

**LABORATUAR DENEYLERİNİN BİLGİSAYAR
ORTAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ ve
VERİ TABANI OLUŞTURULMASI**

Bülent DÜLGER
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran – 2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bülent Dülger'in "*Laboratuar Deneylerinin Bilgisayar Ortamında Değerlendirilmesi ve Veri Tabanı Oluşturulması*" başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN	
Üye	: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Gülgün ÜNAL	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12/06/2002 tarih ve 20/1.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LABORATUAR DENEYLERİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ VE VERİ TABANI OLUŞTURULMASI

BÜLENT DÜLGER

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
2002, 94 sayfa

Laboratuar ve arazi deneyleriyle belirlenen zeminin indeks ve fiziksel özellikleri bir çok geoteknik mühendisliği problemlerinin çözümünde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprak dolgu barajlar, istinat duvarları, şevler gibi mühendislik yapılarının tasarım ve inşası için laboratuar deneyleri veya arazi deneyleriyle belirlenecek parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada deneysel sonuçların hesaplanması için “Zemin Mekaniği Laboratuar Yazılımı” geliştirilmiştir. Yazılım deneysel verilerin değerlendirilmesi ve parametrelerin hesaplanması amacıyla tasarlanmıştır. Öncelikle zeminin indeks ve fiziksel özellikleriyle ilgili laboratuar deneylerinden bahsedilmiş, daha sonra ise deneylerden elde edilen sonuçlar “Zemin Mekaniği Laboratuar Yazılımı” ile değerlendirilmiştir. Bilgisayar programı veri toplama sistemi verileri kaydedebilme kabiliyetine sahiptir. Son olarak, sonuç bölümünde yazılımın avantajları ve dezavantajları ile daha sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Geoteknik, Laboratuar Deneyleri, Veri Tabanı,
Bilgisayar

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE EVALUATION OF LABORATORY EXPERIMENTS USING A COMPUTER PROGRAM AND DEVELOPING DATA BASE

BÜLENT DÜLGER

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
2002, 94 pages**

The index and physical properties of soils determined from laboratory and in-situ testing has been widely used to solve many geotechnical engineering problems. The design and construction of engineering structures such as earth dams, retaining structures, slopes, etc., need reliable parameters determined from either laboratory experiments or in-situ testing.

In this study, a computer program “Soil Mechanics Laboratory Software” was developed to evaluate the experimental results. The computer program was design for the purpose of evaluating the experimental data and storing the parameters. Fist of all, laboratory experiments related to index and physical properties of soils are mentioned. Later, experimental results obtained from laboratory tests were evaluated by using computer programs developed in this study. The computer program has ability of evaluation and storing data in the data base. Finally, advantages and disadvantages of the computer program and suggestions for further studies are given in conclusion.

Key words: Geotechnic, Laboratory Experiment, Data Base, Computer

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında öncelikle bilimsel ve moral desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a ve İnşaat Mühendisliği Bölümünün diğer öğretim elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince dersleri takip etmemde, izin konusunda gerekli kolaylığı göstermelerinden dolayı Tepebaşı Belediye Başkanı Sayın Ahmet ATAÇ'a ve şu anda çalışmakta olduğum D.S.İ. Gönen Biga ve Manyas Projeleri İnşaat Kontrol Şubesi Müdürü Sayın Mehmet ERİŞEN'e teşekkür ederim.

Tezime konu teşkil eden bilgisayar yazılımının hazırlanmasında bilgi ve tecrübesini esirgemeyen ve her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan sevgili abim Bil. Müh. Özkan DÜLGER'e ve ders ve tez aşamalarında yardımlarından dolayı değerli arkadaşlarım İnş. Müh. Emine GÜRSEL ve İnş. Müh. Ümit Arslan DEMİRYÜREK'e şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ZEMİNLERİN OLUŞUM ve TÜRLERİ.....	2
3. ZEMİNLERİN ÖZELLİKLERİ.....	3
3.1. Zeminlerin Fiziksel Özellikleri.....	3
3.1.1. Zeminlerin Faz Özellikleri.....	3
3.1.2. Zeminlerin Ana Özelliklerinin Tanımlanması ve İlişkileri.....	4
3.1.2.1. Su İçeriği.....	4
3.1.2.2. Kuru Birim Hacim Ağırlığı.....	5
3.1.2.3. Spesifik Gravite.....	5
3.1.2.4. Boşluk Oranı.....	5
3.1.2.5. Porozite.....	6
3.1.2.6. Doygunluk Derecesi.....	6
3.1.2.7. Göreceli Sıklık.....	6
3.1.2.8. Dane Boyutu Dağılımı.....	7
3.1.2.9. Zeminlerin Kıvamı ve Kıvam Limitleri.....	7
3.2. Zeminlerin Sınıflandırılması.....	9
3.2.1. Zemin Cinslerinin Genel Sınıflandırılması.....	9
3.2.2. Karayolları Sınıflandırma Sistemi.....	9
3.2.3. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması.....	11
3.3. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri.....	13
3.3.1. Dayanım.....	13
3.3.2. Konsolidasyon.....	15
3.3.3. Permeabilite.....	16
3.3.4. Zemin Stabilizasyonu ve Kompaksiyon.....	16
4. LABORATUAR DENEYLERİ.....	18
4.1. Zemin Örneklerinin Alınışı.....	18
4.2. Spesifik Gravitenin belirlenmesi.....	19
4.3. Kıvam Limitlerini Belirleme Deneyleri.....	20

4.3.1. Likit Limit Deneyi	21
4.3.2. Plastik Limit Deneyi	22
4.4. Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi	23
4.4.1. Elek Analizi	23
4.4.2. Hidrometre Analizi	25
4.5. Kompaksiyon Deneyi	28
4.6. Serbest Basınç Deneyi	29
4.7. Üç Eksenli Basınç Deneyi(UU)	30
4.8. Konsolidasyon Deneyi	32
4.9. Permeabilite Deneyleri	33
4.9.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi	34
4.9.2. Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi	35
5. ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUAR YAZILIMI	36
5.1. Zemin Mekaniği Laboratuar Yazılımı Kurulum Yönergesi	36
5.2. Zemin Mekaniği Laboratuar Yazılımı Kullanım Yönergesi	37
5.2.1. Programın Çalıştırılması Ve Tanım Tablolarının Oluşturulması	37
5.2.2. Su Muhtevası Deneyi	39
5.2.3. Spesifik Gravite Deneyi	39
5.2.4. Tane Çapı Dağılımı Deneyleri	39
5.2.5. Likit ve Plastik Limit Deneyleri	40
5.2.6. Rötire Limiti Deneyi	41
5.2.7. Kompaksiyon Deneyi	42
5.2.8. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi	42
5.2.9. Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi	43
5.2.10. Serbest Basınç Deneyi	43
5.2.11. Üç Eksenli Basınç Deneyi	44
5.2.12. Kesme Kutusu Deneyi	46
5.2.13. Konsolidasyon Deneyi	48
5.2.14. Programdan Çıktı Alınması	50
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	54
EK – 1 ÖRNEK DENEY RAPORLARI	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

3.1	Zeminin bileşenleri.....	3
3.2	Zeminin iki boyutlu faz diyagramı.....	4
3.3	Zemin suyunun sınıflandırılması.....	4
3.4	İyi derecelenmiş zemin.....	7
3.5	Kötü derecelenmiş zemin.....	7
3.6	Su içeriğinin zemin dayanımına etkisi.....	8
3.7	Zeminlerde su hacim ilişkisi.....	8
3.8	Plastisite kartı.....	13
3.9	Kayma ve basınç gerilmeleri arasındaki ilişki.....	14
3.10	Kırılma limitindeki gerilme daireleri.....	14
3.11	Granüler zeminlerde gerilme dairesi.....	15
3.12	Kohezyonlu zeminlerde gerilme dairesi.....	15
3.13	Konsolidasyon eğrisi.....	16
5.1	Programın tanıtım ekranı.....	37
5.2	Program tablolarının seçimi ve laboratuvar çalışanlarının girilmesinin gösterilmesi.....	37
5.3	Deney numunesi bilgilerinin girilmesinin gösterilmesi.....	38
5.4	Yapılacak deneyin isminin ve sorumlusunun ve tarihinin seçilmesi.....	38
5.5	Su muhtevası deneyi formunun gösterilmesi.....	39
5.6	Spesifik gravite deneyi formunun gösterilmesi.....	39
5.7	Elek analizi deneyi formunun gösterilmesi.....	39
5.8	Hidrometre analizi deneyi formunun gösterilmesi.....	40
5.9	Likit limit deneyi formunun gösterilmesi.....	40
5.10	Likit limit değerinin grafikte gösterilmesi.....	41
5.11	Plastik limit deneyi formunun gösterilmesi.....	41
5.12	Plastik limit likit limit ve plastisite indisi değerlerinin gösterilmesi.....	41
5.13	Rötre limiti deneyi formunun gösterilmesi.....	41
5.14	Kompaksiyon deneyi formunun gösterilmesi.....	42
5.15	Düşen Seviyeli Permeabilite deneyi formunun gösterilmesi.....	42
5.16	Sabit Seviyeli Permeabilite deneyi formunun gösterilmesi.....	43

5.17 Serbest basınç deneyi formunun gösterilmesi.....	43
5.18 Serbest basınç deneyi gerilme deformasyon grafiğinin gösterilmesi.....	44
5.19 Üç eksenli basınç deneyi formunun gösterilmesi	44
5.20 Üç eksenli basınç deneyi gerilme deformasyon grafiğinin gösterilmesi	45
5.21 Üç eksenli basınç deneyi mohr dairelerinin gösterilmesi.....	45
5.22 Kesme Kutusu deneyi formunun gösterilmesi	46
5.23 Kesme kutusu deneyi gerilme deformasyon grafiğinin gösterilmesi.....	46
5.24 Kesme kutusu deneyi yatay düşey deformasyon grafiğinin gösterilmesi	47
5.25 Kesme kutusu deneyi normal – kayma gerilmesi grafiğinin gösterilmesi.....	47
5.26 Konsolidasyon deneyi formunun gösterilmesi.....	48
5.27 Karekök zaman - deformasyon grafiği ekranının gösterilmesi.....	49
5.28 Boşluk oranı - basıncın logaritması grafiği ekranının gösterilmesi.....	49
5.29 Deney çıktıları baskı ön izleme ekranının gösterilmesi.....	50
5.30 Grafik çıktıları baskı ön izleme ekranının gösterilmesi.....	51
5.31 Arama ekranının gösterilmesi.....	52

TABLolar DİZİNİ

3.1	Zemin cinslerinin sınıflandırılması.....	10
3.2	Karayolları sınıflandırma sistemi tablosu.....	11
3.3	Birleştirilmiş zemin sınıflandırılması tablosu.....	12
4.1	Çeşitli sıcaklıklarda suyun birim ağırlığı düzeltme tablosu.....	20
4.2	Standart elek numaraları ve açıklıkları.....	24
4.3	Elek analizi için yaklaşık numune miktarları.....	25
4.4	K faktörünün sıcaklık ve G _s ile değişimi.....	27
4.5	G _s için α düzeltme faktörü tablosu.....	27
4.6	C _T sıcaklık düzeltme faktörü tablosu.....	27
4.7	Standart ve modifiye proktor deneyleri arasındaki farklar.....	28

1. GİRİŞ

Zemin mühendisliği, toprak barajlar, istinat duvarları, şevler ve bina temelleri gibi yapıların tasarımı ve çözümlenmesinde zemin mekaniği teorisini ve zemin özelliklerinin deneysel hesaplamalarını kullanmaktadır. Zemin mekaniği kinematik, dinamik, akışkanlar mekaniği ve malzeme mekaniği gibi disiplinleri içermekte, zeminin yoğunluğu, sıkışabilirliği ve kaymaya karşı olan direnci gibi ana mühendislik özelliklerini açıklamakta ve bunları yaparken arazi ve laboratuvar deneylerini kullanmaktadır.

Günümüzde hayatın her alanına girmiş bulunan bilgisayar yazılımlarının zamandan tasarruf etme ve işleri kolaylaştırma açısından bizlere ne denli katkılar sağladığı görülmektedir. Zemin mekaniği laboratuvar uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmış olan bir bilgisayar yazılımı, deneylere ait hesaplamaların yapılması ve grafiklerin oluşturulmasında laboratuvar çalışanları ve öğrencilerin zamanlarını daha verimli kullanmaları açısından faydalı olacaktır.

Zemin mekaniği laboratuvarında kullanılmak üzere geliştirilmiş olan ve bu teze konu teşkil eden Zemin Mekaniği Laboratuvar Yazılımı işleri hızlandırmanın yanı sıra daha önemli bir özellik olarak veri tabanı olarak çalışmaktadır. Yapılan deneylere ait veriler bir veri tabanında saklanmakta ve gerek duyulduğunda koordinat girilerek yapılan sorgulamayla istenilen komşuluk dairesi içerisinde kalan ve daha önce deneyleri yapılmış sondaj kuyularına ait sonuçlara kolayca ulaşılabilir. Bu özellik ise önceden yapılmış deney sonuçlarının da değerlendirilmesiyle arazi hakkında daha geniş bir bilgiye sahip olmamızı olanaklı kılmaktadır.

İzleyen bölümlerde zeminlerin türleri, zeminlerin fiziksel ve mühendislik özellikleri, standart laboratuvar çalışmaları ve Zemin Mekaniği Laboratuvar Yazılımı'nın kuruluşu, kullanımı ve sağlamış olduğu avantajlar sırasıyla anlatılacaktır.

2. ZEMİNLERİN OLUŞUM ve TÜRLERİ

İnşaat Mühendisliği'nde zemin olarak adlandırılan oluşumlar, jeolojik formasyonların su, rüzgar, donma gibi fiziksel etkenler ile kimyasal etkenler veya bunların birlikte etkisi sonucunda ayrışması ile oluşan mineral parçacıklarının, su ve gazlarla değişik oranlarda oluşturmuş olduğu karışımlar olarak tanımlanabilir. Zeminler içeriklerindeki su hava ve mineraller dışında katı madde olarak bir takım tuzları, alkalileri ve organik maddeleri de barındırabilirler. Özellikle organik maddelerin zemin bünyesine sonradan girmesine karşın diğerleri zeminlerin ilk oluşumları sırasında da zemin bünyesine katılmış olabilirler.

Bahsi geçen ayrışma süreci sonunda oluştukları yerde depozitlenen zeminler kalgan zeminler olarak, su, rüzgar gibi mekanik etmenler sonucu taşınarak başka bir yerde depozitlenen zeminler ise taşınmış zeminler olarak adlandırılır. Zeminler; kalgan zeminler ve taşınmış zeminler olarak yapılan bu jeolojik ayırım dışında, içeriklerindeki katı parçacıkların boyutlarına göre kaba daneli zeminler ve ince daneli zeminler olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Kaba daneli zeminler, çakıl ve kum olarak adlandırılırlarken ince daneli zeminler silt ve kil olarak adlandırılır.

Zeminleri yukarıda yapılan sınıflandırmaya ek olarak, içsel yapışma güçlerine göre kohezyonlu zeminler ve kohezyonsuz zeminler (granüler zeminler) olarak da inceleyebiliriz. Killer ve kil davranışı gösteren birtakım siltler kohezyonlu zeminler, kumlar, çakıllar ve çoğu siltler ise kohezyonsuz yani granüler zeminlerdir. Kumlar ve çakıllar içindeki orijinal kaya mineralleri fazla değişim göstermemiş olarak bulunur.

