemin Yapılması Düşünülen İlk Hali

Şekil 3.2 de görülen deney hücresi planda dairesel kesite sahip olup, dıştan dışa 200 mm'dir. Hücre 20 mm kalınlığında paslanmaz çelikten imal edilmiş bir alt plaka (Şekil 3.2 – I) üzerine oturtulacaktır. Hücre kesitinde taralı olarak gösterilen zemin numunesi (Şekil 3.2 – VIII) çapı 120 mm olup yüksekliği değişkendir. Şekil 3.9 da Deney sistemi işletilir hale geldikten sonra yapılan deneyde kullanılan numune görülmektedir numunenin yüksekliği 20mm çapı 120 mm'dir. Zemin numunesi, çelik alt plaka içine yerleştirilecek olan bir filtre taşı(Şekil 3.2 - III ve Şekil 3.10) üzerine oturtulacak, böylece yükleme sırasında numune içerisindeki suyun alttan drenajı sağlanmış olacaktır. Filtre taşın dışında paslanmaz çelikten imal edilmiş, 10 mm yüksekliğe 2,5 mm kalınlığında dış çelik ringin yerleştirilirken filtre taşına zarar vermesini önlemek için rijit bir dış ring yerleştirilmiştir. Filtre taşın orta kısmında yüksekliği 20 mm, hücre alt plakası içerisine oturtulan kısmın ve dış çapı 170 mm dir.



Şekil 3.9 Hazırlanan 120 mm Çaplı Deney Numunesi



Şekil 3.10 Alt Filtre Taşı

Hücrenin dış çevresi, sızdırmazlık ringleri (Şekil 3.2 - VII) ile alt plakaya geçişli olarak yerleştirilecek olan plastik silindirden (Şekil 3.2 - VI) oluşacaktır. Bu plastik silindir içerisi su ile doldurulacak, konsolidasyon ve yükleme sırasında numunenin su içerisinde kalmış olması sağlanacaktır. İlk aşamada, zemin numunesinin alındığı derinlikteki jeolojik yük, üst başlık (Şekil 3.2 - II) ve yükleme pistonu (Şekil 3.2 - V) yardımı ile numuneye uygulanacaktır. Daha sonra yükleme pistonu yardımı ile yükleme işlemine devam edilecektir.

Şekil 3.6 da numuneye jeolojik yükün uygulandığı üst başlık ünitesi gösterilmiştir. Bu ünite paslanmaz çelikten imal edilecek, yükleme sırasında numunenin içerisindeki suyun drenajına imkan sağlanması bakımından numune ile temas eden alt kısmında filtre taşı olacak, içerisinde düşey delikler olacaktır. Numunenin orta kısımdan yüklenebilmesinin sağlanabilmesi ve sınır koşullarının zeminin konsolidasyonuna etkilerinin araştırılabilmesi bakımından üst başlık 5 farklı delik açıklığına (20-30-40-50-60 mm) sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 3.4 de tamamen çelikten imal edilecek olan üst başlık ve askı yükleme mekanizması gösterilmiştir. Bu yükleme mekanizması farklı yükseklikler için değişebilen yüksekliğe sahip 4 adet ayak (Şekil 3.4 - XIV) vasıtasıyla üst başlık üzerine oturtulacak ve jeolojik yükü numuneye uygulayacaktır. Ağırlıklar, askı çubukları ile üst kısım ile bağlantısı sağlanmış olan moment kolu üzerine yerleştirilecektir.

Şekil 3.6 da numune üzerine aynen ödometre deney sisteminde olduğu gibi bir kaldırma sistemi vasıtasıyla yüklemenin yapılacağı ve yine çelikten imal edilecek olan yükleme pistonları görülmektedir. Silindirik yükleme pistonlarının yükseklikleri 120 mm dir. Çapları ise yükleme başlığı ortasındaki açıklık çapına uygun olmak üzere (20-30-40-50-60 mm) olarak tasarlanmıştır. Drenajın sağlanabilmesi bakımından yükleme pistonlarının numuneye oturan alt kısımlarında bir filtre taşı ve orta kısımlarında düşey konumda delik mevcuttur. Her bir pistonun ağırlığından dolayı oluşturdıkları gerilmeler hesaplanmış ve oluşan bu gerilmeler daha sonra yükleme sırasında konulacak ağırlıklar hesaplanırken düşülmüştür.

Şekil 3.2 - I de verilen dairesel kesitli hücre alt plakası çelikten imal edilmiştir, 200 mm çapında, 20 mm kalınlığa sahiptir.

Şekil 3.11 de numuneyi dışarıdan çevreleyen rijit çelik dış ring kesit ve planı görülmektedir. Bu ringin kalınlığı 10 mm, iç çapı 120 mm, yüksekliği ise 110 mm dir.



Şekil 3.11 Rijit Dış Ring

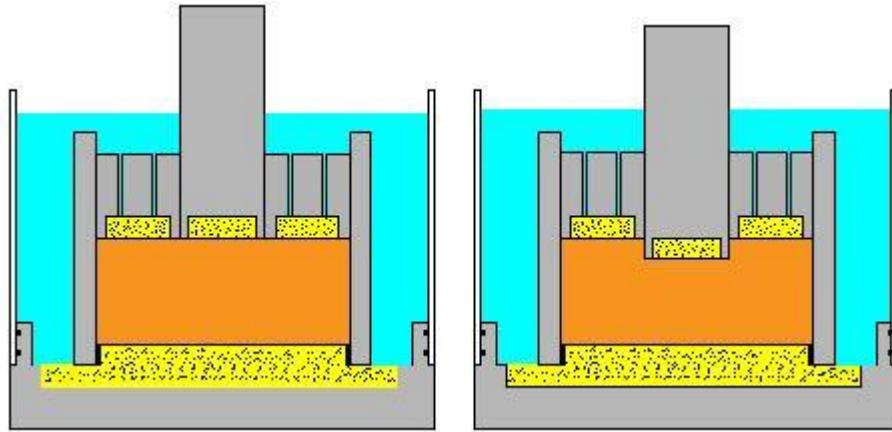
3.3 Deney Sisteminin Kurulması

Kullanılacak yeni deney sisteminde ringsiz yapılacak olan konsolidasyon deneylerinde klasik konsolidasyon sisteminde hazırlandığı gibi hazırlanır.

Ringsiz yapılacak deneylerde ise değişik yüksekliklerde ($H=20-30-40-50-60$ mm) ve 120 mm çapında zemin numunesi ringler (Şekil 3.3, Şekil 3.12) vasıtasıyla hazırlanacak ve hücredeki yerine yerleştirilecek ve birinci aşamada zemin profili ve araziden alındığı derinlik dikkate alınarak hesaplanacak gerilmeler altında yükleme pistonu ve üst yükleme ünitesine eşit yük (arazideki jeolojik yük) uygulanarak konsolide edilecektir. Bu ilk konsolidasyon işleminde amaç arazideki gerilme koşullarını sağlamaktır. Bu işlem tamamlandıktan sonra ikinci yükleme aşamasına geçilecektir. Bu aşamada üst yükleme ünitesinden askı sistemi yardımıyla uygulanan jeolojik yük sabit kalacak, sadece yükleme pistonu aynen ödometre deneyinde olduğu gibi benzer biçimde bir kaldıra sistemiyle yüklenecektir. Bu sırada numunenin seçilen yükleme pistonunun dik kesit alanına eşit orta kesimi yüklenmiş olacak (Şekil 3.13), böylece numunenin yükleme sırasında yanal deformasyon yapmasına olanak sağlanacaktır.



Şekil 3.12 Farklı Yükseklikte ve 120 mm çaplı Ringler



Şekil 3.13 Deneyden Başlamadan Önce ve Sonra Numunenin Görünümü

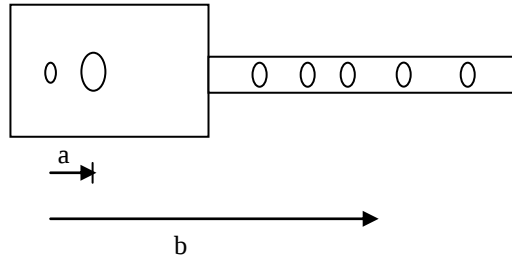
Bu araştırmalar farklı çap ve yüksekliklere sahip numuneler kullanılarak ve orta kısımda farklı çapta alanlar yüklenerek yapılacak ve zeminin taşıma kapasitesi araştırılacaktır. Ayrıca aynı çapta ring içerisine alınmış olan numunelerde de

yükleme deneyleri tekrarlanacak ve yanal deformasyonun engellenmesinin konsolidasyona etkisi incelenmiş olacaktır.