Uluslararası sınıflandırmalarda birbirlerinden bir miktar farklılıklar göstermesine karşın genel olarak 75 milimetreden büyük parçalar taş, 75 ile 4.75 milimetre arasında çapa sahip taneler çakıl, tane çapları 4.75 ile 0.075 milimetre arasında olan parçalar kum, 0.075 ile 0.005 milimetre arasında tane çapına sahip parçalar silt ve bunlardan daha küçük tane çapına sahip mineral parçacıkları ise kil olarak tanımlanır [1].

3. ZEMİNLERİN ÖZELLİKLERİ

İnşaat mühendisliğinde gerek yapı yükünü taşıması açısından gerekse bizzat yapı malzemesi olarak kullanılabilir olmasından dolayı zeminlerin özelliklerini belirlemek ve zemini bilimsel bir sınıflandırmaya tabi tutmak son derece önemlidir. Bu amaçla zemin özellikleri iki ana bakış açısı ile belirlenir. Bunlar fiziksel özellikleri ve mühendislik özellikleridir.

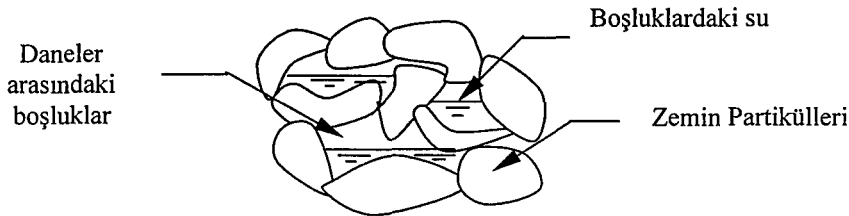
3.1 Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

Zeminlerin tanımlanmasında kullanılan başlıca fiziksel özellikleri zeminin içerdiği su ve boşluk oranı, yoğunluğu, sıklığı, kıvamı ve dane boyutudur. Bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla standart geoteknik deneyler yapılmaktadır.

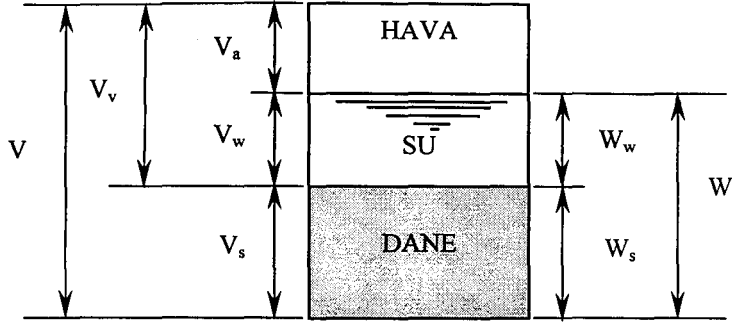
3.1.1 Zeminin faz özellikleri

Zeminler incelendiğinde üç ana fazdan meydana geldikleri görülür. Bunlar doğadaki tüm elementler için söz konusu olan katı, sıvı ve gaz fazlarıdır. Bu fazları zemin için düşündüğümüzde katı mineral parçacıkları, zemin içindeki boşluklarda bulunan hava ve sudur. Zemin taneleri arasında bulunan gözenek veya değişik boyutlardaki boşlukların bir kısmı veya tamamı su ile dolu durumda bulunur. Su bulunmayan boşluklarda ise hava veya su buharı bulunur. Aşağıda şekil 3.1 ve şekil 3.2’de bahsi geçen üç faz gösterilmektedir.

Zeminlerde katı madde olarak mineral parçacıklarının yanı sıra organik maddelerle birlikte organik kökenli olmayan birtakım tuzlar ve alkaliler de bulunabilmektedir. Zeminlerde ana sıvı madde ise sudur ve su zemin içerisinde çok nadir olarak saf olarak bulunur çoğu zaman süspansiyon olarak katı veya gazlarla karışmış durumdadır. Zemin içerisindeki üçüncü fazı ise hava ve serbest



Şekil 3.1 Zemin Bileşenleri [2]



Şekil 3.2 Zeminin hacim ve kütle ilişkilerinin iki boyutlu faz diyagramında gösterilmesi [3]

gazlar oluşturmakla birlikte ana gaz havadır. Zemin suyu içerisinde erimiş olarak bulunan katı ve gaz oranları düşük seviyededir bu nedenle pratik olarak sıvı fazın belirlenmesinde dikkate alınmazlar. Zemin mekaniğinde su dışındaki sıvılar ile hava dışındaki gazlar, eğer varlıkları zemin yapısı için sakıncalı ise dikkate alınarak incelenirler.

3.1.2 Zeminlerin ana özelliklerinin tanımlanması ve ilişkileri

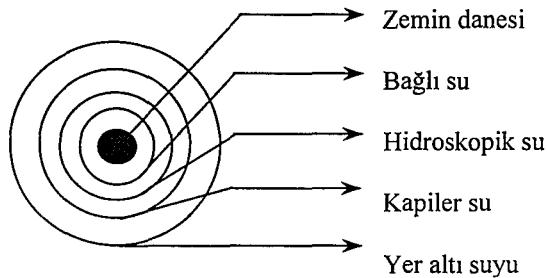
Uluslararası benimsenmiş simgelere uyumlu olmak açısından Türkçe zemin mekaniği literatüründe de aynı simgeler kullanılmaktadır. Aşağıda zeminlerin faz diyagramından yararlanılarak zeminlerin ana özellikleri ve aralarında ki bağıntılar açıklanmıştır.

3.1.2.1 Su içeriği

“Su içeriği” zeminlerin yapısında bulunan su ağırlığının zeminin içindeki katıların ağırlığına oranı olarak tanımlanmakta ve yüzdesel bir değer olarak hesaplanmaktadır.

$$w (\%) = 100 \times (W_w / W_s) \quad (3.1)$$

Burada; W_w, suyun ağırlığını ve W_s, tane ağırlığını göstermektedir.



Şekil 3.3 Zemin suyunun sınıflandırılması [4]

Doğal şartlarda tüm zeminler, çok kurak bölgelerdeki uç örnekler dışında az miktarda da olsa bünyelerinde su barındırmaktadırlar. Su içeriği deniz ve organik göl zeminlerde % 300 – % 400 değerlerine ulaşsa dahi çoğu zeminler için bu oran % 60'ın altındadır.

Zemin bünyesinde su dört şekilde bulunabilir, bunlar şekil 3.3'te gösterilen zemin taneciklerinin, nemli atmosferden topladıkları hidroskopik su, yüzey gerilimiyle zeminin üzerinde tutulan kapiler su, yer altı su seviyesi altında bulunan zemini çevreleyen yer altı suyu ve zeminin kimyasal yapısından dolayı bünyesinde bulunan bağlı sudur.

3.1.2.2 Kuru birim hacim ağırlığı

“Kuru birim hacim ağırlığı” zemin bünyesinde bulunan katıların ağırlığının zeminin boşluksuz birim hacmi için hesaplanan değeridir. Kullanılan birim sistemine göre gr/cm^3 veya kN/m^3 birimlerinden biriyle tanımlanır.

$$\gamma_s = W_s / V_s \quad (3.2)$$

Burada; W_s , katı tanelerin ağırlığını ve V_s , katı tanelerin hacmini göstermektedir.

3.1.2.3 Spesifik gravite

“Spesifik Gravite” zemin bünyesi içerisinde bulunan katı danelerin birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak tanımlanır ve birimsizdir. Aşırı organik zeminlerde bu değer 1.0 mertebesinde bulunsa da kumlu, çakıllı ve inorganik siltli zeminlerde 2,62 ile 2,68 aralığında, kil zeminlerde ise 2,70 ile 2.80 aralığındadır [2].

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w = (W_s / V_s) / \gamma_w \quad (3.3)$$

Burada; γ_s , kuru birim hacim ağırlığı ve γ_w , suyun birim hacim ağırlığıdır.

3.1.2.4 Boşluk oranı

“Boşluk oranı” tabii halde bulunan zemin içerisindeki boşlukların hacminin katı danelerin hacmine oranı olarak tanımlanır ve birimsiz bir değerdir. Genellikle ondalık sayı olarak gösterilir.

$$e = V_o / V_s \quad (3.4)$$

Burada; V_o , boşlukların hacmi, V_s , katı tanelerin hacmidir.

Burada boşluk hacmi; içinde eriyik maddeler de olsa zemin suyu ve başka gazlar dahi olsa hava hacmi toplamı kastedilmektedir. Boşluk oranı değerleri tabii kumlar için 0.50 ile 0.80 aralığında, kohezyonlu zeminler içinse 0.70 ile 1.10

aralığındadır. Ancak turbalar gibi çok gevşek zeminlerde bu değer nadiren de olsa 2.00 mertebesine ulaşabilir [4].

3.1.2.5 Porozite

“Porozite” zeminlerin boşluk durumunu belirleyen diğer bir ögedir ve zemin bünyesinde bulunan boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak tanımlanır. Porozite de boşluk oranında olduğu gibi yüzdesel olarak değil ondalık sayı olarak gösterilir. Tanımsal olarak 0 ile 1 değerleri arasında olmasına karşın tabi zeminlerde porozite değeri 0.25 ile 0.70 aralığındadır.

$$n = V_o / V \quad (3.5)$$

Burada; V_o , boşlukların hacmi, V , toplam hacimdir.

3.1.2.6 Doygunluk derecesi

“Doygunluk Derecesi” zemin içerisinde bulunan su hacminin toplam boşluk hacmine oranı olarak tanımlanır ve genellikle yüzdesel olarak ifade edilir.

$$S_{\%} = 100 \times V_w / V_o \quad (3.6)$$

Burada; V_w , suyun hacmi, V_o , toplam boşluk hacmidir.

Tüm boşlukları su ile dolu zeminler % 100 doyumluk derecesine sahiptirler ve böyle zeminler için suya doyum zeminler ifadesi kullanılır.

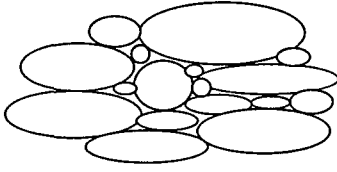
3.1.2.7 Göreceli sıklık

Kumlar ve çakıllar gibi granüler zeminler için zeminin gevşek yada sıkı olması sadece porozite ile ifade edilemez. Zemin danelerinin şekli ve üniformalıkları poroziteyi önemli ölçüde etkiler. Zeminin sıklığı ancak zeminin en gevşek ve en sıkı hallerdeki porozitesinin karşılaştırılması ile elde edilebilir. Bu değer ise yüzdesel olarak rölatif sıklık veya göreceli sıklık terimleriyle ifade edilir.

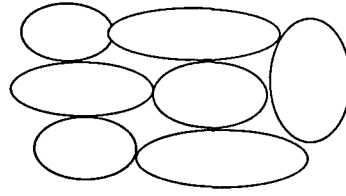
$$D_r = 100 \times (e_{\text{maks}} - e) / (e_{\text{maks}} - e_{\text{min}}) \quad (3.7)$$

Burada; e , e_{maks} , e_{min} , sırasıyla referans, en büyük ve en küçük boşluk oranıdır.

Göreceli sıklık dinamik yüklemelere maruz kalan granüler zeminlerde sıvılaşma olarak ifade edilen zeminin hiçbir mekanik direnç göstermemesi riskinin bulunup bulunmadığının incelenmesinde ve yapay dolguların sıklık kontrolünde önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.4 İyi derecelenmiş zemin.



Şekil 3.5 Kötü derecelenmiş zemin.

3.1.2.8 Tane boyutu dağılımı

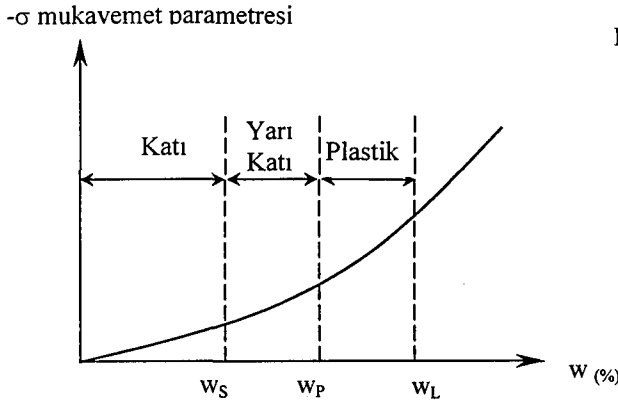
Zemin bünyesinde bulunan mineral bloklarının veya parçacıklarının dıştan dışa en büyük boyutları dane çapı olarak adlandırılır. Zemin danelerinin çapları ve boyutlarına göre zemin içerisinde bulunma oranları; zeminlerin sınıflandırılmasında büyük ölçüde önem taşır. Dane boyutu ve dağılımı zeminlerin mekanik davranışlarının da belirlenmesinde ana özelliklerdendir. Zeminlerin bu boyutsal özelliklerinin tümüne zeminin granülometrisi adı verilir.

Zemin içerisinde büyükten küçüğe doğru her boyutta zemin danesi bulunuyor ve küçük boyuttaki daneler büyük daneler arasında kalan boşlukları doldurarak en az düzeyde tutuyorsa böyle zeminlere iyi derecelenmiş zeminler adı verilir. Tersi durumdaysa zemin kötü derecelenmiştir denir. Zeminlerin dane çapı dağılımlarını belirlemek için elek analizi ve daha küçük çaptaki daneler içinse hidrometre analizi yapılmaktadır. Bu deneyler ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

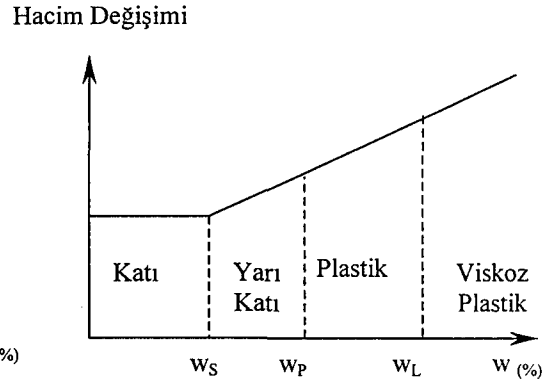
3.1.2.9 Zeminlerin kıvamı ve kıvam limitleri

Kıvam, kohezif zeminlere özgü bir tanımlama olup, zeminin suya bağlı olan davranışını ifade eder. Zeminin, bünyesinde bulunan suyun miktarına göre katılık, yumuşaklık ve akıcılık gibi özellikleri değişmekte bu değişim de zeminin kayma mukavemeti ve taşıma kapasitesi gibi mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Zemin dayanımının su içeriğiyle değişimi şekil 3.6 da gösterilmiştir.

Zemin bünyesindeki su içeriği tek başına kıvam kavramını ifade etmede yeterli değildir. Aynı su içeriğine sahip bir zemin oldukça sert görünürken bir diğeri ise yumuşak olabilir. Ayrıca su içeriğindeki çok az miktardaki değişim bir zeminde büyük kıvam değişikliğine neden olurken bir diğesinde bu durum gözlenmeyebilir.



Şekil 3.6 Su içeriğinin zemin dayanımına etkisi.



Şekil 3.7 Zeminlerde su hacim ilişkisi

İsveçli bilim adamı Atterberg tarafından kohezif zeminleri kıvamlarına göre sınıflandırmada önerilen limit değerler dünya çapında kabul görmüş olup ve Atterberg Limitleri olarak anılmaktadır. Atterberg'e göre kıvamları açısından zeminler likit durum, plastik durum, yarı katı durum ve katı durum olmak üzere dört ana halde incelenebilirler. Bahsi geçen bu dört durumdan bir diğerine geçişteki limit su içerikleri zeminin kıvam limitlerini verir. Bunlar likit, plastik ve rötre limiti olarak adlandırılırlar.

Likit limit zeminin su içeriği artarken tamamen viskoz bir sıvı özelliği gösterip tüm dayanım özelliklerini yitirdiği su içeriği değeridir. Plastik limit zeminin plastik bir malzeme olarak davranmaya başladığı su içeriği değeridir. Rötre limiti ise zeminin yarı plastik bir malzemeden katı bir malzemeye dönüştüğü su içeriğidir. Rötre limitinde bulunan bir zemin içindeki tüm boşluklar %100 suya doygundur. Bu su içeriği altında değerlere ulaşmak için zemin kurutulursa dahi zemin hacminde bir değişiklik olmaksızın boşluklardaki suyun yerini hava alır. Rötre limiti üzerindeki su içeriklerinde ise zeminin hacminde değişiklik meydana gelir. Bir zemini rötre limitine getirmek için harcanan su miktarı ne kadar düşükse bu zeminin hacim değişikliğine o denli yatkın olduğunu görülür. Zeminlerin su içeriği hacim ilişkisi şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Plastisite indisi kohezyonlu zeminlerin plastiklik özelliklerini bir belirteci olup zeminin mekanik olarak şekil değiştirmeksizin şeklini koruyabildiği su içeriği sınır değerleri arasındaki farktır. Bu sınır değerler ise likit limit ve plastik

limit değerleridir. Bahsi geçen aralıkta zemin plastik madde özelliği gösterir ve platisite indisi hiçbir zaman negatif değerler almaz.

$$I_p = w_L - w_p \quad (3.8)$$

Burada I_p , w_L , w_p sırasıyla platisite indisi, likit limit ve plastik limittir.

Likitite indisi ise zeminin doğal su içeriği ile plastik limitin platisite indisine oranı olarak formüllendirilmiştir. Likitite indisi $0 < L_L < 1$ aralığında ise zeminin plastik bölgede, $L_L > 1$ ise de zemin likit bölgededir.

$$I_L = (w_n - w_p) / I_p \quad (3.9)$$

Burada I_L , w_n , w_p , I_p sırayla likitite indisi, doğal su içeriği, plastik ve likit limittir.

3.2 Zeminlerin Sınıflandırılması

Zeminlerin genel olarak kohezyonlu ve granüler veya iri ve ince daneli olarak kabaca sınıflandırılmalarına karşın bu sınıflandırma çok geneldir ve çok geniş fiziksel ve mühendislik özelliklerini kapsar. Bir zemin türünün herhangi bir tür mühendislik işlevi için uygunluğunun araştırılması için daha özel bir sınıflandırmaya gereksinim vardır. Bu amaçla geliştirilmiş sistemlerden üç tanesi genel kabul görmüştür. Bunlar; zemin cinslerinin genel sınıflandırılması, birleştirilmiş zemin sınıflandırılması, karayolları sınıflandırma sistemleridir.

3.2.1 Zemin cinslerinin genel sınıflandırılması

Zeminler kaba daneli, ince daneli ve organik zeminler olmak üzere üç ana guruba ayrılmıştır. Bu gruplar da kendi içlerinde çakıl, kum, silt, kil ve turba olarak bölünmüştür.

3.2.2 Karayolları sınıflandırma sistemi

Karayolları sınıflandırma sisteminde zeminler A_1 'den A_7 'ye kadar sıralanan yedi gruba bölünmüştür. Her grubun kendi karakteristikleri vardır. Bazı gruplar arada kalan zemin cinslerinin belirlenmesi için kendi içlerinde tekrar bölünmüştür. Tablo soldan sağa ve yukarıdan aşağıya olmak üzere eliminasyon yöntemiyle kullanılır. Tablo " $GI = 0.2 \times a + 0.005 \times a \times c + 0.01 \times b \times d$ " formülü ile bulunan indeks yardımıyla kullanılır.

Burada;

a = No:200'den geçen kısmın 35'ten fazla olan ve 75'i geçmeyen kısmı pozitif ve tam sayı olarak (0 ~ 40)

Tablo 3.1 Zemin cinslerinin genel sınıflandırılması

BASİT TİPLER		ÖNEMLİ KARMA TİPLER	MUKAVEMET ve BÜNYESEL ÖZELLİKLER			
İSİM	ARAZİDE TANIMI					
Dane Çapının Artımı →	Kohezyonsuz	Çakıllar	Ekseri daneler, No:7 B.S. eleğinin (1/16 in.) üstündedir	Taşlı çakıllar kumlu çakıllar killi çakıl		
		Kaba Kumlar	Ekseri daneler, No:7 ve 25 B.S. eleklerinin arasındadır.	İyi derecelenmiş kum	Sıkı: Kazı için kazmaya gereksinim duyulur.	Homojen veya tabaka halinde oluşum
		Orta Kumlar	Ekseri daneler, No:25 ve 72 B.S. eleklerinin arasındadır.	Siltli kumlar	Gevşek: Bir kürek ile kazılabilir.	
		İnce Kumlar	Ekseri daneler, No:72 ve 200 B.S. eleklerinin arasındadır. Genişleme gösterirler (Daneler çıplak gözle görülebilir. Kuru iken kohezyon yok)	Killli kumlar Kavklı kumlar		
	Kohezyonlu	Siltler	Ekseri daneler No. 200 B.S. eleğinden geçer. Daneler gözle görülemez veya zor görülebilir. Ele pütürlü hissi verirler. Genişleme gösterirler. Kuru oldukları zaman az kohezyon gösterirler.	Organik Silt Mikalı Silt	Katı Yumuşak	
		Killler	Hakim dane çapı 0.002 mm'nin altındadır. Kaygan tesir bırakır. Plastik genişleme yoktur. Kuru iken önemli dercede kohezyon gösterirler	Çakıllı Kil Kumlu Kil Siltli Kil Marnlar Organik kil	Sert: Parmakla şekil verilemez. Katı: Parmakların kuvvetli basıncı ile şekil verilebilir. Yumuşak: Parmakla kolayca şekil verilebilir.	Fisürlü yapraklı Hava tesirine maruz kalmış veya kalmamış

b = No:200'den geçen kısmın 15'ten fazla olan ve 60'i geçmeyen kısmı pozitif ve tam sayı olarak (0 ~ 40)

c = Likit limit değerinin 40'tan fazla olan ve 60'ı geçmeyen kısmı, pozitif ve tam sayı olarak (0 ~ 20)

d = Plastisite indisi değerinin 10'dan büyük olan ve 30'u geçmeyen kısmı, pozitif ve tamsayı olarak (0 ~ 20) alınır. Grup indeksi en yakın tam sayı olarak alınmalıdır. Bu indeks ne kadar büyükse zemin otoyol inşaatı için o denli az uygundur.

Tablo 3.2 Karayolları Sınıflandırma Sistemi Tablosu

Grup Sınıflandırması	A - 1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Elek analizi geçen danelerin %'si											
No:10	50max										
No:40	30max	50max	51min								
No:200	15max	25max	10max	35max	35max	35max	35max	36min	36min	36min	36min
No:40'tan geçen kısmın karakteristiği											
Likit Limit				40max	41min	40max	41min	40max	41min	40max	41min
Plastisite İndisi	6 maks		N.P.	10max	10max	11min	11min	10max	10max	11min	11min
Grup İndeksi	0		0	0		4max		8max	12max	16max	20max
Başlıca bileşenlerin isimleri	Taş Parçaları Çakıl ve Kum		İnce Kum	Siltli veya Killi Çakıl ve Kum				Siltli Zeminler		Killi Zeminler	
Temel zemini olara genel hali	Çok iyi ile iyi					Orta ile Zayıf					

3.2.3 Birleştirilmiş zemin sınıflandırılması

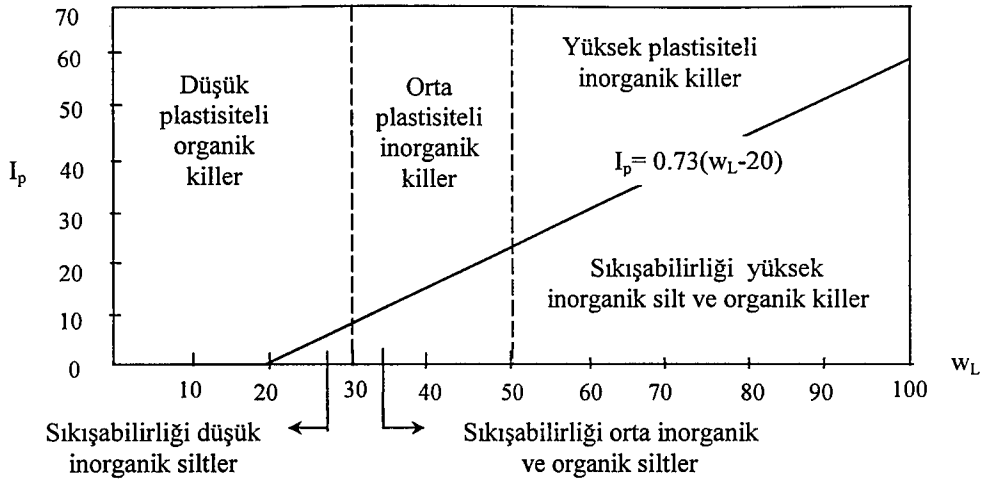
Birleştirilmiş zemin sınıflandırması, dünya çapında en çok kabul görmüş, ülkemizde de en çok kullanılan zemin sınıflandırma sistemidir ve Casagrande'nin 1942 yılında askeri hava alanları üzerinde yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Bu sınıflandırma sisteminde zeminler dane boyutlarına göre iri ve ince daneli olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Daha sonra iri daneli zeminler dane boyutlarına göre, ince daneli zeminler ise plastisite özelliklerine göre alt gruplara ayrılır. Her zemin grubu iki sembolle belirtilir. Bu belirtmede ilk sembol ana zemin grubunu, ikincisi ise alt bölümleri gösterir.

Zemin Tipi	İlk Sembol	Alt Grup	İkinci Sembol
Çakıl	G	İyi derecelenmiş	W
Kum	S	Kötü derecelenmiş	P
Silt	M	Siltli	M
Kil	C	Killi	C
Organik	O	$W_L < \%50$	L
Turba	Pt	$W_L > \%50$	H

Zeminin % 50'den fazlası 200 no'lu eleğin üzerinde kalıyorsa zemin kaba daneli, aksi halde ise ince danelidir. Kaba daneli zeminin % 50'den fazlası 4 no'lu elek üzerinde kalıyorsa zemin çakıl aksi halde ise kumdur. Zemin ince daneli ise kil veya silt zeminlerden hangisi olduğu plastisite kartından belirlenir, (Şekil 3.8).

Tablo 3.3 Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Tablosu

ANA GRUPLAR			SEMBO	TİPİK İSİMLENDİRME	Laboratuvar Sınıflandırma Kriterleri			
Kaba Danelli Zeminler (Malzemenin %50'den fazlası No:200'den büyüktür.)	Çakıllar Malzemenin %50'den fazlası No:4'den büyüktür.	Temiz çakıllar (ince çakıllar az veya yok)	GW	lyi derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımları (ince daneleri az veya yok)	Granülometri eğrisinden çakıl ve kum yüzdeleri bulunur. 200 no'lu elekten geçen ince malzeme oranına göre iri daneli zeminler aşağıda ki gibi sınıflandırılır. %5'ten az: GW,GP,SW,SP %12'den fazla: GM,GC,SM,SC %5-12 sınır halindedir. İki sembol birlikte kullanılır	Cu = D60 / D10 > 4 Cc = D30 ² x D60 / D10 = 1~ 3'		
			GP	Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımları (ince daneleri az veya yok)		GW'nin granülometri şartlarını karşılamayanlar		
		İnce malzemeli çakıllar	GM	Siltli çakıllar çakıl, kum, silt karışımları		Atterberg limitleri A hattının altında Ip<4	Atterberg limitleri A hattının üstünde ve Ip 4~7 ise sınırdadır iki sembol de kullanılır	
			GC	Killi çakıllar çakıl, kum kil karışımları		Atterberg limitleri A hattının üstünde Ip>7		
	Kumlar Malzemenin %50'den fazlası No:200'den küçüktür.	Temiz kumlar (ince kumlar az veya yok)	SW	lyi derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar (ince daneleri az veya yok)		Cu = D60 / D10 > 6 Cc = D30 ² x D60 / D10 = 1~ 3		
			SP	Kötü derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar (ince daneleri az veya yok)		SW'nin granülometri şartlarını karşılamayanlar		
		İnce malzemeli kumlar	SM	Siltli kumlar, kum-silt karışımları		Atterberg limitleri A hattının altında Ip<4	Ip 4~ 7 ise sınırdadır iki sembol birlikte kullanılır	
			SC	Killi kumlar, kum-kil karışımları		Atterberg limitleri A hattının üstünde Ip>7		
İnce Danelli Zeminler (Malzemenin %50'den fazlası No:200'den küçüktür.)	Siltler ve Killer LL < 50	ML	İnorganik silt ve çok ince kumlar, kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar					
		CL	İnorganik killer (düşük ile orta plastisiteli) çakıllı killer, kumlu killer, siltli killer, yağsız killer					
		OL	Organik siltler, ve düşük plastisiteli organik silt-kil karışımları					
	Siltler ve Killer LL > 50	MH	İnorganik siltler mikalı veya kavkılı ince kumlar veya siltli zeminler, elastik siltler					
		CH	Yüksek plastisiteli inorganik killir, silt-kil karışımları					
		OH	Ortadan yükseğe plastisiteli organik killer, organik siltler, karışımları					
	Fazla Organik Zeminler	Pt	Turba ve diğer fazla organik zeminler, karışımları					



Şekil 3.8 Plastisite Kartı [4]

Plastisite kartı

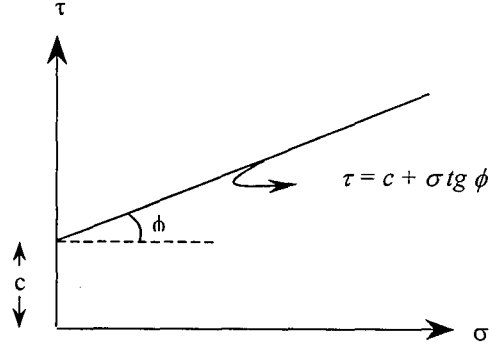
Bu kartta “y” ekseninde plastisite indisini ve “x” ekseninde de bu indise karşılık gelen su içeriğini göstermektedir. Plastisite kartı üçü $I_p = 0.73(w_L - 20)$ doğrusunun üstünde, üçü de bu doğrunun altında olmak üzere altı bölgeden oluşmaktadır. Doğrunun üst tarafında bulunan zeminler inorganik killer, alt tarafında bulunan zeminler ise organik killer ve organik siltlerdir. Plastisite indisinin 4 ile 7 aralığında olduğu ve $I_p = 0.73(w_L - 20)$ eğrisinin soluna düşen zeminler düşük plastisiteli siltler ile killer arasındaki geçiş bölgesini oluştururlar[4].