Tasarlanmış olan bu deney sistemi sayesinde zemin taşıma kapasitesi doğrudan laboratuvarda deneysel olarak belirlenebilecektir. Ayrıca yükleme sırasında zeminde meydana gelecek oturmalar da kontrol edilebilecektir. Bu sayede arazi deneylerine göre daha ekonomik ve daha kolay olan laboratuvar deneyi sonuçlarından elde edilecek zemin taşıma kapasitesi yapı temellerinin tip seçiminde, projelendirilmesinde ve boyutlandırılmasında kullanılacaktır.

3.4 Deney Sistemine Ait Yapılan Hesaplar ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney sistemi kurulduktan sonra yükleme aşamasında bize gerekli olan, istenilen gerilmeler için farklı çaplarda ne kadar yük yükleyeceğimizdir.



Şekil 3.14 Moment Kolumun Boyutları

Şekil 3.14’de görülen şema üzerinde a’nın değeri 60 mm’dir, bize gerekli olan b uzaklıkları ve belirli gerilmelerde kullanılması gerekli yükler Tablo 3.1’de verilmiştir. Hesaplanan ağırlıklarda piston ağırlığı da dikkate alınmıştır.

Tablo 3.1 Kullanılması Gereken Yükler ve b Uzaklığı

Gerilme(kg/cm ²)	Çap (mm)				
	20	30	40	50	60
0,25	0,09	0,18	0,26	0,35	0,44
0,50	0,23	0,45	0,68	0,90	1,13
1,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
2,00	1,05	2,10	3,15	4,20	5,25
4,00	2,15	4,30	6,45	8,59	10,74
8,00	4,35	8,69	13,04	17,38	21,73
16,00	8,74	17,48	26,23	34,97	43,71
b (cm)	34,31	38,59	45,74	53,60	61,75

burada;

$$\frac{\pi D^2}{4} g_1 = \frac{\pi (D + 2\Delta_r)^2}{4} g_2 \quad (3.1)$$
$$D^2 g_1 = (D^2 + 4 \cdot \Delta_r^2 + 4 \cdot D \cdot \Delta_r) g_2$$

Δ_r eşitliğin bir tarafına çekildiğinde;

$$\Delta_r = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{h_1}{h_2}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

bulunur.

3.5 Deney Sistemiyle Yapılması Planlanan Çalışmalar

Üç boyutlu konsolidasyon deney sistemiyle asıl amaçlanan zeminlerin laboratuarda arazi koşullarına uygun biçimde konsolide edilip yüklenmesi ve bu sayede, oturmaların ve zemin taşıma gücünün arazi koşullarına uygun bir şekilde, laboratuarda deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda yeni deney sistemiyle yapılması düşünülenleri şu şekilde sıralanabilir;

1. Yeni deney sisteminin sınır şartlarıyla ilgili teorik araştırmalar ve bu bağlamda K_0 koşulunun incelenmesi ve K_0 değerinin belirlenmesi.
2. Mevcut konsolidasyon deney sistemi kullanılarak kıyas deneyleri yapılması ve bu sayede, literatürde kabul gören klasik konsolidasyon deneyleri ile ilişkisinin belirlenmesi.
3. Zemin taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla laboratuarda yapılan izotropik ve anizotropik (K_0) üç eksenli basınç deneyleri kullanılarak kıyas deneylerinin yapılması ve geliştirilen yeni deney sistemi sonuçlarıyla üç eksenli deney sonuçları arasında korelasyonlar geliştirilmesi.
4. Numune geometrisinin deney sonuçları üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve bu şekilde olası optimum numune geometrisinin saptanması (Etkilenme sınır çap oranının belirlenmesi).

Sıralanan maddelerin gerçekleşmesi için ise belli bir program dahilinde deneyler yapılacaktır. İncelenmesi planlanan ilk temel zemin özelliği, zeminin oturma

davranışdır. Bunun için belirlene ve kontrol edilebilen özelliklere sahip numuneler üzerinde bir taraftan yeni üretilen deney sistemi üzerinde deneyler yapılacak, diğer yandan klasik konsolidasyon deneyleri, üç eksenli basınç deneyleri, ve anizotropik (K_0) üç eksenli basınç deneyleri yapılacaktır. Klasik ödometre deneyi sonucunda elde edilen ve zeminlerin oturma miktarını ve belirli miktarda oturmanın gerçekleşmesi gerekli süreyi veren oturma parametreleri olarak belirlenen hacimsel sıkışma katsayısı ve sıkışma indisi gibi değişkenler, aslen deney sonucundan çıkarılan tipik gerilme-şekil değiştirme ilişkisine ait deformasyon modülleridir. Ancak bu modüller diğer iki boyutta hareketin engellendiği sınır şartları altında elde edilmektedir. Üç eksenli basınç deneyleri kullanılarak elde edilen oturma parametreleri ise, özellikle anizotropik (K_0) gerilme altında yürütülen üç eksenli basınç deneyi durumunda, zeminin arazideki doğal haline uygun sonuçların elde edilmesini olanaklı kılmaktadır. Kullandığımız yeni üç eksenli konsolidasyon deney sistemi ise klasik ödometre deney sistemi kadar basit ve kolay, anizotropik üç eksenli basınç deneyi kadar da gerçek koşullara sahiptir. Bu anlamda tüm deney sistemleri kullanılarak eş numuneler üzerinde yapılacak oturma deneyleri sonucunda elde edilen hacimsel sıkışma katsayısı, sıkışma indisi ve konsolidasyon katsayısı gibi belli başlı oturma parametrelerinin birbiriyle ilişkilerinin belirlenmesi ve yeni deney sistemi ile elde edilen sonuçların bu tabloda nereye yerleştirileceğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yeni deney sistemi ile tayini mümkün olan bir diğer zemin davranış özelliği olan taşıma gücünün laboratuarda belirlenmesi için halihazırda üç eksenli basınç deneyleri kullanılmakta olan en yaygın deney sistemidir. Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen ve mukavemet parametreleri olarak adlandırılan içsel kayma mukavemeti açısı ile görünen kohezyon değerlerinin girdi olarak kullanıldığı tipik taşıma gücü ifadeleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri, yeni deney sistemiyle doğrudan belirlenen taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılacaktır.

Yapılan tüm çalışmaların son aşaması ise, elde edilen tüm deneysel çalışmaların sonuçları, yeni deney sisteminin sınır koşullarıyla ilgili teorik çalışmalarla birlikte ele alınarak uluslararası platforma taşınacak ve yeni deney sistemi bilimsel tartışmaya açılacaktır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney sonuçlarını değerlendirirken bilinmeyenleri azaltmak amacıyla kullanılan numunenin indeks özelliklerini bilmemiz gerekmektedir. Bu amaçla homojen bir malzemeyle çalışmak gerekmektedir bunun için killere çalışmaya karar verildi. Öncelikle İstanbul içinde bulabileceğimiz killere araştırıldı ve ilk olarak daha önceden sondaj yapılmış Güngören’de bir arazide Güngören kili bulundu. Bulunan kil laboratuvarında 200 nolu elekten elendi kıvam limitleri ve hidrometri analizi yapıldı. Bulunan bu kille çalışmalara başlandı ve Rowe hücresinde 1 kg/cm² basınç altında numune hazırlandı, hazırlanan malzeme nem odasında muhafaza edilmeye başladığında malzemede bir takım değişiklikler olmaya küflenmeye başladı. Malzemenin organik kil olmasından dolayı sonuçların değerlendirilmesinde sorunlar çıkacağı için Güngören kili kullanılmaktan vazgeçildi.