3.3 Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

3.3.1 Dayanım

Dayanım, zeminler için maruz kaldığı yükler altında mekanik bütünlüğünü yitirmeden gösterdiği taşıma gücü kapasitesi olarak tanımlanabilir. Dayanıma etki eden gerilmeler kayma, basınç ve çekme gerilmeleri olarak sıralanabilir. Ancak zeminlerin çekme dayanımları oldukça düşük mertebelere sahiptir. Dolayısıyla çekme gerilmesi zemin mekaniği hesaplamalarında dikkate alınmaz. Zemin dayanımını belirlemede esas olan kayma gerilmesidir.

Zeminlerin kayma gerilmesi iki temel niteliğe bağlıdır. Bunlar zeminin “c” kohezyonu ve “ ϕ ” içsel sürtünmesidir. Coulomb hipotezine göre zeminin birim yüzeyi için toplam direnç “ $\tau = c + \sigma \tan \phi$ ” bağıntısıyla verilmiştir[5]. Burada τ kayma gerilmesini gösterirken σ ise zemin yüzeyine dik olarak etkiyen basınç gerilmesini göstermektedir.

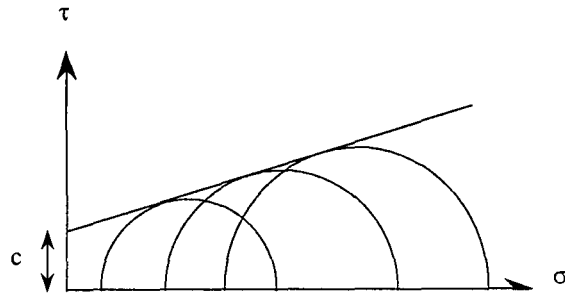


Şekil 3.9 Kayma ve basınç gerilmeleri arasındaki ilişki

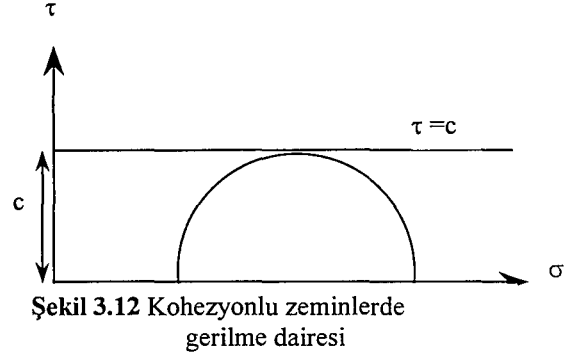
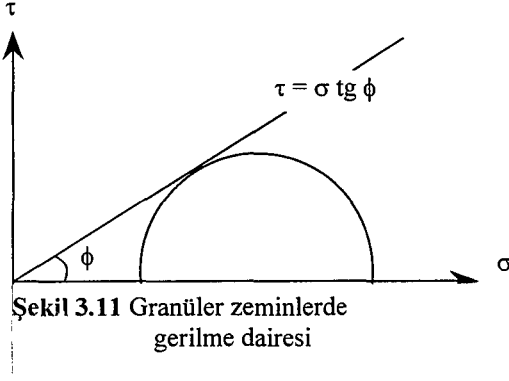
Coulomb yasasına göre kırılma $\tau > c + \sigma \text{tg } \phi$ şartı gerçekleşirse meydana gelir. $\tau = c + \sigma \text{tg } \phi$ doğrusunun altında kalan herhangi bir gerilme durumunu gösteren gerilme dairesine sahip zemin için kırılma söz konusu değildir (şekil 3.9). Bu doğruya teğet olan daireler kırılma için limit hali gösterir. Bu durum şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Granüler zeminlerde içsel sürtünme açısı yerleşim sıklığıyla doru orantılıdır ve genellikle 27° ile 35° aralığında bulunmaktadır. Çok sıkı yerleşmiş kum ve çakıllarda ve bunların karışımlarında bu değer 45° ile 50° gibi değerlere de ulaşabilmektedir.

Kil zeminlerde kohezyon, çok yumuşak killerde $0.025 - 0.125 \text{ kg/cm}^2$ gibi düşük değerlerden başlayıp katılık durumlarına göre artmaktadır. Yumuşak killerde $0.15 - 0.35 \text{ kg/cm}^2$, orta katı killerde $0.35 - 0.60 \text{ kg/cm}^2$, katı killerde $0.60 - 1.00 \text{ kg/cm}^2$, çok katı killerde $1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$ değerlerinde bulunan kohezyon 2.00 kg/cm^2 değerinin üzerine de çıkabilmektedir. Ayrıca killi zeminlerde içsel sürtünme açısı genel olarak $0^\circ - 11^\circ$ aralığında olup bazı killerde $15^\circ - 17^\circ$ değerlerine de ulaşabilmektedir.



Şekil 3.10 Kırılma limitindeki gerilme daireleri

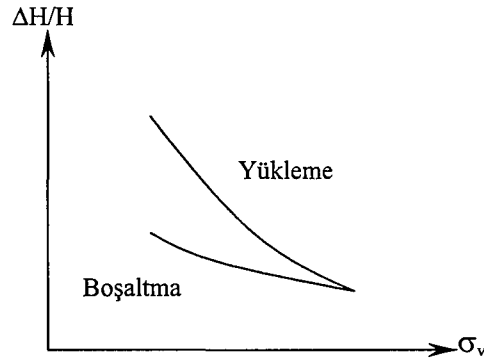


Kayma dayanımını tek bir değer olarak dikkate almak sağlıklı değildir, çünkü kayma dayanımı yüklenme, boşaltma, su içeriği gibi parametrelerden fazlasıyla etkilenmektedir. Zeminlerin kayma dayanımları ifade edilirken bahsi geçen parametreler de göz önünde bulundurulmalıdır. Zeminlerin kayma dayanımlarını belirlemek için serbest basınç, üç eksenli basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılmaktadır. Bu deneyler ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. anlatılacaktır.

3.3.2 Konsolidasyon

Zeminlerde kendi ağırlıkları sonucu yada üzerlerine etkiyen sabit yükler sonucunda bir takım oturmalar meydana gelebilmektedir. Kil zeminlerde sabit yük altında zemin bünyesinde bulunan suyun dışarı atılmasıyla hacimde meydana gelen değişim konsolidasyon olarak adlandırılmaktadır. Yük etkisi altında kil zemin içindeki boşluk suyu granüler geçirimli tabakalar geçerek direne olur. Boşluk suyunu kaybeden zemin boşlukları ise ezilerek kapanır. Kil zeminlerde bu şekil değiştirme tamamen elastik bir şekilde gerçekleşmez. Hatta bu şekil değiştirmenin büyük kısmı plastik bir şekil değiştirmedir. Bu nedenle yüklemenin kalkması sonucu zemin eski durumuna gelmez. Ancak kil zemin bünyesine yeniden su girişi olması durumunda şişme ve kabarmalar oluşabilir.

Granüler zeminlerde ise oturma elastik sıkışmalar olup yük kalktığında yada azaltıldığında ortadan kalkar yada önemli ölçüde azalır. Konsolidasyon terimi zemin mekaniğinde, tanımı gereği kil zeminler özgü bir davranış olsa da granüler zeminler için de kullanılabilir. Zemin içinde bulunan suyun hareket edebilme özelliği değişik zeminlerde farklı farklı olacağından suyun zemin bünyesini terk etme süresi dolayısıyla konsolidasyon süresi, sıkışmanın hesaplanmasında gerilme ve şekil değiştirmeye birlikte dikkate alınır.



Şekil 3.13 Konsolidasyon eğrisi [1]

3.3.4 Permeabilite

Zemin mekaniğinin en önemli problemlerinden biri de zemin içerisinde bulunan suyun zeminin mühendislik özelliklerine olan etkisidir. Zeminin kıvamı su içeriğinin değişimiyle çok sert bir halden viskoz bir sıvıya değişebilmektedir. Bu da zemin dayanımını doğrudan etkilemektedir.

Suyunun zemin içerisindeki hareketi zemin boşlukları arasından suyun akması şeklindedir. Suyun zemin içindeki akım hızı zemin daneleri arasındaki boşlukların miktarı ve birbirleriyle olan bağlantıları ile doğru orantılı suyun viskozitesiyle ters orantılıdır. Zeminin bu geçirgen özelliğine permeabilite denir. Suyun birim zamanda kat ettiği birim yol ise Permeabilite katsayısı olarak tanımlanır ve k harfi ile gösterilir. Bu katsayı çakıllarda 10^{-2} m/s değerinden büyük iken temiz kumlarda $10^{-2} \sim 10^{-5}$ m/s düzgün killerde $10^{-5} \sim 10^{-8}$ m/s Fisürlü killerde ise $10^{-4} \sim 10^{-8}$ m/s aralıklarında değerler almaktadır[4].

3.3.4 Stabilizasyon ve kompaksiyon

Zeminlerin yüksek oranlarda sıkışabilir olduğu, kıvam limitlerinin uygun olmadığı, veya geçirgenliğinin yüksek olduğu durumlarda temel yada yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Bu iyileştirme işlemi zemin stabilizasyonu olarak adlandırılır.

Zemin stabilizasyonu gerektiği hallerde zeminin birim ağırlığı artırılarak, zemine kimyasal veya fiziksel katkı maddeleri eklenerek ve yeraltı suyu drene edilerek sağlanabilir. Bu teknikler seçilirken zeminin özel şartları ve ekonomik alternatifler göz önünde bulundurulmalıdır.

En genel kullanılan ve ekonomik olan stabilizasyon yöntemi ise kompaksiyon yöntemidir. Kompaksiyon zemine uygulanan mekanik enerjiyle zeminin sıkıştırılarak birim hacim ağırlığını arttırmak anlamını taşımaktadır. Mekanik enerji silindiriraj, tokmaktama ve vibrasyon gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Kohezyonlu zeminler için darbeli kompaksiyon yöntemleri granüler zeminler için ise titreşimli kompaksiyon yöntemleri kullanılmaktadır. Sıkıştırılan zeminlerde kayma mukavemeti artışı, permeabilite düşüşü ve azalan boşluk oranına bağlı olarak konsolidasyon miktarının azalması gibi iyileşmeler gerçekleşir.

4 . LABORATUAR DENEYLERİ

Gerek kendisi yapı malzemesi olarak gerekse yapı yüklerinin taşıyıcısı olarak kullanılan zeminlerin yapılacak yapı için uygunluğunun araştırılmasında gereken parametreler deneysel çalışmalar ve hesaplamalar sonucu elde edilmektedir.

Laboratuar deneyleri zeminlerin indeks özelliklerini bulmaya yönelik olan deneyler ve mühendislik özelliklerini bulmaya yönelik deneyler olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Zeminin indeks özelliklerini belirlemede yapılan deneysel çalışmalar; su içeriğinin belirlenmesi, spesifik gravitenin belirlenmesi, elek analizi, hidrometre analizi ve kıvam limitlerinin belirlenmesi olarak sıralanır. Zeminlerin ana mühendislik özelliklerini belirlemek için yapılan deneysel çalışmalar ise; üç eksenli basınç deneyi, serbest basınç deneyi, kesme kutusu deneyi, konsolidasyon deneyi, kompaksiyon deneyi ve permeabilite deneyi olarak sıralanabilir.

4.1 Zemin Örneklerinin Alınışı

Laboratuar için alınan zemin örnekleri araştırma profilinin bir kaç metreyi aşmadığı durumlarda el burgusu yada sahada açılan gözlem çukurlarının taban ve çeperlerine ince cidarlı özel tüpler batırılarak alınır. Zemin mühendisliğinde çoğu zaman bu kadar sığ tabakalardan alınan örnekler tasarım parametrelerini belirlemede yeterli değildir. Derin bir zemin profili araştırması için otuz, kırk metre gibi derinliklere sondaj yapılarak ulaşılabilir ve bu derinliklerden zemin örnekleri çıkartılır.

Sondajlar sonunda karot yada shelby tüpleriyle dikkatlice alınan örnekler örselenmemiş örnekler olarak adlandırılır ve bu örnekler zeminin doğal durumunu temsil etme açısından başarılıdır. Bu örnekler özellikle zeminlerin mühendislik özelliklerini belirleme deneylerinde kullanılmaktadırlar.

Örselenmiş zemin örnekleri ise el burgularıyla yada sondaj sırasında sondaj kuyusu içine indirilen özel bir aletle alınan ve zeminin doğal durumunu temsil etmeyen örneklerdir. Örselenmiş örnekler daha çok zeminlerin fiziksel özelliklerini belirleme deneyleri için kullanılırlar. Ancak laboratuar şartlarında zeminin doğal durumunu yakalamaya çalışılarak yapılan sıkıştırma işlemi sonunda mühendislik özelliklerini belirleme deneylerinde de kullanılmaktadırlar.

Arazide alınan örselenmemiş zemin örnekleri örnek alıcının açık bulunan uçları hemen parafinlenerek koruma altına alındıktan sonra; aynı şekilde örselenmiş örnekler de su içeriklerini korumak amacıyla ağzı kapalı cam kavanozlara yada plastik torbalara konduktan sonra konum ve derinlikleri etiketlenerek laboratuara ulaştırılırlar.

4.2 Spesifik Gravitenin Belirlenmesi

Spesifik Gravite zemin bünyesi içerisinde bulunan katı danelerin birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak tanımlanır.

$$G_s = (W_s / V_s) / \gamma_w$$

G_s , Spesifik Gravite (birimsiz)

W_s , Katı danelerin ağırlığı, g

V_s , Katı danelerin hacmi, cm^3

γ_w , Suyun birim ağırlığı, $1 g/cm^3$

Deneyde kullanılan araç gereçler

Piknometre ($250 cm^3$ veya $500 cm^3$ hacminde), terazi (0.01 g hassasiyette), termometre, desikatör, etüv, vakum pompası, No.4 elek altı malzeme, damıtılmış su, piset.

Piknometrenin kalibrasyonu

Laboratuarda kullanılan standart piknometre hacmi $20^\circ C$ sıcaklık için belirlenmektedirler. Bu sıcaklık dışındaki sıcaklıklar için piknometre hacminde bir düzeltmeye ihtiyaç duyulur. Değişik sıcaklıklarda düzetme faktörü ve suyun birim hacim ağırlıkları tablo 4.1'de verilmiştir.

Deneyin yapılışı

- Piknometre boş olarak tartılır ve kaydedilir. (W_p)
- Etüvde kurutulmuş No.4 elek altı malzemeden kullanılan piknometrenin hacmine göre 50g veya 100g civarında alınarak piknometrenin içine yerleştirilir ve tartılarak kaydedilir. (W_{ps})
- Piknometre üçte bir oranında damıtılmış suyla doldurularak vakum pompasına bağlanır. Vakumlama işlemi gerçekleştirilirken hava çıkışını kolaylaştırmak amacıyla piknometre dikkatlice çalkalanır. Bu işleme hava çıkışı sona erene dek devam edilir. Daha sonra piknometreye üçte ikisi ve tamamı dolana kadar damıtılmış su eklenerek aynı işlem tekrarlanır. Hava çıkışı bittikten sonra piknometreye hacim çizgisine kadar damıtık su eklenir.