Daha sonra laboratuvarında bulunan daha önce başka bir tez için kullanılmış malzemenin killi malzeme olmasından dolayı bu malzemeyle çalışmaya karar verildi, malzeme 200 nolu elekten elenip kıvam limitleri, hidrometri analizi yapıldı ve dane birim hacim ağırlığı belirlendi. Kullanılan malzemeye ait indeks özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Malzemenin indeks özellikleri

γ_s t/m ³	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	W _L	W _P	W _I
2.70	-	-	60	40	85	34	51

4.1 Giriş

Deneyler iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada bilinen ön konsolidasyon basıncı altında Rowe hücresinde numune hazırlanması, ikinci aşamada ise hazırlanan büyük numuneden numuneler alınarak değişik çaplarda odometre deneyinin yapılması ve yeni deney sistemiyle deneylerin yapılmasıdır.

4.2 Rowe Hücresinde Numune Hazırlanması

Öncelikle Rowe hücresinde büyük numune hazırlandı hazırlanan büyük numuneden numuneler alınarak aynı anda 50 mm ve 75 mm çaplı numuneler ile ödometre sistemi kuruldu. Bu şekilde 3 set halinde deneyler yapıldı.

Rowe hücresi (Şekil 4.1), iç çapı 254 mm, dış çapı 336 mm ve yüksekliği 160 mm olan büyük bir ring, alt başlık, yüksekliği arttırmak için iki adet ring ve yükleme mekanizmasına sahip üst başlıktan ibaret bir deney sistemidir.



Şekil 4.1 Rowe Hücresi

Rowe hücresinde malzeme hazırlarken dikkat edilecek husus katı malzemenin yani kilin likit limitinin iki katı su konulması gerekmektedir. Rowe hücresinin tabanına filtre kağıdı konulur, oluşturulan viskoz numune Rowe hücresine boşaltılır. Poroz metal levha altına fitre kağıdı hafif ıslatılarak konulur (malzemenin fitre taşıma tıkanmasını önlemek amacıyla) numune üzerine poroz metal levha yerleştirilir ardından, kombine halde bulunan yükleme pistonlu, körüklü üst başlık ile Rowe hücresi kapatılır. Körüğün içine üst kapaktaki iki drenaj deliğinden basınç uygulanır.

Burada körüğün açılmaya başlaması, numunenin konsolidasyona başlamasını sağlar. Alt başlıkta bulunan iki drenaj deliği ise su çıkışını gerçekleştirir. Yükleme aynı ödometre deneyinde olduğu gibi 0,25-0,50-1,00 kg/cm² yükleme kademeleriyle yükleme yapıldı, her yükleme kademesine su çıkışının durduğu yani konsolidasyonun durduğu zaman son verildi ve bir yüklemeye geçildi sonuçta malzeme 1,00 kg/cm² ile konsolide edilmiş. Rowe hücresi numunesinin daha geniş yüzey alanına sahip olması nedeniyle, konsolidasyon hızlanmaktadır. Elde edilen numunenin tam anlamıyla homojen olduğu söylenebilir.

4.3 Klasik Konsolidasyon Deneyleri

Ödometre’de numune çapının etkisini bulmak amacıyla 50 ve 75 mm çaplı ringlerle deneyler yapıldı.

İlk seri deneylerde 4 adet 50 mm çaplı 2 adet 75 mm çaplı toplam 6 adet deney yapılmıştır.

İkinci seri deneylerde 5 adet 50 mm çaplı 2 adet 75 mm çaplı toplam 7 adet deney yapılmıştır.

Üçüncü seri deneylerde 2 adet 50 mm çaplı 4 adet 75 mm çaplı toplam 6 adet deney yapılmıştır.

Her üç seri deneyde de 0,25 – 0,50 – 1,00 – 2,00 – 4,00 – 8,00 kg/cm² yüklerle yükledi daha sonra aynı şekilde boşaltma yapıldı.

Daha sonra aşağıdaki tablolar oluşturuldu.

Tablolarda her deneye ve deney sistemine bir kod verildi. Örnek olarak “1A3-50” birinci set deney A3 deney sisteminde 50 mm çaplı ringle çalışıldı.

Tablo 4.1 1A5-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_i (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/(1+e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,626	-		
0,25	0,25	0,111	19,889	0,111	0,015	1,611	0,007	0,058	0,058
0,50	0,25	0,266	19,734	0,155	0,020	1,591	0,010	0,081	0,081
1,00	0,50	1,218	18,782	0,952	0,125	1,466	0,062	0,250	0,235
2,00	1,00	2,818	17,182	1,600	0,210	1,256	0,105	0,210	0,190
4,00	2,00	4,488	15,512	1,670	0,219	1,037	0,110	0,110	0,099
8,00	4,00	6,356	13,644	1,868	0,245	0,791	0,123	0,061	0,055
4,00	4,00	6,238	13,762	-0,118	-0,015	0,807	-0,008		
2,00	2,00	6,124	13,876	-0,114	-0,015	0,822	-0,007		
1,00	1,00	5,868	14,132	-0,256	-0,034	0,856	-0,017		
0,50	0,50	5,636	14,364	-0,232	-0,030	0,886	-0,015		
0,25	0,25	5,446	14,554	-0,190	-0,025	0,911	-0,012		

Tablo 4.2 1U1-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,428	-		
0,25	0,25	0,210	19,79	0,210	0,025	1,402	0,013	0,102	0,101
0,50	0,25	0,445	19,555	0,235	0,029	1,374	0,014	0,114	0,113
1,00	0,50	1,080	18,92	0,635	0,077	1,297	0,039	0,154	0,148
2,00	1,00	2,700	17,3	1,620	0,197	1,100	0,098	0,197	0,179
4,00	2,00	4,240	15,76	1,540	0,187	0,913	0,093	0,093	0,085
8,00	4,00	5,410	14,59	1,170	0,142	0,771	0,071	0,036	0,033
4,00	4,00	5,240	14,76	-0,170	-0,021	0,792	-0,010		
2,00	2,00	4,995	15,005	-0,245	-0,030	0,821	-0,015		
1,00	1,00	4,715	15,285	-0,280	-0,034	0,855	-0,017		
0,50	0,50	4,465	15,535	-0,250	-0,030	0,886	-0,015		
0,25	0,25	4,298	15,702	-0,167	-0,020	0,906	-0,010		

Tablo 4.3 1U2-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,407	-		
0,25	0,25	0,110	19,89	0,110	0,013	1,394	0,007	0,053	0,053
0,50	0,25	0,240	19,76	0,130	0,016	1,378	0,008	0,063	0,062
1,00	0,50	0,820	19,18	0,580	0,070	1,309	0,035	0,140	0,135
2,00	1,00	2,510	17,49	1,690	0,203	1,105	0,102	0,203	0,185
4,00	2,00	3,940	16,06	1,430	0,172	0,933	0,086	0,086	0,079
8,00	4,00	5,250	14,75	1,310	0,158	0,775	0,079	0,039	0,037
4,00	4,00	5,105	14,895	-0,145	-0,017	0,793	-0,009		
2,00	2,00	4,865	15,135	-0,240	-0,029	0,822	-0,014		
1,00	1,00	4,620	15,38	-0,245	-0,029	0,851	-0,015		
0,50	0,50	4,400	15,6	-0,220	-0,026	0,878	-0,013		
0,25	0,25	4,215	15,785	-0,185	-0,022	0,900	-0,011		

Tablo 4.4 1U3-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,413	-		
0,25	0,25	0,200	19,8	0,200	0,024	1,389	0,012	0,097	0,095
0,50	0,25	0,290	19,71	0,090	0,011	1,378	0,005	0,043	0,043
1,00	0,50	0,870	19,13	0,580	0,070	1,308	0,035	0,140	0,135
2,00	1,00	2,525	17,475	1,655	0,200	1,108	0,100	0,200	0,182
4,00	2,00	4,110	15,89	1,585	0,191	0,917	0,096	0,096	0,087
8,00	4,00	5,260	14,74	1,150	0,139	0,778	0,069	0,035	0,032
4,00	4,00	5,140	14,86	-0,120	-0,014	0,793	-0,007		
2,00	2,00	4,930	15,07	-0,210	-0,025	0,818	-0,013		
1,00	1,00	4,700	15,3	-0,230	-0,028	0,846	-0,014		
0,50	0,50	4,485	15,515	-0,215	-0,026	0,872	-0,013		
0,25	0,25	4,352	15,648	-0,133	-0,016	0,888	-0,008		

Tablo 4.5 1A3-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,474	-		
0,25	0,25	0,295	19,705	0,295	0,036	1,437	0,018	0,146	0,143
0,50	0,25	0,460	19,54	0,165	0,020	1,417	0,010	0,082	0,081
1,00	0,50	1,070	18,93	0,610	0,075	1,341	0,038	0,151	0,145
2,00	1,00	2,775	17,225	1,705	0,211	1,130	0,105	0,211	0,191
4,00	2,00	4,275	15,725	1,500	0,186	0,945	0,093	0,093	0,085
8,00	4,00	5,650	14,35	1,375	0,170	0,775	0,085	0,043	0,039
4,00	4,00	5,452	14,548	-0,198	-0,024	0,799	-0,012		
2,00	2,00	5,200	14,8	-0,252	-0,031	0,830	-0,016		
1,00	1,00	4,930	15,07	-0,270	-0,033	0,864	-0,017		
0,50	0,50	4,670	15,33	-0,260	-0,032	0,896	-0,016		
0,25	0,25	4,470	15,53	-0,200	-0,025	0,921	-0,012		

Tablo 4.6 1A4-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,440	-		
0,25	0,25	0,212	19,788	0,212	0,026	1,414	0,013	0,103	0,102
0,50	0,25	0,368	19,632	0,156	0,019	1,395	0,010	0,076	0,075
1,00	0,50	1,032	18,968	0,664	0,081	1,314	0,041	0,162	0,156
2,00	1,00	2,760	17,24	1,728	0,211	1,103	0,105	0,211	0,191
4,00	2,00	4,228	15,772	1,468	0,179	0,924	0,090	0,090	0,082
8,00	4,00	5,570	14,43	1,342	0,164	0,760	0,082	0,041	0,038
4,00	4,00	5,376	14,624	-0,194	-0,024	0,784	-0,012		
2,00	2,00	5,122	14,878	-0,254	-0,031	0,815	-0,015		
1,00	1,00	4,820	15,18	-0,302	-0,037	0,852	-0,018		
0,50	0,50	4,538	15,462	-0,282	-0,034	0,886	-0,017		
0,25	0,25	4,338	15,662	-0,200	-0,024	0,911	-0,012		

Tablo 4.7 2A1-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,500	-		
0,25	0,25	0,150	19,85	0,150	0,019	1,482	0,009	0,075	0,074
0,50	0,25	0,392	19,608	0,242	0,030	1,451	0,015	0,121	0,119
1,00	0,50	1,214	18,786	0,822	0,103	1,349	0,051	0,206	0,195
2,00	1,00	2,764	17,236	1,550	0,194	1,155	0,097	0,194	0,177
4,00	2,00	4,190	15,81	1,426	0,178	0,977	0,089	0,089	0,082
8,00	4,00	5,428	14,572	1,238	0,155	0,822	0,077	0,039	0,036
4,00	4,00	5,250	14,75	-0,178	-0,022	0,844	-0,011		
2,00	2,00	4,998	15,002	-0,252	-0,032	0,876	-0,016		
1,00	1,00	4,740	15,26	-0,258	-0,032	0,908	-0,016		
0,50	0,50	4,484	15,516	-0,256	-0,032	0,940	-0,016		
0,25	0,25	4,214	15,786	-0,270	-0,034	0,974	-0,017		

Tablo 4.8 2A2 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,495	-		
0,25	0,25	0,200	19,8	0,200	0,025	1,470	0,012	0,100	0,099
0,50	0,25	0,364	19,636	0,164	0,020	1,449	0,010	0,082	0,081
1,00	0,50	1,086	18,914	0,722	0,090	1,359	0,045	0,180	0,172
2,00	1,00	2,730	17,27	1,644	0,205	1,154	0,103	0,205	0,186
4,00	2,00	4,160	15,84	1,430	0,178	0,976	0,089	0,089	0,082
8,00	4,00	5,380	14,62	1,220	0,152	0,823	0,076	0,038	0,035
4,00	4,00	5,204	14,796	-0,176	-0,022	0,845	-0,011		
2,00	2,00	4,948	15,052	-0,256	-0,032	0,877	-0,016		
1,00	1,00	4,686	15,314	-0,262	-0,033	0,910	-0,016		
0,50	0,50	4,440	15,56	-0,246	-0,031	0,941	-0,015		
0,25	0,25	4,158	15,842	-0,282	-0,035	0,976	-0,018		

Tablo 4.9 2A5-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,468	-		
0,25	0,25	0,044	19,956	0,044	0,005	1,463	0,003	0,022	0,022
0,50	0,25	0,284	19,716	0,240	0,030	1,433	0,015	0,118	0,117
1,00	0,50	1,226	18,774	0,942	0,116	1,317	0,058	0,233	0,220
2,00	1,00	2,708	17,292	1,482	0,183	1,134	0,091	0,183	0,168
4,00	2,00	4,028	15,972	1,320	0,163	0,971	0,081	0,081	0,075
8,00	4,00	5,172	14,828	1,144	0,141	0,830	0,071	0,035	0,033
4,00	4,00	5,116	14,884	-0,056	-0,007	0,837	-0,003		
2,00	2,00	4,908	15,092	-0,208	-0,026	0,863	-0,013		
1,00	1,00	4,665	15,335	-0,243	-0,030	0,893	-0,015		
0,50	0,50	4,424	15,576	-0,241	-0,030	0,922	-0,015		
0,25	0,25	4,160	15,84	-0,264	-0,033	0,955	-0,016		

Tablo 4.10 2U1-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,493	-		
0,25	0,25	0,222	19,778	0,222	0,028	1,465	0,014	0,111	0,109
0,50	0,25	0,450	19,55	0,228	0,028	1,437	0,014	0,114	0,112
1,00	0,50	1,015	18,985	0,565	0,070	1,367	0,035	0,141	0,136
2,00	1,00	2,530	17,47	1,515	0,189	1,178	0,094	0,189	0,173
4,00	2,00	3,815	16,185	1,285	0,160	1,017	0,080	0,080	0,074
8,00	4,00	5,285	14,715	1,470	0,183	0,834	0,092	0,046	0,042
4,00	4,00	5,180	14,82	-0,105	-0,013	0,847	-0,007		
2,00	2,00	4,975	15,025	-0,205	-0,026	0,873	-0,013		
1,00	1,00	4,750	15,25	-0,225	-0,028	0,901	-0,014		
0,50	0,50	4,550	15,45	-0,200	-0,025	0,926	-0,012		
0,25	0,25	4,330	15,67	-0,220	-0,027	0,953	-0,014		

Tablo 4.11 2U2-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,514	-		
0,25	0,25	0,282	19,718	0,282	0,035	1,478	0,018	0,142	0,139
0,50	0,25	0,510	19,49	0,228	0,029	1,450	0,014	0,115	0,113
1,00	0,50	1,180	18,82	0,670	0,084	1,365	0,042	0,168	0,162
2,00	1,00	2,745	17,255	1,565	0,197	1,169	0,098	0,197	0,179
4,00	2,00	4,150	15,85	1,405	0,177	0,992	0,088	0,088	0,081
8,00	4,00	5,475	14,525	1,325	0,167	0,826	0,083	0,042	0,038
4,00	4,00	5,325	14,675	-0,150	-0,019	0,844	-0,009		
2,00	2,00	5,080	14,92	-0,245	-0,031	0,875	-0,015		
1,00	1,00	4,815	15,185	-0,265	-0,033	0,909	-0,017		
0,50	0,50	4,570	15,43	-0,245	-0,031	0,939	-0,015		
0,25	0,25	4,320	15,68	-0,250	-0,031	0,971	-0,016		