Tablo 4.1 Çeşitli sıcaklıklarda suyun birim ağırlığı ve düzeltme faktörü tablosu

Sıcaklık (°C)	γ_w (g/cm ³)	Düzeltilme Faktörü (k)	Sıcaklık (°C)	γ_w (g/cm ³)	Düzeltilme Faktörü (k)
16	0.99897	1.0007	16.5	0.99899	1.0007
17	0.99889	1.0006	17.5	0.99871	1.0005
18	0.99862	1.0004	18.5	0.99853	1.0002
19	0.99843	1.0002	19.5	0.99833	1.0001
20	0.99823	1.0000	20.5	0.99812	0.9999
21	0.99802	0.9998	21.5	0.99791	0.9997
22	0.99780	0.9996	22.5	0.99768	0.9995
23	0.99757	0.9993	23.5	0.99745	0.9992
24	0.99732	0.9991	24.5	0.99720	0.9990
25	0.99707	0.9988	25.5	0.99694	0.9987
26	0.99681	0.9986	26.5	0.99668	0.9984
27	0.99654	0.9983	27.5	0.99640	0.9982
28	0.99626	0.9980	28.5	0.99612	0.9979
29	0.99597	0.9977	29.5	0.99582	0.9976
30	0.99567	0.9974			

- Piknometre 0.01 g hassasiyetteki terazide tartılarak ağırlık kaydedilir.
- Sıcaklık 0.5°C hassasiyette ölçülür. (W_{psw})
- Piknometre içi boşaltılarak temizlendikten sonra damıtılmış suyla doldurularak tartılır ve kaydedilir. (W_{pw})

Hesaplamalar

Deney en az iki kez tekrarlanarak aşağıda gösterilen hesaplamalarla her iki deney için de spesifik gravite belirlenir ve bulunan değerlerin ortalaması alınarak spesifik gravite bulunur. Eğer iki deney sonucu elde edilen değerler arasındaki fark 0.03 değerinden büyükse deney tekrarlanır.

$$\begin{aligned}W_s &= W_{ps} - W_p \\V_s &= W_{psw} - W_{pw} \\G_s &= k \times [(W_s / V_s) / \gamma_w]\end{aligned}$$

Burada k ve γ_w değerleri deneyin yapıldığı sıcaklığa göre tablo 4.1'den alınır.

4.3 Kıvam Limitlerini Belirlenmesi

Likit limit ve plastik limit deneyleri killer ve kil davranışı gösteren zeminlerin tanımlanması ve sınıflandırılması amacıyla zeminin plastisite indisini belirlemek üzere ince daneli zeminler üzerinde yapılmaktadırlar.

4.3.1 Likit limit deneyi

Zeminler için likit limit, plastik durum ile likit durum arasındaki sınırı belirleyen nem içeriği olarak tanımlanmaktadır. Likit limit konik penometre aleti ve Casagrande aleti kullanılarak yapılan deneyler sonucu belirlenebilmektedir. Burada Casagrande aleti kullanılarak likit limiti belirleme yöntemi anlatılacaktır.

Deneyde Kullanılan Araç Gereçler

Casagrande aleti, oluk açma bıçağı, porselen kap, ıspatula, No.40 elek altı malzeme, damıtılmış su, piset, su muhtevası kapları, etüv, terazi (0.01g hassasiyette)

Deneyin yapılışı

- Öncelikle Casagrande aletinin çanak kısmının deney sırasında kaldıracağı maksimum yükseklik 10 mm olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bunun için 10 mm kalınlığında bir yükseklik ölçeği çanağın altına yerleştirilerek aletin kolu çevrildiğinde çanağın 10 mm yükselip yükselmediği kontrol edilmeli gerekiyorsa ayar vidaları yardımıyla bu ayarlama yapılmalıdır.
- Etüvde kurutulmuş No.40 elek altı malzemeden 250g alınarak porselen kap içerisinde damıtılmış su ile koyu homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır. Gerek görüldüğü takdirde bu karışım suyun numune içinde iyice dağılmasını sağlamak amacıyla hava geçirmeyen bir kaba konarak bir gün süreyle bekletilebilir.
- Homojen olarak damıtılmış su ile karıştırılan malzemeden 50 ile 80 g arasında bir miktar alınarak ıspatula yardımıyla Casagrande aletinin çanak kısmına 10 mm kalınlığında ve yüzeyi alet tabanına paralel olacak şekilde düzgünce yerleştirilir.
- Oluk açma bıçağıyla yerleştirilen karışım iki eşit parçaya ayrılacak şekilde dik olarak oluk açılır.
- Casagrande aletinin kolu saniyede iki devir yaptırılacak şekilde çevrilerek çanak düşürülmeye başlanır ve vuruşlar sayılır. Açılan oluk 13 mm kapanıncaya dek bu işleme devam edilir ve kapanma düşü sayısı kaydedilir.
- Oluğun kapandığı kısımdan 5g ile 10g arasında numune alınarak su muhtevası kabına konur.

- Aynı numuneye giderek artan oranlarda su katılarak 2-6 maddelerde belirtilen işlemler 3-6 kez tekrarlanır. Su içeriklerinin 10 ile 50 vuruş arasında düzgün dağıtılmasına dikkat edilmelidir.
- Her tekrarlama için alınan numunelerin su içerikleri belirlenir.

Sonuçların değerlendirilmesi

Su içeriğiyle vuruş sayısı arasındaki ilişkiyi göstermek üzere hesaplanan su içerikleri ve vuruş sayıları yarı logaritmik bir grafik üzerinde apsis eksenin düşü sayıları ve ordinat ekseni de su içerikleri olmak üzere işaretlenir. İşaretlenen bu noktalara en uygun olan doğru çizilerek doğru üzerinde 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği likit limit olarak belirlenir.

4.3.2 Plastik limit deneyi

Bir zeminin plastik limiti zeminin plastik durumuyla kırılma durumlarını ayıran sınırdaki su içeriği olarak tanımlanır. Bu sınırdaki su içeriği yuvarlanmak suretiyle 3 mm çapında çubuklar haline getirilen zeminin artık kırılmaksızın deforme edilemediği andaki su içeriğidir. Plastik limit deneyi likit limit deneyi için hazırlanan numune üzerinde yapılmaktadır.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Porselen kap, ıspatula, No.40 elek altı malzeme, cam levha, damıtılmış su, piset, su muhtevası kapları, etüv, terazi 0.01g hassasiyette.

Deneyin yapılışı

- Likit limit deneyinin 2. maddesinde anlatıldığı üzere hazırlanan numunedan alınan bir miktar numune kalınlığı 10 mm ve uzunluğu 500 mm olan düz yüzeyle bir cam levha üzerine konarak küçük bir top biçimine getirilebilecek kadar plastik olana dek iyice karıştırılır.
- Top biçimine getirilen numune üzerinde küçük çatlaklar belirinceye kadar iki el arasında yuvarlanır ve daha sonra bu numune her biri yaklaşık 10g olan iki eşit parçaya bölünür. Ayrılan bu numunelerde yaklaşık dört eşit parçaya ayrılarak 3. adımdaki işlemler gerçekleştirilir.
- Numune parçası baş parmak ve işaret parmağı arasında yuvarlanarak 6mm bir çubuk haline sokulur. Bu çubuk el ile cam levha üzerinde 3 mm çapına gelene dek yuvarlanır. Test örneği 3 mm çapında bir çubuk haline getirildiğinde ilk kırıkların görüldüğü zaman zeminin su içeriğinin plastik limite ulaştığı andır.

Eğer test örneği 3 mm çapına gelmesine rağmen kırıklar oluşmamışsa örnek toplanarak parmaklar arasında yoğrulup kurutularak anlatılan işlemler tekrarlanır.

- Üzerinde kırıklar oluşan zemin parçaları toplanarak numune kabına konur. Geri kalan üç örnek üzerinde de aynı işlemler tekrarlanarak üzerinde kırıklar oluşmuş çubuklar aynı numune kabına konur ve daha sonra numune kabı etüvde kurutulur ve su içeriği belirlenir. Numune kabının deney süresinde havayla temas etmemesine dolayısıyla su içeriğinde bir değişiklik olmamasına dikkat edilmelidir.
- Numunenin 10 g'lık ikinci kısmı içinde aynı işlemler tekrarlanarak iki ayrı belirleme gerçekleştirilir.

Sonuçların değerlendirilmesi

Belirlenen iki ayrı su içeriğinin ortalaması alınarak plastik limit belirlenir. İki su içeriği değeri arasındaki fark % 5'ten büyük olursa deney tekrarlanır. Bulunan likit limit ve plastik limit değerleri farkı plastisite indisi olarak bulunur.

4.4 Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi

Dane çapının belirlenmesinde, zemin numunesinin 0.075 mm'den büyük dane çapına sahip kısmı için elek analizi, 0.075 mm'den küçük dane çapına sahip kısmı içinse hidrometre analizi yöntemleri kullanılmaktadır.

4.4.1 Elek analizi

Bu deney bir zeminde ince kum ve daha iri boyuttaki daneleri dane çapı dağılımını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bunun yanı sıra bu deney sonunda zemin içindeki silt ve kil danelerinin toplam miktarı belirlenebilir. Deneyde kullanılan standart elekler numaraları ve elek açıklıkları tablo 4.2'de verilmiştir.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Standart elekler (75-0.075 mm açıklıkta), terazi (0.1 g hassasiyette), fırça, havan, tokmak, tepsi, etüv.

Deneyin yapılışı (Kuru eleme yöntemi)

- Maksimum dane çapına göre eleme için kullanılacak minimum numune miktarında etüvde kurutulmuş ve soğutulmuş zemin numunesi alınarak

Tablo 4.2 Standart elek numaraları ve açıklıkları

Elek Numarası	Elek Açıklığı (mm)	Elek Numarası	Elek Açıklığı (mm)
4	4.75	45	0.355
5	4	50	0.3
6	3.35	60	0.25
7	2.8	70	0.212
8	2.36	80	0.18
10	2	100	0.15
12	1.7	120	0.125
14	1.4	140	0.106
16	1.18	170	0.09
18	1	200	0.075
20	0.85	230	0.063
25	0.71	270	0.053
30	0.6	325	0.045
35	0.5	400	0.038
40	0.425		

ağırlığı ölçülür. Maksimum dane çapına göre gerekli olan minimum malzeme miktarları tablo 4.3’de verilmiştir.

- Deneyde kullanılacak elekler zemindeki dane boyutlarını yeterli biçimde kapsayacak şekilde seçilir. Tüm eleklerin deney sırasında kullanılması gerekmez çoğu zemin numunesi için altı veya yedi adet elek yeterlidir.
- Elekler elek açıklıklarına göre küçükten büyüğe doğru içi içe geçirilip en alta elek tavası yerleştirildikten sonra ağırlığı ölçülmüş numune eleklerin üzerine boşaltılarak eleme işlemi gerçekleştirilir.
- Eleme işlemi tamamlandıktan sonra her elek üzerinde ve tavada kalan malzeme fırça yardımıyla gözenekler arasında malzeme kalmayacak şekilde darası alınmış numune kaplarına konarak tartılır ve kaydedilir. Kaydedilen bu değerlerin toplamı ile başlangıçtaki malzeme miktarımız arasındaki fark % 1’den büyük ise deney tekrarlanır.

Deneyin Yapılışı (Islak eleme yöntemi)

- Kuru eleme yönteminde olduğu gibi hazırlanan malzeme miktarı ölçülür.
- Ağırlığı ölçülen malzeme iki ile yirmi dört saat arasında iyice ıslanana kadar su içerisinde bekletilir. Daha sonra ıslanan numune No.200 elek üzerine boşaltılır. Burada eleğin fazla yüklenmemesine dikkat edilmelidir.

Tablo 4.3 Elek analizi için yaklaşık numune miktarları

Maksimum Dane Boyutu	Minimum Numune Ağırlığı
7.5 cm	6000 g
5 cm	4000 g
2.5 cm	2000 g
1 cm	1000 g
No.4 elekten geçen malzeme	200 g
No.10elekten geçen malzeme	100 g

- No.200 eleğe boşaltılan malzeme üzerine su tutularak tamamen duru bir su elde edilene kadar yıkanır.
- Yıkama sonucu elek üzerinde kalan malzeme porselen bir kaba konularak etüvde 105-110°C'de kurumaya bırakılır. Kurutulmuş numune kuru yöntemde olduğu gibi uygun bir elek dizisinden geçirilerek her elek üzerinde kalan malzeme miktarları tartılarak kaydedilir.

Sonuçların değerlendirilmesi

Toplam malzeme ağırlığı esas alınarak her elek üzerinde kalan malzeme yüzdesi belirlenir. Bulunan bu değerler yardımıyla her elekten geçen toplam malzeme yüzdesi hesaplanır. Apsis ekseninde elek açıklıklarının gösterildiği, ordinat ekseninde ise geçen malzeme yüzdelерinin gösterildiği form üzerinde bu değerler işaretlenerek dane çapı dağılımı eğrisi oluşturulur. Kritik çaplar olan D_{10} , D_{30} ve D_{60} değerlerine karşılık gelen değerler eğri üzerinden okunarak üniformluk katsayısı ve süreklilik katsayısı hesaplanır.

$$\text{Üniformluk katsayısı} \quad C_u = D_{60} / D_{10}$$

$$\text{Süreklilik katsayısı} \quad C_s = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$$

Burada C_u değeri büyüdükçe zemin daha iyi derecelenmiş olmaktadır. Belirlenen dane çapı dağılımı eğrileriyle zeminlerin su geçirgenliği, mukavemeti, sıkışabilirliği, dondan etkilenme durumları hakkında fikir sahibi olunabilmekte ayrıca zeminlerin standart sistemlere göre sınıflandırılması mümkün olabilmektedir [6].

4.4.2 Hidrometre analizi

Hidrometre analizi zemin numunesinin 0.075 mm'den küçük dane çapına sahip kısmı üzerinde yapılmaktadır. Granülometri eğrisinin elek analiziyle çizilmesi mümkün olmayan kısmı bu deney sonucu oluşturulmaktadır.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Hidrometre, ölçme silindiri, mikser, No.200 elek, terazi, etüv, kronometre, termometre, damıtılmış su, hidrojen peroksit.

Hidrometrenin kalibrasyonu

- Hidrometrenin kullanılacağı mezürün kesit alanı bulunur. (A)
- Gövdenin boyun noktası ile R_n bölüntü çizgisi mesafesi okunur. (H_1)
- Gövdenin boyun noktası ile hacim merkezi uzaklığının iki katı alınır. (h)
- Hidrometrenin hacminin bulunması amacıyla, hidrometre 0,01g duyarlılıkta tartılır. Ağırlığın sayısal değeri hidrometrenin hacmini verir. (V_n)
- Sapı temizlenmiş hidrometre %75'i damıtık suyla doldurulmuş mezüre daldırılır. Su düzeyinin biraz altından ve biraz üzerinden bakılarak hidrometredeki değerler kaydedilir. Okumalar arasındaki fark minisküs düzeltmesidir. (C_m)

Deneyin yapılışı

- Etüvde kurutulmuş No.200 elek altı malzeme tartılarak W_s değeri kaydedilir ve 150 ml hidrojen peroksit ile karıştırılarak 24 saat bekletilir.
- Bu karışım mikserle boşaltılarak 150 ml saf su ile 15 dakika karıştırılır.
- Hazırlanan karışım saf su dolu mezüre aktarılarak, mezür su seviyesi 1000 cc'ye tamamlanır. Mezür ağzı plastik bir tıpa veya elle kapatılarak mezür aşağı yukarı çalkalanır.
- Çalkalama işlemi bittikten sonra, kronometre hazırlanarak, hidrometre karışım içerisine daldırılır.
- 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480. dakikalarda ve 24. saatte hidrometre okumaları alınır. Hidrometre, okuma aralıklarında içinde saf su bulunan bir mezürde muhafaza edilir. Deney süresince karışımın sıcaklığı her okuma için kaydedilmelidir.