Tablo 4.12 2A3-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/(1+e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,550	-		
0,25	0,25	0,380	19,62	0,380	0,048	1,502	0,024	0,194	0,189
0,50	0,25	0,622	19,378	0,242	0,031	1,471	0,015	0,123	0,122
1,00	0,50	1,300	18,7	0,678	0,086	1,384	0,043	0,173	0,166
2,00	1,00	2,970	17,03	1,670	0,213	1,171	0,106	0,213	0,192
4,00	2,00	4,480	15,52	1,510	0,193	0,979	0,096	0,096	0,088
8,00	4,00	5,800	14,2	1,320	0,168	0,810	0,084	0,042	0,039
4,00	4,00	5,610	14,39	-0,190	-0,024	0,835	-0,012		
2,00	2,00	5,345	14,655	-0,265	-0,034	0,868	-0,017		
1,00	1,00	5,070	14,93	-0,275	-0,035	0,904	-0,018		
0,50	0,50	4,800	15,2	-0,270	-0,034	0,938	-0,017		
0,25	0,25	4,515	15,485	-0,285	-0,036	0,974	-0,018		

Tablo 4.13 2A4-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,519	-		
0,25	0,25	0,285	19,715	0,285	0,036	1,483	0,018	0,144	0,141
0,50	0,25	0,484	19,516	0,199	0,025	1,458	0,013	0,100	0,099
1,00	0,50	1,310	18,69	0,826	0,104	1,354	0,052	0,208	0,198
2,00	1,00	3,036	16,964	1,726	0,217	1,137	0,109	0,217	0,196
4,00	2,00	4,532	15,468	1,496	0,188	0,948	0,094	0,094	0,086
8,00	4,00	5,820	14,18	1,288	0,162	0,786	0,081	0,041	0,038
4,00	4,00	5,618	14,382	-0,202	-0,025	0,812	-0,013		
2,00	2,00	5,346	14,654	-0,272	-0,034	0,846	-0,017		
1,00	1,00	5,042	14,958	-0,304	-0,038	0,884	-0,019		
0,50	0,50	4,762	15,238	-0,280	-0,035	0,920	-0,018		
0,25	0,25	4,422	15,578	-0,340	-0,043	0,962	-0,021		

Tablo 4.14 3U1-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,425	-		
0,25	0,25	0,180	19,82	0,180	0,022	1,404	0,011	0,087	0,086
0,50	0,25	0,355	19,645	0,175	0,021	1,382	0,011	0,085	0,084
1,00	0,50	0,960	19,04	0,605	0,073	1,309	0,037	0,147	0,142
2,00	1,00	1,150	18,85	0,190	0,023	1,286	0,012	0,023	0,023
4,00	2,00	3,065	16,935	1,915	0,232	1,054	0,116	0,116	0,104
8,00	4,00	5,215	14,785	2,150	0,261	0,793	0,130	0,065	0,058
4,00	4,00	5,180	14,82	-0,035	-0,004	0,797	-0,002		
2,00	2,00	5,070	14,93	-0,110	-0,013	0,811	-0,007		
1,00	1,00	4,935	15,065	-0,135	-0,016	0,827	-0,008		
0,50	0,50	4,700	15,3	-0,235	-0,028	0,855	-0,014		
0,25	0,25	4,565	15,435	-0,135	-0,016	0,872	-0,008		

Tablo 4.15 3U2-50 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/(1+e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,423	-		
0,25	0,25	0,160	19,84	0,160	0,019	1,403	0,010	0,078	0,077
0,50	0,25	0,350	19,65	0,190	0,023	1,380	0,012	0,092	0,091
1,00	0,50	0,995	19,005	0,645	0,078	1,302	0,039	0,156	0,150
2,00	1,00	2,545	17,455	1,550	0,188	1,115	0,094	0,188	0,172
4,00	2,00	4,005	15,995	1,460	0,177	0,938	0,088	0,088	0,081
8,00	4,00	5,275	14,725	1,270	0,154	0,784	0,077	0,038	0,036
4,00	4,00	5,125	14,875	-0,150	-0,018	0,802	-0,009		
2,00	2,00	4,890	15,11	-0,235	-0,028	0,830	-0,014		
1,00	1,00	4,645	15,355	-0,245	-0,030	0,860	-0,015		
0,50	0,50	4,370	15,63	-0,275	-0,033	0,893	-0,017		
0,25	0,25	4,200	15,8	-0,170	-0,021	0,914	-0,010		

Tablo 4.16 3A1-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} 1 - e_0$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/1+e$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,514	-		
0,25	0,25	0,282	19,718	0,282	0,035	1,478	0,018	0,142	0,139
0,50	0,25	0,510	19,49	0,228	0,029	1,450	0,014	0,115	0,113
1,00	0,50	1,180	18,82	0,670	0,084	1,365	0,042	0,168	0,162
2,00	1,00	2,745	17,255	1,565	0,197	1,169	0,098	0,197	0,179
4,00	2,00	4,150	15,85	1,405	0,177	0,992	0,088	0,088	0,081
8,00	4,00	5,475	14,525	1,325	0,167	0,826	0,083	0,042	0,038
4,00	4,00	5,325	14,675	-0,150	-0,019	0,844	-0,009		
2,00	2,00	5,080	14,92	-0,245	-0,031	0,875	-0,015		
1,00	1,00	4,815	15,185	-0,265	-0,033	0,909	-0,017		
0,50	0,50	4,570	15,43	-0,245	-0,031	0,939	-0,015		
0,25	0,25	4,320	15,68	-0,250	-0,031	0,971	-0,016		

Tablo 4.17 3A3-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,509	-		
0,25	0,25	0,340	19,66	0,340	0,043	1,466	0,021	0,171	0,167
0,50	0,25	0,580	19,42	0,240	0,030	1,436	0,015	0,120	0,119
1,00	0,50	1,315	18,685	0,735	0,092	1,344	0,046	0,184	0,176
2,00	1,00	3,010	16,99	1,695	0,213	1,131	0,106	0,213	0,192
4,00	2,00	4,510	15,49	1,500	0,188	0,943	0,094	0,094	0,086
8,00	4,00	5,810	14,19	1,300	0,163	0,780	0,082	0,041	0,038
4,00	4,00	5,615	14,385	-0,195	-0,024	0,804	-0,012		
2,00	2,00	5,380	14,62	-0,235	-0,029	0,834	-0,015		
1,00	1,00	5,080	14,92	-0,300	-0,038	0,871	-0,019		
0,50	0,50	4,870	15,13	-0,210	-0,026	0,898	-0,013		
0,25	0,25	4,670	15,33	-0,200	-0,025	0,923	-0,013		

Tablo 4.18 2A5-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,533	-		
0,25	0,25	0,248	19,752	0,248	0,031	1,501	0,016	0,126	0,124
0,50	0,25	0,465	19,535	0,217	0,027	1,474	0,014	0,110	0,108
1,00	0,50	1,300	18,7	0,835	0,106	1,368	0,053	0,211	0,201
2,00	1,00	3,024	16,976	1,724	0,218	1,150	0,109	0,218	0,197
4,00	2,00	4,518	15,482	1,494	0,189	0,961	0,095	0,095	0,086
8,00	4,00	5,760	14,24	1,242	0,157	0,803	0,079	0,039	0,036
4,00	4,00	5,716	14,284	-0,044	-0,006	0,809	-0,003		
2,00	2,00	5,516	14,484	-0,200	-0,025	0,834	-0,013		
1,00	1,00	5,272	14,728	-0,244	-0,031	0,865	-0,015		
0,50	0,50	5,096	14,904	-0,176	-0,022	0,887	-0,011		
0,25	0,25	4,826	15,174	-0,270	-0,034	0,922	-0,017		

Tablo 4.19 4A3-75 Deney Sonuçları

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e=e_0-\Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v=\Delta e/\Delta p$	$mv=av/(1+e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,480	-		
0,25	0,25	0,168	19,832	0,168	0,021	1,459	0,010	0,083	0,082
0,50	0,25	0,352	19,648	0,184	0,023	1,436	0,011	0,091	0,090
1,00	0,50	0,894	19,106	0,542	0,067	1,369	0,034	0,134	0,130
2,00	1,00	2,670	17,33	1,776	0,220	1,149	0,110	0,220	0,198
4,00	2,00	4,126	15,874	1,456	0,181	0,968	0,090	0,090	0,083
8,00	4,00	5,394	14,606	1,268	0,157	0,811	0,079	0,039	0,036
4,00	4,00	5,173	14,827	-0,221	-0,027	0,838	-0,014		
2,00	2,00	4,902	15,098	-0,271	-0,034	0,872	-0,017		
1,00	1,00	4,566	15,434	-0,336	-0,042	0,914	-0,021		
0,50	0,50	4,288	15,712	-0,278	-0,034	0,948	-0,017		
0,25	0,25	3,956	16,044	-0,332	-0,041	0,989	-0,021		