Hesaplamalar

- $R_c = R_a - \text{sıfır düzeltmesi} + C_t$ (Düzeltilmiş okuma) R_a gerçek okuma
 - $\% \text{ geçen} = \alpha \times R_c / W_s$ α , tablo 4.5'den alınan değer ,
 - $D = K / (L/t)^{1/2}$ (D, Dane çapı) K tablo 4.4'den okunur, t; zaman
- D ve % geçen değerleri granülometri eğrisi üzerinde işaretlenir.

Tablo 4.4 K faktörünün sıcaklık ve Gs ile değişimi

Sıcaklık °C	Spesifik Gravite Değerleri							
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

Tablo 4.5 Gs için α düzeltme faktörü tablosu **Tablo 4.6** C_T Sıcaklık düzeltme faktörü tablosu

Gs	α
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04

Sıcaklık °C	C_T	23	+0.70
15	1.10	24	+1.00
16	-0.90	25	+1.30
17	-0.70	26	+1.65
18	-0.50	27	+2.00
19	-0.30	28	+2.50
20	0.00	29	+3.05
21	+0.20	30	+3.80
22	+0.40		

4.5 Kompaksiyon Deneyi

Bu deney zeminlerin maksimum kuru birim ağırlığını ve bu değerdeki su içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Standart ve modifiye olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Temelde aynı mantığa sahip olan bu iki yöntem arasındaki fark sıkıştırma tabakası sayısı ve her tabakaya uygulanan enerjidir. Standart ve modifiye deneyler arasındaki farklar tablo 4.7’de verilmiştir.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Mold, tokmak, terazi, palet bıçağı, su muhtevası kapları, etüv, no.4 elek altı malzeme, damıtılmış su.

Deneyin yapılışı

- Numunenin sıkıştırılacağı mold tartılarak kaydedilir. W_1
- No.4 numaralı elekten elenmiş yaklaşık olarak 2.5 kg numune alınarak ağırlığınca belirlenen bir oranda miktar su eklenerek iyice karıştırılır.
- Hazırlanan karışım moldun içine standart deneyde üç tabaka, modifiye deneyde beş tabaka olarak ve her tabakaya 25 tokmak bırakılarak sıkıştırılır. Sıkıştırma işleminde moldun yakası çıkarıldıktan sonra kesilip atılacak zemin yüksekliğinin 6 mm’yi geçmemesine dikkat edilmelidir.
- Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra moldun yakası çıkartılarak artık zemin palet bıçağı yardımıyla düzgünce kesilerek alınır ve mold ve zemin tartılarak kaydedilir. W_2

Tablo 4.7 Standart ve modifiye proktor deneyleri arasındaki farklar[2]

	Standart	Modifiye
Mold	944 cm ³	944 cm ³
Tokmak	24.5 N	44.5 N
Zemin Tabakası Sayısı	3	5
Düşü sayısı	25	25
Düşü Yüksekliği	0.305 m	0.460 m
Kompaksiyon enerjisi	593.7 kJ/m	2710 kJ/m

- Mold içinde sıkışmış durumda bulunan zeminin üstünden ve altından birer adet su muhtevası numunesi alınarak tartılır ve kaydedilir.
- 2-5 adımlarında yapılan işlemler su muhtevası her seferinde arttırılarak 4. adımdaki mold ve zemin ağırlığı değeri düşmeye başlayıncaya kadar en az beş defa tekrarlanır.

Sonuçların değerlendirilmesi

Sonuçların değerlendirilmesi

Sıkıştırılmış zeminin yaş birim hacim ağırlığı ve her sıkıştırma işleminde alınan numunelerden hesaplanan su içeriği değerleriyle zeminin kuru birim hacim ağırlıkları her su içeriği değeri için ayrı ayrı hesaplanır.

$$\gamma_w = (W_2 - W_1) / V_{\text{mold}}, \quad \gamma_d = \gamma_w / (1 + w)$$

Hesaplanan kuru birim hacim ağırlıkları ve su içeriği değerlerinden bir eğri oluşturulur. Bu eğrinin maksimum yaptığı noktadaki değerler maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası değerleri olarak belirlenir.

4.6 Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi zeminlerin kayma gerilmesini belirlemeye yönelik deneyler arasındadır. Deney sondaj sonucu elde edilmiş yada laboratuarda sıkıştırılmış numuneler üzerinde yapılabilmektedir.

Serbest basınç deneyinde silindirik zemin numunesi yalnızca eksenel doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır. Eksenel yük artışları altında oluşan numunenin eksenel şekil değiştirmesi ölçülmekte ve gerilme şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri zeminin serbest basınç dayanımı (q_u) değerini vermektedir. Numunenin drenajsız kayma mukavemeti $c_u = q_u / 2$ olarak belirlenir.

Deney için hazırlanmış silindirik numunelerde çap 30 ile 72 mm arasında ise maksimum dane çapı silindirik numune çapının onda biri kadar, çap 72 mm'den büyük ise maksimum dane çapı silindirik numune çapının altıda bir kadar olmasına dikkat edilmelidir.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Çelik numune alıcı, kriko, çelik kıl testere, kumpas, terazî, basınç presi, deformasyon saati.

Deneyin yapılışı

- Çelik numune alıcı yağlandıktan sonra numune çelik tüpten yada molddan çıkartılır. Daha sonra numunenin çelik numune alıcıdan taşan kısımları kıl testere ile kesilerek düzeltilir. Düzeltilmiş numune, numune alıcıdan çıkartılır.
- Kalıptan çıkartılan numunenin ağırlığı ve boyutları ölçülür. Ayrıca kesilmiş parçalardan su içeriğini belirlemek üzere örnek alınarak su içeriği belirlenir.

- Numune basınç presinin alt platformunun merkezine yerleştirilerek üst başlık numune üst yüzüne rahatça degecek şekilde indirilir. Deformasyon saati yerleştirilerek sıfırlanır.
- Dakikada numune boyunda % 0.5-2 arası birim kısalma gerçekleştirilecek şekilde yüklemeye başlanır ve otuz saniyede bir olmak üzere deformasyon ve yükleme okumaları yapılarak kaydedilir. Yükleme numunede kırılma gerçekleşene kadar devam edilir. Kırılmanın açıkça gözlenemediği yumuşak killerde ise yüklemeye numune boyunda %20'lik bir kısalma gerçekleşene kadar devam edilir.
- Deney sonunda numune tekrar tartılır ve su içeriği belirlenmesi için numuneden örnek alınır.

Sonuçların değerlendirilmesi

Kırılmanın gerçekleştiği andaki deformasyon (ϵ) ve basınç ($\Delta\sigma$) değerlerinden numune için normal gerilme ve kayma gerilmeleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır. Ayrıca deney sırasında kaydedilen değerlerden numune için gerilme şekil değiştirme eğrisi ve gerilme dairesi çizilebilir.

Daha güvenilir sonuçlar elde etmek için aynı zemine ait en az iki adet deney yapılarak bulunan gerilme değerlerinin ortalamasını alma yoluna gidilmelidir.

$$\begin{aligned} \epsilon &= (\Delta H / H_0) \times 100 && \text{(Birim şekil değiştirme)} \\ A &= A_0 \times 100 / [1 - (\epsilon / 100)] && \text{(Düzeltilmiş alan)} \\ q_u &= \Delta\sigma / A \quad (\text{kg} / \text{cm}^2) && \text{(Normal gerilme)} \\ c_u &= q_u / 2 \quad (\text{kg} / \text{cm}^2) && \text{(Kayma gerilmesi)} \end{aligned}$$

4.7 Üç Eksenli Basınç Deneyi(UU)

Zeminlerin kayma dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılan üç eksenli basınç deneyi ile arazideki zemin tabakalarının farklı yükleme ve drenaj koşullarında gösterecekleri gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma dayanımlarını gerçeğe en yakın olarak belirlemek mümkün olmaktadır[6].

Zeminin arazi şartlarında bulunduğu durumu yansıtmaması amacıyla üç eksenli deneyler üç şekilde yapılabilmektedir. Bunlar;

1 – Konsolidasyonsuz – drenajsız (UU) deneyler : Bu tür deneylerde, zemin suyunun gerek hücre basıncı uygulamasında ve gerekse eksenel yükleme sırasında numuneden dışarı çıkmasına izin verilmemektedir.

2 – Konsolidasyonlu – drenajsız (CU) deneyler : Bu tür deneylerde hidrostatik hücre basıncı altında zeminin konsolide olmasına olanak tanındıktan sonra drenajsız durumda eksenel yükleme yapılmaktadır.

3 – Konsolidasyonlu – drenajlı (CD) deneyler : Bu tür deneylerde hidrostatik basınç altında ve eksenel yükleme sırasında drenaja izin verilmektedir.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Çelik numune alıcı, kriko, çelik kıl testere, kumpas, terazi, basınç presi, şeffaf hücre, kauçuk kılıf, kılıf germe aleti, lastik halkalar, deformasyon saati.

Deneyin yapılışı

- Çelik numune alıcı yağlandıktan sonra numune çelik tüpten yada molddan çıkartılır. Daha sonra numunenin çelik numune alıcıdan taşan kısımları kıl testere ile kesilerek düzeltilir. Düzeltilmiş numune, numune alıcıdan çıkartılır.
- Kalıptan çıkartılan numunenin ağırlığı ve boyutları ölçülür. Ayrıca kesilmiş parçalardan su içeriğini belirlemek üzere örnek alınarak su içeriği belirlenir.
- Numunenin alt ve üst başlıkları yerleştirildikten sonra kılıf germe aleti kullanılarak kauçuk kılıf numune üzerine geçirilir ve kılıf ile başlıklar arasındaki geçirimsizlik, lastik halkaların da takılmasıyla sağlanmış olur.
- Hazırlanan numune deney hücresine yerleştirilip hücrenin parçaları yerlerine takılarak kapatılır ve hücre yükleme aletine konur.
- Yükleme aletine konan hücre çevre basıncını sağlayacak sıvıyla doldurularak hücre basıncı istenilen seviyede ayarlanır.
- Deformasyon saati de yerleştirilip sıfırlandıktan sonra dakikada numune boyunda % 0.5-2 arası birim kısalma gerçekleştirecek şekilde yüklemeye başlanır ve otuz saniyede bir olmak üzere deformasyon ve yükleme okumaları yapılarak kaydedilir. Yükleme maksimum eksenel gerilme değeri aşıldıkça veya birim boy değişimi % 20 oranına ulaşıncaya dek devam edilir.
- Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra hücre içindeki sıvı boşaltılarak numune çıkarılır ve tekrar tartılarak ve su içeriği belirlenmesi için numuneden örnek alınır.
- Deney aynı numune özelliklerinde farklı hücre basınçları altında tekrarlanır.

Sonuçların değerlendirilmesi

Kırılmanın gerçekleştiği andaki deformasyon ve eksenel basınç ve hücre basıncı değerlerinden numuneler için normal gerilme ve kayma gerilme değerleri hesaplanarak numuneler için gerilme daireleri çizilir. Çizilen dairelerin ortak teğetinin ordinat akseniyle kesiştiği nokta zeminin kohezyonunu (c), yatayla yaptığı açı ise içsel sürtünme açısını (ϕ) verir.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= (\Delta H / H_0) \times 100 && \text{(Birim şekil değiştirme)} \\ A &= A_0 \times 100 / [1 - (\varepsilon / 100)] && \text{(Düzeltilmiş alan)} \\ \sigma_1 - \sigma_3 &= \Delta\sigma / A && \text{(Deviator gerilme)}\end{aligned}$$

4.8 Konsolidasyon Deneyi

Bir zeminin tek yönlü konsolidasyonu sırasındaki davranışını belirleyen özellikler laboratuarda odömetre testi olarak ta adlandırılan konsolidasyon deneyi ile tespit belirlenir. Deney disk biçiminde bir numune üzerinde yapılır. Deney numunesinin geçirgen iki poroz taş arasında suya doymun olarak çeşitli yükleme değerleri altındaki şekil değiştirme zaman ilişkisinin ölçülmesi prensibine dayanır.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Konsolidasyon aleti, konsolidasyon hücresi (odömetre), ağırlıklar, numune halkası, poroz taş, poroz kağıt, bıçak, terazi, damıtılmış su, sondajla alınmış yada laboratuarda kompaksiyon sonucu hazırlanmış zemin numunesi.

Deneyin yapılışı

- Konsolidasyon halkasının ağırlığı tartılıp kaydedilir.
- Shelby tüpünde bulunan yada kompaksiyon moldunda hazırlanmış numune kesici ağızlı konsolidasyon halkasının içerisine itirilerek yerleştirilir ve taşın kısımlar düzgünce tıraşlanır. Tıraşlanan kısımlardan spesifik graviteyi belirlemek üzere örnekler alınır.
- Hazırlanmış olan konsolidasyon halkası tartılarak kaydedilir.
- Konsolidasyon halkası alt ve üstüne öncelikle poroz kağıt ardından da poroz taşlar konarak konsolidasyon hücresine yerleştirilir ve hücre su ile doldurulur.
- Deney süresince numuneye kademeli olarak her kademede bir öncekinin iki katı olmak üzere yeterli sayıda yük uygulanır. Uygulanan her yük için 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 dakikada bir ve son okuma da 24 saat sonra olacak şekilde deformasyon okumaları alınır.

- Son yükleme tamamlandıktan sonra numune üzerindeki yük kaldırılarak konsolidasyon halkası içindeki numuneyle birlikte etüvde sabit ağırlığa erişene dek kurutularak tartılır. (W_s)
- Yükün boşaltılması sırasında numunenin kabarma özellikleri belirlenmek isteniyorsa yükler yükleme kademelerine uygun olarak alınır ve okumalar yükleme sırasında izlenen zaman aralıklarıyla kaydedilir.

Sonuçların değerlendirilmesi

- Her yükleme kademesi sonunda boşluk oranları hesaplanarak log (p)-e grafiği çizilir.

$$e_i = H_i / (H_s - 1) \quad (\text{boşluk oranı})$$

$$H_s = W_s / (A \times G_s \times \gamma_w) \quad (\text{katıların eşdeğer kalınlığı})$$

$$H_i \quad (\text{yükleme sonundaki kalınlık})$$

$$W_s \quad (\text{kuru numune ağırlığı})$$

$$G_s \quad (\text{spesifik gravite})$$

$$\gamma_w \quad (\text{suyun birim hacim ağırlığı})$$

- Grafik üzerinde ön konsolidasyon basıncı (σ_p) bulunarak bu noktaya ait sıkışma indisi (a_v) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) belirlenir.

$$a_v = \frac{-\Delta e}{\Delta \sigma_v'} \quad m_v = a_v / (1 + e_0)$$

$$\Delta \sigma_v' \quad (\text{efektif düşey gerilmedeki değişim})$$

$$-\Delta e \quad (\text{boşluk oranındaki değişim})$$

- e - log (p) eğrisinin doğrusal kısmının eğimi sıkışma indisi C_c olarak tanımlanır. Doğrusal kısmın herhangi iki noktası için aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$C_c = \Delta e / \Delta \log p$$

- e - log (p) eğrisinin kabarmasına ilişkin bölümün yaklaşık olarak bir doğru olduğu kabul edilir ve bu kısmın eğiminden kabarma indisi (C_s) bulunur.

$$C_s = \Delta e / \Delta \log p$$

4.9 Permeabilite Deneyleri

Permeabilite katsayısını belirlemek üzere laboratuarda iki çeşit deney yapılmaktadır, bunlar; yüksek geçirimli zeminler için sabit seviyeli permeabilite deneyi ve orta ve düşük geçirimli zeminler için düşen seviyeli permeabilite deneyidir

4.9.1 Düşen seviyeli permeabilite deneyi

Bu yöntem permeabilite katsayısı 10^{-4} m/s'den küçük zeminler için uygulanır. Bu metotta kesit alanı ve yüksekliği belli bir Mold içerisine yerleştirilmiş zemin içine kesit alanı belli bir tüp ile su verilir ve belirli bir zaman aralığında zeminden geçen su miktarından Permeabilite katsayısı belirlenir.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Permeabilite hücresi, düşen seviyeli permeabilite ölçüm paneli (üzerinde 3 farklı çapta cam tüp bulunduran tip çapları 1.5, 3, 4.5 mm olan panel, her tüp ayrı vana kontrollü), kronometre, havası alınmış su, vakum, termometre, kronometre, su tankı.

Deneyin yapılışı

- Zemin numunesi mold içerisinde sıkıştırıldıktan sonra ya da shelby tüpü ile alınmış numune permeabilite hücresine yerleştirildikten sonra permeabilite hücresinin alt ve üst kapak vidaları kapatılır.
- Hücre su tankı içerisine yerleştirilir, tank deşarj seviyesine kadar suyla doldurularak hücre ölçüm paneline bağlanır ve numune doygun hale gelip deşarj ağzından su damlamaya başlayıncaya dek gerekli durumlarda basınç uygulanarak da numune doyurulur.
- Numune doygun hale gelince, cam borular tamamen su ile doldurulur ve borulardaki su yüzeyi işaretlenir. Belli bir zaman aralığında tüpteki düşüş miktarları işaretlenir. Bu süre birkaç dakikadan bir kaç saate kadar uzayabilir.
- Eşit zaman aralıklarında, eşit seviye değişimleri sağlanınca deneye son verilir.

Sonuçların değerlendirilmesi

Permeabilite katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$k_{20} = \alpha \times k_T$$

20°C'deki permeabilite katsayısı

$$k_T = (a \times L / \Delta t) \times \ln(h_1/h_2)$$

Deney sıcaklığındaki permeabilite katsayısı

$$\alpha = \eta_T / \eta_{20}$$

Viskozite düzeltme faktörü

a

Tüpün kesit alanı

L

Numune yüksekliği

h_1, h_2

Tüplerdeki seviye

Δt

Zaman farkı

4.9.2 Sabit seviyeli permeabilite deneyi

Sabit seviyeli permeabilite deneyi daha çok granüler zeminlerin Permeabilite katsayılarını bulmak için uygulanmaktadır.

Deneyde kullanılan araç gereçler

Permeametre hücresi, cam piyozometre tüpleri standa monteli ve dereceli, üniform çakıl veya cam küreler, poroz taş, ölçüm mezürleri, sabit seviye su tankı,, kronometre.

Deneyin yapılışı

- Deney hücresi altına 40 mm kalınlığında üniform çakıl tabakası konur ve numune yerleştirilerek üste de 40 mm çakıl tabakası konur.
- Hücredeki çıkışlar piyozometre tüplerine bağlanır.
- Hücreye su verilir ve hidrostatik basınç farkından dolayı piyozometre tüplerinde oynamalar başlar.
- Tanktan hücreye su verilirken musluktan suyun debisi ayarlanarak maksimum şarj sağlanır. Öyle bir an gelir ki tüplerdeki su seviyesi sabitlenir. İşte o anda maksimum şarj sağlanmış olur.
- Mezür hücrenin boşaltım tüpünün altına getirilerek kronometre çalıştırılıp belli bir t zamanında geçen su miktarı mezürde toplanarak su miktarı dereceli kap vasıtasıyla okunur (q). Bu işlem bir kaç kez tekrarlanır.

Hesaplamalar

Permeabilite katsayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$K = (q \times l) / [(h_1 - h_2) \times A \times t]$$

q: Birim zamanda geçen su miktarı

l: Numunenin boyu

h₁, h₂: Su seviyesi değerleri

A: Numunenin kesit alanı

t: Geçen süre

5. ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUAR YAZILIMI

Zemin mekaniği laboratuvar yazılımı Windows için görsel bir uygulama ve veri tabanı geliştirme ortamının olan Delphi ortamında geliştirilmiş bir zemin mekaniği laboratuvar programıdır. Program veri tabanı erişim sistemi olarak Borland Database Engine'ni kullanmaktadır.

Zemin mekaniği laboratuvar yazılımı zemin mekaniği deneylerinde kullanılan hesaplamaları, Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında bulunan deney aletlerine ait kalibrasyon tablolarını ve ayrıca suyun birim hacim ağırlığının ve viskozitesinin sıcaklıkla değişim değerlerini kullanmaktadır. Veri girişi sonunda hesap tabloları ve deneylere ait grafikler oluşturularak bu değerler veri tabanında saklanmaktadır. Deneyler proje, lokasyon, numune, sondaj koordinatları, tarih ve deney sorumlusu verileriyle bağlantılandırılarak bu başlıklarda sorgulama yapılmasına olanak tanınmıştır. Koordinatlarla yapılan sorgulamada verilen koordinatlardaki sondaj kuyusuna istenilen uzaklıktaki kuyulardan alınan numunelere ait daha önceden yapılmış deney sonuçlarına kolaylıkla ulaşılabilir.

5.1 Zemin Mekaniği Laboratuvar Yazılımı Kurulum Yönergesi

- Bilgisayar windows ortamında açılarak program CD'si CD-ROM sürücüsüne yerleştirilir.
- CD-ROM sürücüsünün ikonuna fare ile tıklayarak açılan pencerede görünen Soil isimli klasör, bilgisayarın C:/ sürücüsüne kopyalanır.
- Kopyalama işlemi bittikten sonra soil klasörü içindeki data klasörü açılarak içindeki tüm dosyaları seçilir ve farenin sağ tuşuna basılarak açılan kulakçıkta çıkan özellikler yazısına tıklanır. Açılan pencerede genel seçenekler içerisinde bulunan salt okunur ikonu in aktif hale getirilir.
- Daha sonra soil klasörü içerisinde bulunan bde dosyasına tıklanarak regester edilen program kullanıma hazır hale getirilmiş olur.

5.2 Zemin Mekaniği Laboratuvar Yazılımı Kullanım Yönergesi

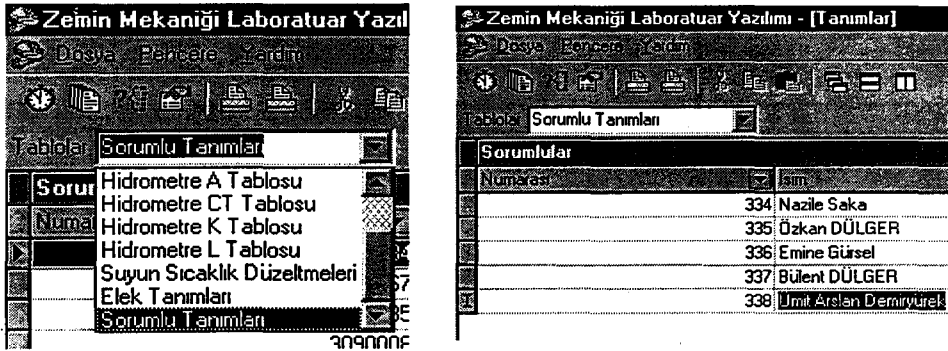
5.2.1 Programın çalıştırılması ve tanım tablolarının oluşturulması

- Bilgisayarınızın Hard Disc'ine kopyaladığınız soil klasörü içerisinde bulunan soiltur.exe ikonuna tıklayınız.
- Açılan ekranda "About" başlığı altında verilen program hakkındaki açıklamaları okuduktan sonra alttaki "Tamam" butonuna tıklayınız



Şekil 5.1 Programın tanıtım ekranı


- Açılan ana ekran üzerinde bulunan "Tanım Tabloları" ikonuna tıklayarak açılan ekranda "Sorumlu Tanımları" tablosunu seçerek açılan tablo üzerinde laboratuvar çalışanlarının numaralarını ve isimlerini giriniz. Bu işlem gerçekleştirilirken her yeni isim için alt bantta bulunan " + " butonu ile yeni

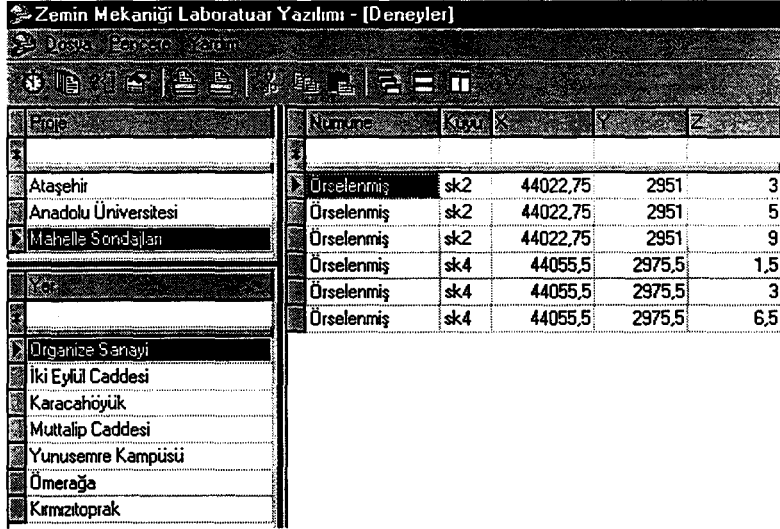


bir veri satırı oluşturunuz

Şekil 5.2 Programı tabloların seçimi ve laboratuvar çalışanlarının girilmesinin gösterilmesi

- "Tanım" penceresi içerisinde bulunan ve programdaki hesaplamalarda kullanılan laboratuvar aletlerinin kalibrasyon tablolarını sırasıyla seçerek, basınç aleti, kesme kutusu aleti, hidrometre aleti ve elekler ile suyun sıcaklıkla değişen birim hacim ağırlığı ve viskozite değer tablolarını oluşturunuz.

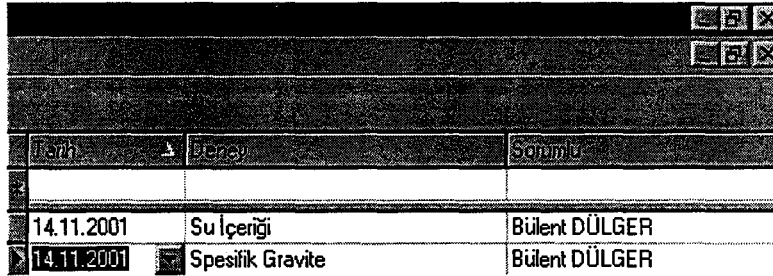
- Ana ekran üzerinde bulunan “Deneyler”  ikonuna tıklayarak, açılan ekranda deney yapacağınız numunenin ait olduğu proje, geldiği lokasyon, sondaj kuyusunun adı ve koordinatları ile numunenin örselenip örselenmediği bilgilerini giriniz.



Proje	Numune	Kuyu	K	Y	Z
Ataşehir	Örselenmiş	sk2	44022,75	2951	3
Anadolu Üniversitesi	Örselenmiş	sk2	44022,75	2951	5
Mahalle Sondajları	Örselenmiş	sk2	44022,75	2951	9
	Örselenmiş	sk4	44055,5	2975,5	1,5
	Örselenmiş	sk4	44055,5	2975,5	3
	Örselenmiş	sk4	44055,5	2975,5	6,5


Şekil 5.3 Deney numunesi bilgilerinin girilmesi

- Deneyin ismi, yapıldığı tarih ve deney sorumlusu bilgilerini, hücrelerin üstüne tıkladığında açılan listelerden seçiniz.



Tarih	Deney	Sorumlu
14.11.2001	Su İçerdiği	Bülent DÜLGER
14.11.2001	Spesifik Gravite	Bülent DÜLGER

Şekil 5.4 Yapılacak deneyin isminin ve sorumlusunun ve tarihinin seçilmesi

- Programda renksiz hücreler bizim gireceğimiz değerleri, gri renkli hücrelerse program tarafından hesaplanan değerleri göstermektedir. Deney verileri birincil veriler ve sonuç verilerinin gösterildiği bir pencere ile bağlı verilerin girildiği bir pencere olmak üzere iki pencere içerisinde çalışmaktadır. Deneylerde veri girişi tamamlandıktan sonra hesaplama butonuna tıklanarak hesaplamaların yapılması ve gri hücrelerin doldurulması sağlanır. Hesaplama işlemi yapıldıktan sonra, eğer yaptığımız deney grafik içeriyorsa grafik gösterme butonuna basılarak grafik çizdirilir. 

5.2.2 Su Muhtevası Deneyi

Veri girişi hücrelerine kap numarası, kap ağırlığı, kap+ıslak numune ağırlığı ve kap+kuru numune ağırlığı değerleri sırasıyla girilerek su içeriği değeri hesaplanır.

Su İçeriği				
Kap	Kap Ağırlığı (g)	Kap+ıslak Zemin Ağırlığı (g)	Kap+Kuru Zemin Ağırlığı (g)	Su İçeriği (%)

Şekil 5.5 Su muhtevası deneyi formunun gösterilmesi

5.2.3 Spesifik Gravite Deneyi

Veri girişi hücrelerine piknometre numarası, kuru numune ağırlığı, piknometre+su ağırlığı, piknometre+su+numune ağırlığı değerleri ve deneyin yapıldığı sıcaklığı sırasıyla girilerek deney sıcaklığındaki ve 20°C'deki spesifik gravite değerleri hesaplanır.

Spesifik Gravite						
Piknometre	Kuru Zemin Ağırlığı	Piknometre + Su Ağırlığı	Piknometre + Zemin + Su Ağırlığı	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	20°C'deki

Şekil 5.6 Spesifik gravite deneyi formunun gösterilmesi

5.2.4 Tane Çapı Dağılımı Deneyi (Elek Analizi – Hidrometre Analizi)

Deneyin elek analizi kısmı için veri girişi hücrelerine numunenin ağırlığı, elek açıklıkları, ve elekte kalan malzeme ağırlıkları girilerek hesaplama butonuna basılır ve eleklerden geçen, ve kalan malzeme oranları ile D10, D30, D60 değerleri ile Cu ve Cc katsayıları hesaplanır. Eğer numune için hidrometre analizi yapılmıyorsa deneye son verilir. Malzemenin tane çapı dağılımı eğrisi grafik butonuna basılarak görülebilir.