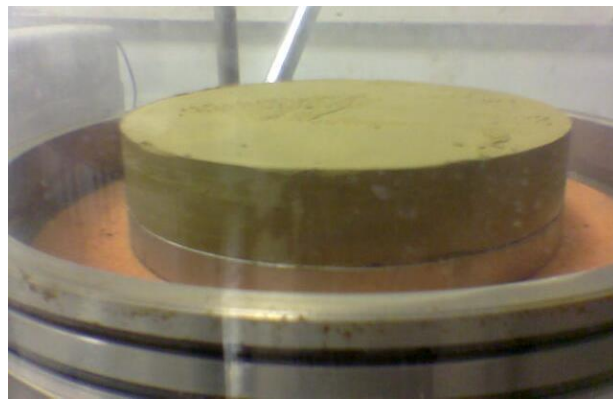
4.4 Üç Boyutlu Konsolidasyon Deney Sistemi'nde Yapılan Deneyler

Deney sisteminin parçaları Türkiye'ye geldikten sonra Laboratuarda kuruldu ancak önceden öngörülemeyen ancak sistem kurulup deneylere başlama aşamasına gelindiğinde fark edebildiğimiz küçük sorunlar ve tez teslim tarihinin yaklaşması ve daha sonra karşılaşılan deney sisteminin üzerinde yapılması gereken değişiklikler olduğu için sınırlı sayıda deney yapılabilmektedir.

Üç boyutlu deney sisteminde öncelikle ringli (50 mm) konsolidasyon deneyi yapıldı, bu deney aynen ödometre deney sisteminde yapıldığı şekilde yapıp okumalar alındı ve tablo oluşturuldu. Buda bize yeni deney sistemiyle ringli normal konsolidasyon deneylerinin yapılabileceğini de göstermiş oldu. Yapılan ringli deneyde Rowe hücresinde hazırlanmakta olan numune beklenmeyip zamandan kazanmak için daha önce klasik konsolidasyon deneylerinde kullanmak için Rowe hücresinde hazırlanmış numune kullanıldı.

İkinci aşamada deney sisteminde asıl yapılmak istenen ringsiz üç boyutlu konsolidasyon deneyi yapıldı.

Öncelikle Rowe hücresinden çıkarılan malzemeden 120 mm çaplı 20 mm yüksekliğindeki ring (Şekil 3.3 - Şekil3.12) ile büyük numuneden numune alındı hazırlanan bu numune ringden çıkarılıp hücre içinde alt tabaka içine konuldu(Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Hücre İçinde 120 mm Çaplı Hazırlanan Numune

Daha sonra 120 mm iç çapa sahip dış ring (Şekil 3.11) yerleştirildi. 50 mm çaplı ringlerle konsolidasyon deneyleri yapıldığı için karşılaştırma yapabilmek için numune üzerine 50 mm iç açıklığa sahip üst başlık ve 50 mm çaplı yükleme

pistonları(Şekil 3.6) konuldu. Rowe hücresinde numuneyi 1 kg/cm^2 basınç altında hazırladığımız için Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'ye göre 1 kg/cm^2 gerilme için gerekli yüklerle numune konsolidasyona bırakıldı. Numune konsolidasyonunu tamamladıktan sonra klasik ödometre deneyinde olduğu gibi kademeli olarak yükleme yapıldı.

Ancak 4 kg/cm^2 basınç kademesinden sonra (1 kg/cm^2 ön konsolidasyon basıncı olarak yüklenmişti toplam 5 kg/cm^2 basınç altında olmuş oldu) 8 kg/cm^2 basınç kademesi için yükleme yapıldığında numunede göçme olayı gerçekleşti(Şekil 4.3) ve moment kolu oturdu(Şekil 4.4)



Şekil 4.3 Ringsız Deney Sonucunda Göçen Numune



Şekil 4.4 Oturan Moment Kolu

Ringden çıkarılan numunenin su muhtevası bulundu. Deney sırasında alınan okumalara göre Tablo 4.20 oluşturulmuştur.

Tablo 4.20 Ringsiz Yapılan Deney Değerleri

Basınç P (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH mm	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H=H_1-H_2$
0,00		0,000	20	0
0,25	0,25	0,025	19,975	0,025
0,50	0,25	0,080	19,92	0,055
1,00	0,50	0,235	19,765	0,155
2,00	1,00	1,630	18,37	1,395
4,00	2,00	4,370	15,63	2,740

Sonraki aşama ise ringsiz yapılan deney sonuçlarıyla klasik konsolidasyon deney sonuçlarının karşılaştırılarak yanal deformasyon Δr ve nihai oturmalar arasında bir korelasyon bulmaya çalışıldı.

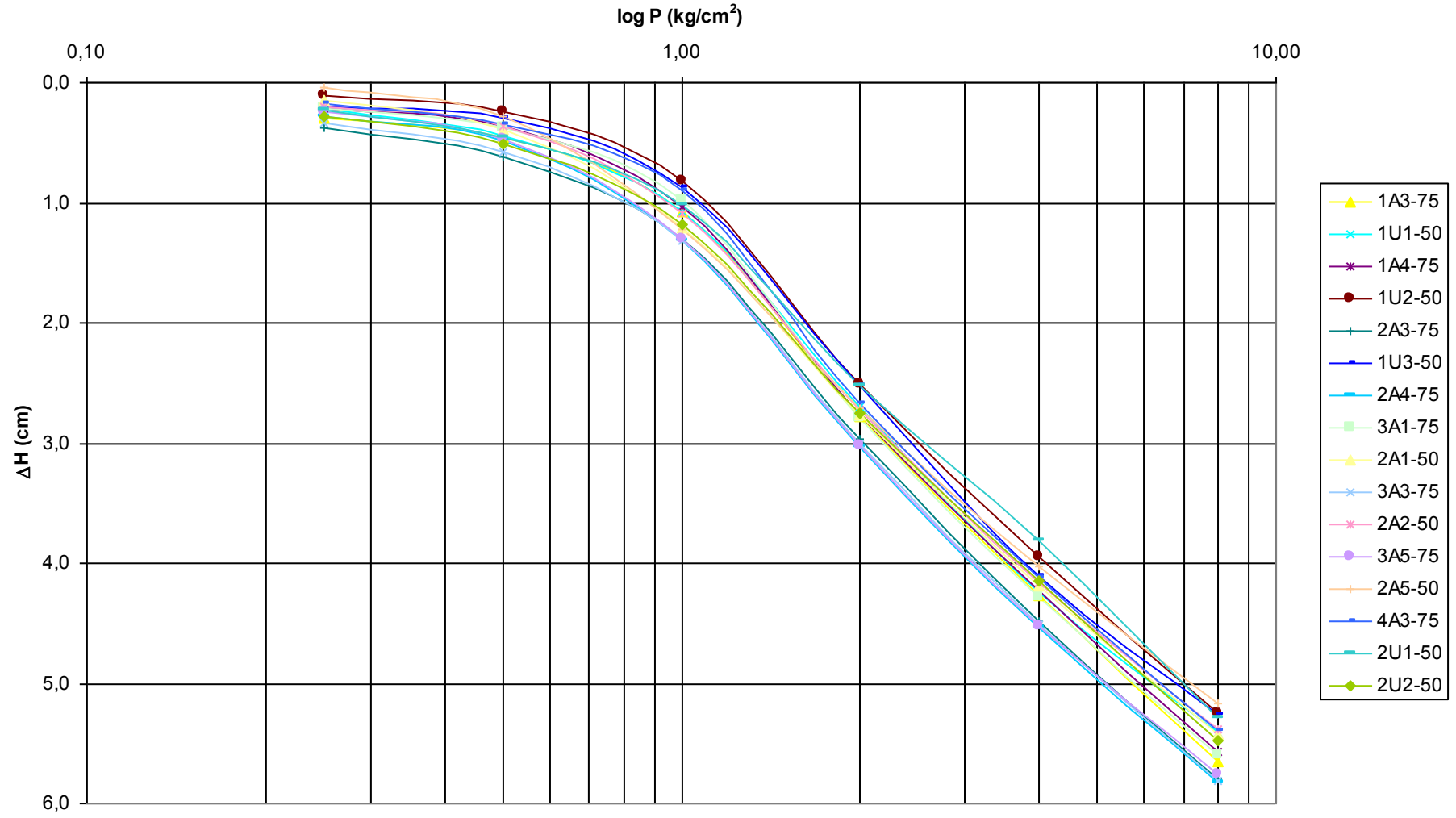
4.5 Deney Sonuçları Arasında İlişkilerin Araştırılması.

İlk olarak konsolidasyon deneylerinde numune geometrisinin deney sonucuna etkisi araştırmak amacıyla farklı çaplarda yapılan deney sonuçları arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır Tablo 4.21’de 50 mm çaplı numunelerin ve 75 mm çaplı numunelerin 8 kg/cm² yükleme kademesi sonucunda oluşan nihai oturmaları vermektedir.

Tablo 4.21 50mm ve 75 mm Çaplı Numunelerin Δh Karşılaştırması

75 mm çap		50 mm çap	
2A4-75	5,820	2A1-50	5,428
2A3-75	5,800	1U1-50	5,410
3A5-75	5,760	2U2-50	5,475
3a3-75	5,810	2A2-50	5,380
1A3-75	5,650	1U3-50	5,260
1A4-75	5,570	2A5-50	5,172
4A3-75	5,394	1U2-50	5,250
		2U1-50	5,285

Deney sonuçları incelendiğinde 75 mm çaplı numunelerin nihai oturmalarının 50 mm çaplı numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Buda bize numune geometrisinin önemini göstermektedir. Şekil 4.5 de verilen grafikte yükleme kademelerindeki nihai oturma farkları görülmektedir.



Şekil 4.5 $\log P - \Delta H$ Diyagramı (çap=50 mm ve 75 mm)

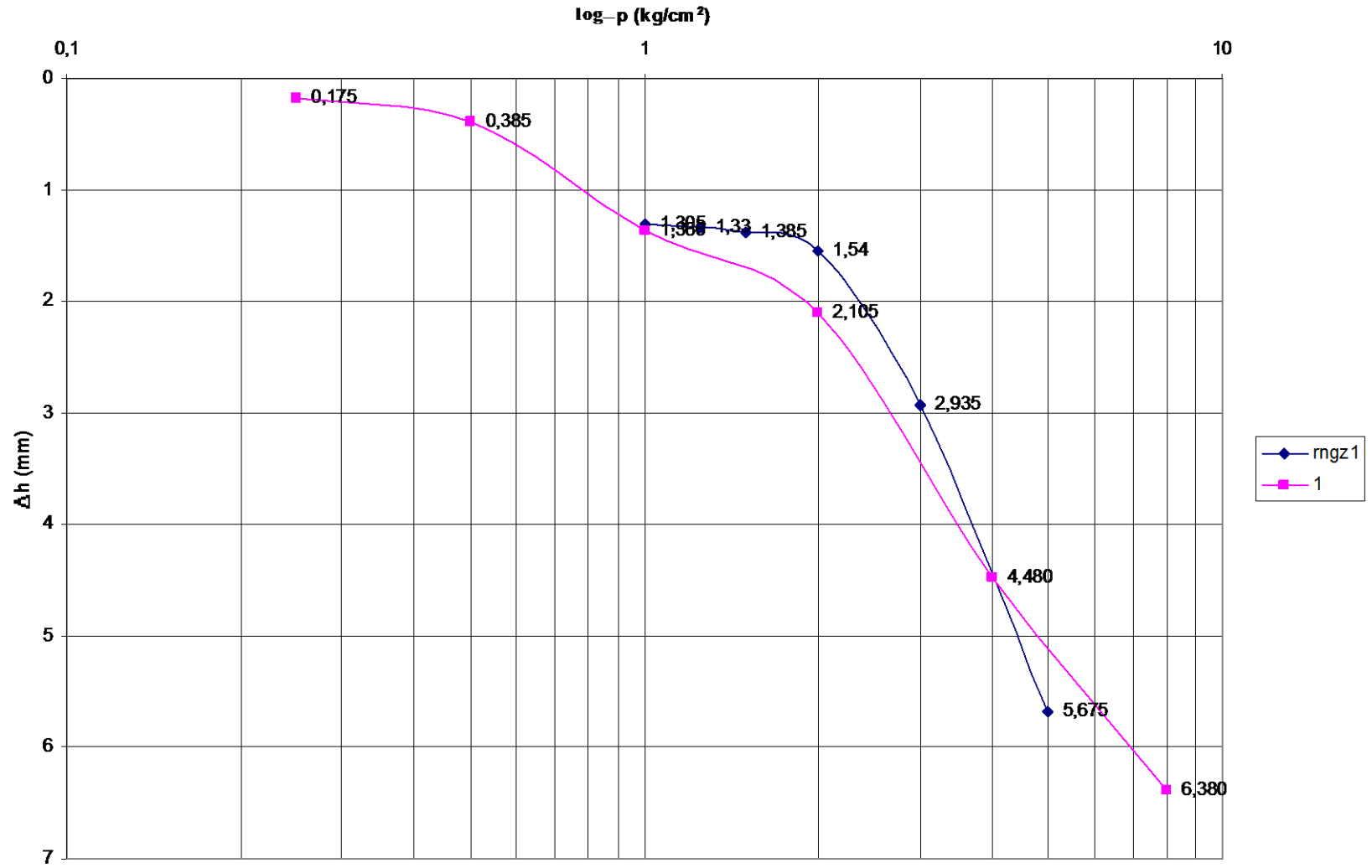
Asıl konumuz olan üç eksenli konsolidasyon deney sisteminde yapılmış ringli ve ringsiz deneyler karşılaştırılmıştır. Deney esnasında 4 kg/cm^2 yükleme kademesinden 8 kg/cm^2 yükleme kademesine geçildiğinde numunede göçme meydana geldiği için boşaltma yapılamadı. Elimizde sadece $0,25\text{-}4,00 \text{ kg/cm}^2$ arasındaki yükleme kademelerinde alınmış okumalar mevcut olduğu için tam bir karşılaştırma yapılamadı. Ama yinede beklendiği gibi ringsiz yapılan deneyde daha fazla oturma olduğu saptanmış ve Δr değeri bulunmaya çalışılmıştır. Şu husus hatırlatılmalıdır ki ringsiz yapılan deney 1 kg/cm^2 ön konsolidasyon basıncına ilaveten yüklemeler yapıldı yani numune 4 kg/cm^2 altında yüklenirken aslında 5 kg/cm^2 gerilme altındaydı. Bu yüzden karşılaştırma yapılırken bu husus dikkate alınıp ringli çalışılan deneyde 5 kg/cm^2 ye denk gelen değerler kullanıldı.

Tablo 4.22’de ringli yapılan deneyin sonuçları verilmiştir.

Şekil 4.5 de ise ringli ve ringsiz deneylerde yükleme kademelerinin sonundaki nihai oturma değerlerini karşılaştırmak için grafik çizilmiş (3.2) formül ile Δr yi bulmak için 5 kg/cm^2 yükleme kademesine denk gelen değerler kullanılarak yanal deformasyon bulunmaya çalışılmıştır.

Tablo 4.22 Yeni Deney Sisteminde Yapılan Ringli Deney Sonuçları.

Basınç p (kg/cm ²)	Δp (kg/cm ²)	ΔH_t (mm)	Numune yük. Ho- ΔH (mm)	Numune boyundaki değ. $\Delta H = H_1 - H_2$	$e = \frac{H}{H_1} (1 - e_0)$	Son boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$	Ort. boşluk oranı e	$a_v = \Delta e / \Delta p$	$mv = av / (1 + e)$ (cm ² /s)
0,00		0,000	20	0	0	1,586	-		
0,25	0,25	0,175	19,825	0,175	0,023	1,563	0,011	0,091	0,089
0,50	0,25	0,385	19,615	0,210	0,027	1,536	0,014	0,109	0,107
1,00	0,50	1,360	18,64	0,975	0,126	1,410	0,063	0,252	0,237
2,00	1,00	2,105	17,895	0,745	0,096	1,314	0,048	0,096	0,092
4,00	2,00	4,480	15,52	2,375	0,307	1,007	0,154	0,154	0,133
8,00	4,00	6,380	13,62	1,900	0,246	0,761	0,123	0,061	0,055
4,00	4,00	6,275	13,725	-0,105	-0,014	0,775	-0,007		
2,00	2,00	5,925	14,075	-0,350	-0,045	0,820	-0,023		
1,00	1,00	5,490	14,51	-0,435	-0,056	0,876	-0,028		
0,50	0,50	5,130	14,87	-0,360	-0,047	0,923	-0,023		
0,25	0,25	4,400	15,6	-0,730	-0,094	1,017	-0,047		



Şekil 4.6 Yeni deney sisteminde yapılan deneylerin nihai oturma grafiği

Şekil 4.6 deki grafikten değerleri okuyarak 3.2 denkleminde yerine koyarsak

$$\Delta_r = \frac{50}{2} \left(\sqrt{\frac{20 - 5,05}{20 - 5,675}} - 1 \right) = 0,54mm$$

sonucuna ulaşırız.

Ringsiz çalışılan sistem de 1 kg/cm² basınç kademesinde görülen değer numunenin 1 kg/cm² gerilme altında ön konsolidasyona bırakıldığında ön konsolidasyonun tamamlandığı zamanki oturma miktarıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada zeminlerin arazi koşullarına uygun şekilde laboratuarda konsolide edilmesini ve yüklenerek arazi koşullarına uygun oturmaların ve zemin taşıma gücünün laboratuarda deneysel olarak belirlenmesini sağlayabilecek bir sistem olan üç boyutlu konsolidasyon deney sistemi anlatılmıştır.

Bunun için öncelikle konsolidasyon olayı anlatılmış ve günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan Terzaghi tek boyutlu konsolidasyon teorisi anlatılmıştır.

Yeni deney sisteminin çalışma mantığı hali hazırda kullanılmakta olan ödometre deney sisteminde kullanılan ringin bulunmamasından dolayı daha geniş çaplı numuneyi sadece ortadan yükleyerek zeminin yanal deformasyonuna izin vermesi ve daha gerçekçi ve arazi koşullarına uygun yüklemenin yapılabilmesidir. Ayrıca yeni deney sistemiyle doğrudan zeminin taşıma gücü değeri bulunabilir. Ayrıntılı olarak deney sistemiyle yapılmak istenenler ve yeni deney sisteminin çalışma prensibi deney sisteminin parçaları üçüncü bölümde anlatılmış deney sonunda elde edilen verilerle bulunmak istenenler verilmiştir.

Yeni deney sistemiyle klasik konsolidasyon deneyi ile karşılaştırma yapabilmek için öncelikle zemin özellikleri belirlenen bir kil numunesi laboratuvar şartlarında, belirli ön konsolidasyon basıncı değerlerinde, Rowe hücresi kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneden numuneler alınarak farklı çaplarda klasik konsolidasyon deneyleri yapılmıştır yapılan deneyler sonucunda 75 mm çapla çalışılan numunelerde 50 mm çaplı numunelere göre daha fazla oturma olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca yeni deney sisteminin üretimi tamamlandıktan sonra yeni deney sisteminde öncelikle ringli konsolidasyon deneyi yapılarak deney sisteminin işletilebilir hale gelip gelmediğinin kontrolü yapıldı sonuç olarak sistem çalışır duruma getirilebilmiştir. Daha sonra yeni deney sisteminde asıl yapmak istediğimiz ringsiz deney yapılmıştır. Deney sırasında 8 kg/cm² basınç kademesi için ağırlıklar konulduğunda numunede göçme meydana gelmiştir. Bu sonuç bize yeni geliştirilen deney sistemiyle doğrudan taşıma gücü bulabileceğimizi de göstermiş oldu. Ancak

zaman kısıtlamasından dolayı taşıma gücüyle ilgili daha ayrıntılı herhangi bir deney yapılamamıştır. Yapılan deneler ve sonuçları ayrıntılı olarak dördüncü bölümde verilmiştir. Yeni yapılan deney sisteminde yapılan ringli ve ringsiz deney sonuçlarını incelediğimizde aynı yükleme kademeleri altında ringsiz çalışılan numunede daha fazla oturma olduğu saptanmıştır. Oluşan bu fazla oturmanın numunenin yanal deformasyonuna izin vermemizden dolayı gerçekleşen yanal deformasyondan oluştuğunu düşünerek ve hesaplamalar yapılırken numune hacminin değişmediği kabulü yapılarak oluşan yanal deformasyon bulunmuştur.

Sonuç olarak hedeflenen, yeni deney sisteminin işletilebilir hale getirilmesi sağlanmıştır, üstelik yeni deney sisteminde iki tane de deney yapılarak yeni deney sisteminde yapılması planlanan klasik ödometre deneyindeki gibi ringli konsolidasyon deneyi yapılmış ve yine yeni deney sisteminde yapılan ringsiz konsolidasyon deneyi sonuçlarıyla kıyaslama yapılabilmektedir.

Üç boyutlu konsolidasyon deney sistemi çalışma prensibi ve elde edilen sonuçları itibarıyla Türkiye’de ve yurtdışında benzeri henüz yapılmamış bir deney sistemidir. Bu sebeple deney sistemi laboratuarda kurulmaya başlandığında önceden öngörülemeyen bazı eksiklerle karşılaşmış fakat bu eksikler giderilmeye çalışılmıştır. Fakat bazı değişiklikler ve eklentilerle deney sistemi, elde edilecek sonuçların çeşitliliğini arttırmak, deney sırasında oluşan bazı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için geliştirilebilir. Şöyle ki deneye başlamadan önce numune içine yerleştirilecek küçük deformasyon ölçerler sayesinde numunede oluşan yanal hareket izlenebilir. Ayrıca şu anda kullanılmakta olan sistem mekanik bir sistem yüklemeler moment kollarına asılan ağırlıklarla yapılmakta, üç boyutlu detay ve çizimleri hazır olan hidrolik sistemin üretimi yapılırsa yüklemeler tam ortadan yapılabilecek ve moment kolunun yataylığını kaybetmesinden dolayı oluşabilecek eksantrik yüklemelerin önüne geçilebilecektir. Deney sisteminin diğer bir özelliği yükleme kademelerinde oluşan deformasyonların okuma saatinin yanında bilgisayara kayıt edilmesi de mümkündür fakat okumaları alan deformasyon ölçerlerdeki problem sebebiyle alınan okumalarla kaydedilen okumalar birbirine uymamaktadır. Bu sorun giderildiği takdirde okumaları bilgisayar kaydedecek böylece oluşan deformasyonlar istenilen zaman dilimlerinde incelenilecek ve de laboratuarda bulunulmasa dahi okuma alınabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] UZUNER,B.,A.,Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi,Ankara, (1998)
- [2] KUMBASAR,V.,KİP,F.,Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, (1999)
- [3] UZUNER,B.,A.,Daneli Zeminlere Oturan Sığ Temellerin Oturmaları, Karadeniz Teknik Üniversitesi,Doçentlik Tezi,KTÜ Basımevi (1980)
- [4] ÖNALP,A., Geoteknik Bilgisi 1 Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği, Birsen yayınevi, (2002).
- [5] ÖZAYDIN,K.,Zemin Mekaniği, Birsen yayınevi,(1999)
- [6] TERZAGHI,K.,PECK,R.B.,Mühendislik Tatbikatında Zemin Mekaniği Bölüm A, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası,(1980)
- [7] TERZAGHI,K.,PECK,R.B.,Mühendislik Tatbikatında Zemin Mekaniği Bölüm B, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası,(1980)
- [9] HEAD,K.,H.,Manuel of Soil laboratory Testing, Volume 3,John Wiley&Sons,(1998)

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Bahadır ADIYAMAN 1 Mayıs 1979 yılında Aydın'da doğdu. Orta öğretimini 1997 yılında Aydın Adnan Menderes Anadolu Lisesinde tamamladı. Lisans eğitimini İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde aldı ve 2001 yılında mezun olduktan sonra 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği yüksek lisans programında başladığı eğitime halen devam etmektedir.