Elek Analizi					Hidrometre Analizi					
Zemin Ağırlığı (g)	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Cu	Cc	Zemin Ağırlığı (g)	Uzama (mm)	Silindirik (mm)	Menisküs D. (mm)	% Geçen
0.00										

Elek Ölçümleri					
Elek Açıklığı (mm)	Açıklık (mm)	Kalan Ağırlık (g)	Kalan (%)	Toplam (%)	Geçen (%)
8 in		75.000	0.00		
2 1/2 in		63.000	0.00		
2 in		50.000	0.00		
1 1/2 in		37.500	0.00		

Şekil 5.7 Elek analizi deneyi formunun gösterilmesi

Elek Analizi						Hidrometre Analizi					
Zemin A	D100	D300	D600	C1	Ce	Zemin A	Gs	Gf	Sifir Düz.	Mensüküs D.	% Geçen
0,00											

Hidrometre Okumaları											
Süre	Sica	Gerçe	Düzeltil	Gerçek	Uyalsm	Sadece Mensüküs İçin	Ekler	Ekler Di	K	İçerik	İçerik

Hesapla Yeni Çan Dağılımı

Şekil 5.8 Hidrometre analizi deneyi formunun gösterilmesi

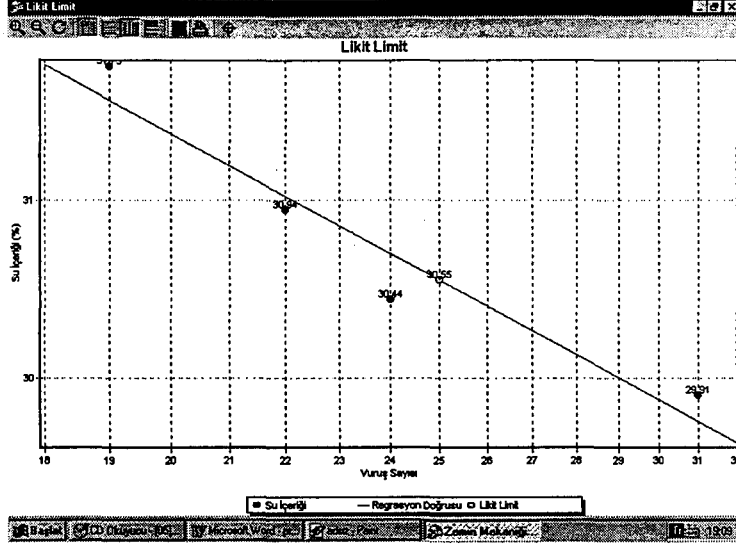
Deneyin hidrometre analizi kısmı için öncelikle üst veri bandında bulunan hidrometre analizi veri hücrelerine numunenin kütlesi, spesifik gravitesi, a düzeltme faktörü, sıfır düzeltmesi, mentüsküs düzeltmesi ve elek analizi deneyiyle birlikte değerlendirilecekse 200 numaralı elekten geçen malzeme oranı değerleri girilir. Daha sonra hesaplama butonunun altında bulunan kısımdan hidrometre verisi seçilerek açılan pencerede zaman, sıcaklık ve aktif okuma verileri girilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra hesaplama butonuna basılarak gerekli hesaplamalar yaptırılarak sonuçların hesap hücrelerinde görülmesi sağlanır.

5.2.5 Likit ve Plastik Limit Deneyleri

Likit Limit					
Kap	Kap Ağırlığı (g)	Kap + Islak Numune Ağırlığı (g)	Kap + Kuru Zemin Ağırlığı (g)	Su İçeriği (%)	Vuruş Sayısı

Şekil 5.9 Likit limit deneyi formunun gösterilmesi

Öncelikle hesaplama butonunun altında bulunan kısımdan likit limit veri girişi seçilerek hücrelere kap numarası, kap ağırlığı, kap+ıslak numune ağırlığı, kap+kuru numune ağırlığı değerleri ile vuruş sayısı sırasıyla girilerek su içeriği değerleri hesaplanır. İkinci bir giriş için alt bantta bulunan "+" butonuna basılarak yeni bir satır açılması sağlanır. Hesaplama butonuna basılarak 25 vuruşa karşılık gelen likit limit değeri elde edilir. Vuruş sayısı - Su muhtevası eğrisini görmek için grafik butonuna basılır.



Şekil 5.10 Likit limit değerinin grafikte gösterilmesi

Plastik limit veri girişi seçilerek benzer şekilde plastik limit değeri ardışık olarak yapılan değerlerin ortalaması program tarafından alınarak belirlenir.

Plastik Limit				
Kap	Kap Ağırlığı (g)	Kap + ıslak Zemin Ağırlığı (g)	Kap + kuru Zemin Ağırlığı (g)	Su İçeriği (%)

Şekil 5.11 Plastik limit deneyi formunun gösterilmesi

Hesaplama butonuna basılarak hesaplanan likit ve plastik limit değerlerinden plastisite indisi hesaplanarak üst bantta gösterilir.

Kıvam Limitleri		
Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndisi

Şekil 5.12 Plastik limit likit limit ve plastisite indisi değerlerinin gösterilmesi

5.2.6 Rötire Limiti Deneyi

Veri girişi hücrelerine kap numarası, kap ağırlığı, kap+ıslak numune ağırlığı ve kap+kuru numune ağırlığı, civanın ağırlığı, taşan civanın ağırlığı değerleri sırasıyla girilerek rötire limiti değeri hesaplanır.

Rötire Limiti								
Test No	Kap Adı	Kap + ıslak Zem.	Kap + kuru Zem.	İlk Su Müh.	Eya A.	Taşan Eya.	Su Mutevası	Rötire L.

Şekil 5.13 Rötire limiti deneyi formunun gösterilmesi

Birincil veri girişi penceresine numunenin kesit alanı ve uzunluğu değerleri girilir. Ayrıca 20°C için hesaplanan permeabilite katsayısı ortalamasını da birincil pencerede bulunmaktadır. İkincil pencerede ise deney numarası, h_1 ve h_2 , su hacmi, zaman ve sıcaklık veri girişi yapılır. Deney sıcaklığı ve 20°C için hesap butonuna basılarak permeabilite katsayıları hesaplanır.

5.2.9 Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi

Birincil veri girişi penceresine numunenin kesit alanı ve uzunluğu değerleri girilir. Ayrıca 20°C için hesaplanan permeabilite katsayısı ortalamasını da birincil pencerede bulunmaktadır. İkincil pencerede ise deney numarası, seviye farkı, su hacmi, zaman ve sıcaklık veri girişi yapılır. Deney sıcaklığı ve 20°C için hesap butonuna basılarak permeabilite katsayıları hesaplanır.

Sabit Seviyeli Geçirgenlik						
Uzunluk(cm)	Alan(cm ²)	20°C'deki Geçirgenlik Katsayısı(cm ² /sn)				
Tablo: Sabit Seviyeli Geçirgenlik						
Sabit Seviyeli Geçirgenlik Değerleri						
Test No	Su Miktarı	Süre (sn)	Sıcaklık	Seviye Farkı (h)	Geçirgenlik Katsayısı	20°C'deki Geçirgenlik Katsayısı

Şekil 5.16 Sabit Seviyeli Permeabilite deneyi formunun gösterilmesi

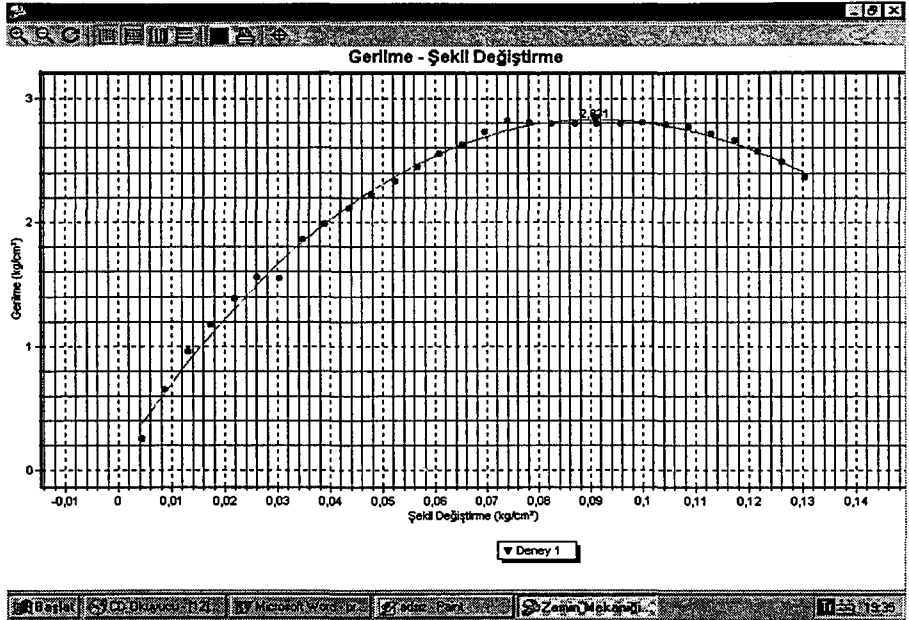
5.2.10 Serbest Basınç Deneyi

Birincil pencerede numunenin kesit alanı ve uzunluğu verileri girilir. Program tarafından hesaplanan serbest basınç dayanımı ve kayma gerilmesi değerleri yine bu pencerede gösterilir.

Serbest Basınç			
Uzunluk(mm)	Alan(cm ²)	Serbest Basınç Dayanımı(kg/cm ²)	Kayma Gerilmesi(kg/cm ²)
Tablo: Serbest Basınç Değerleri			
Sıkışma Değerleri			
Düşey Kısma	Yük Okuması	Uygulanan Yük	Düşey Şekil Değişimi
Düzeltilmiş Alan(cm ²)		Gerilme(kg/cm ²)	
Hesapla		Gerilme Şekil Değişimi	

Şekil 5.17 Serbest basınç deneyi formunun gösterilmesi

İkincil pencerede ise deformasyon ve karşılık gelen yük okuması değerleri girilir. Uygulanan yük, düşey şekil değiştirme, düzeltilmiş alan ve gerilme değerleri hesap butonuna basıldıktan sonra yine bu alanda gösterilir.



Şekil 5.18 Serbest basınç deneyi gerilme deformasyon grafiğinin gösterilmesi

Grafik butonuna basılarak gerilme – şekil değiştirme eğrisi görülebilir. Eğrinin tepe noktası değeri serbest basınç dayanımı olarak birincil pencerede gösterilir.

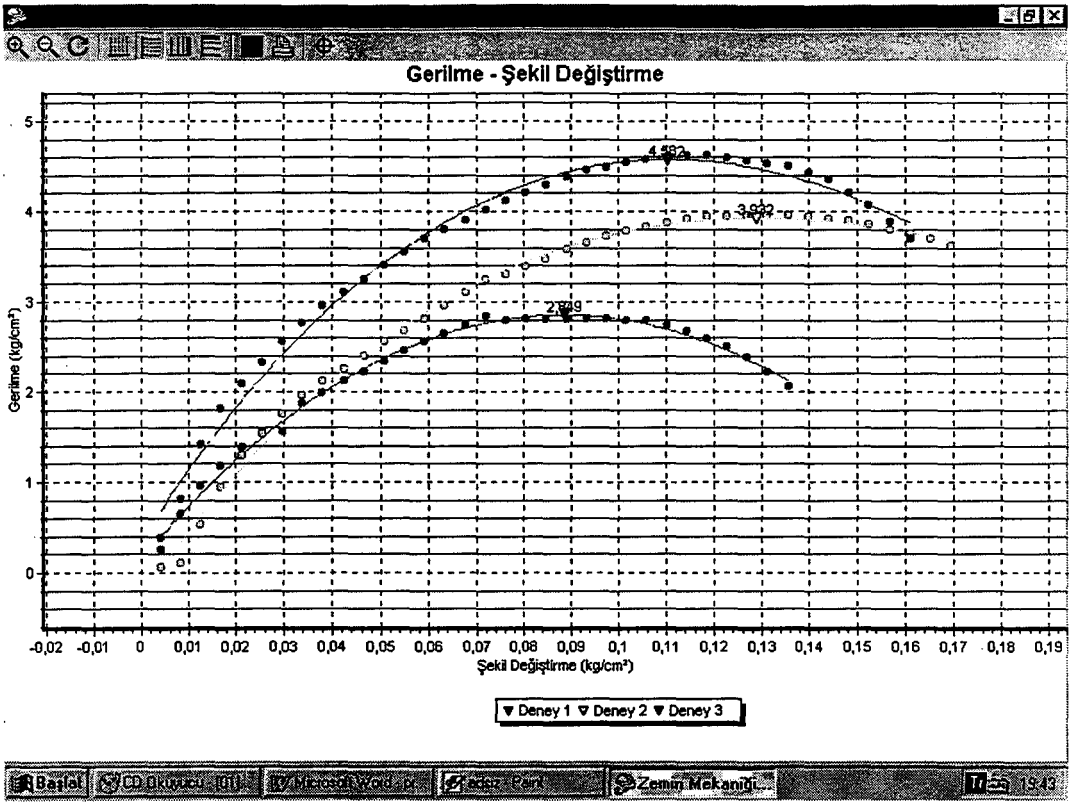
5.2.11 Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)

Birincil pencerede numunenin kesit alanı, uzunluğu ve hücre basıncı verileri girilir. Program tarafından, uygulanan her hücre basıncı değeri için hesaplanan maksimum deviator gerilme, düşey basınç dayanımı kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri yine bu pencerede gösterilir. İlk hücre basıncı değeri için ikincil pencere verileri girildikten sonra alt bantta bulunan “+” butonuna basılarak açılan yeni veri satırında diğer bir hücre basıncı girilerek işleme devam edilir.

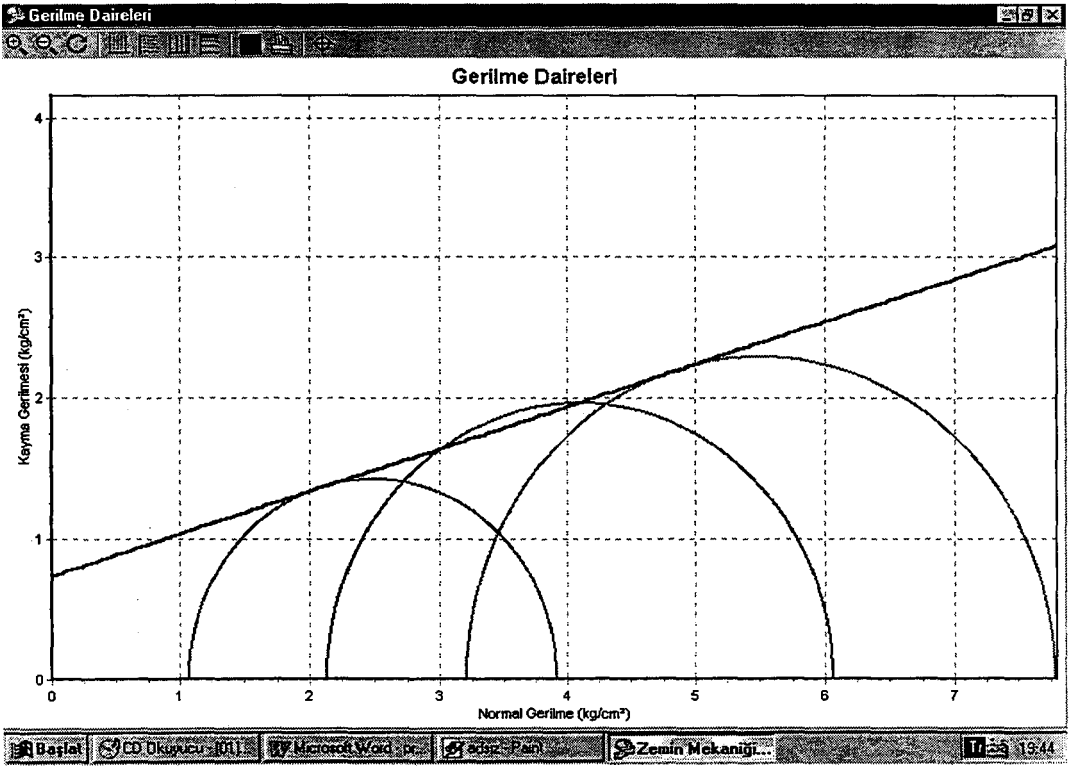
Üç Eksenli Basınç (UU)						
Uzunluk	Alan (cm²)	Hücre Basıncı (k)	En Büyük Deviator Gerilme	Vertikal Stres (k)	Kohezyon (k)	Sürtünme Açısı
Tablo Üç Eksenli Basınç						
Sıkıştırma Değerleri						
Düşey Kısalma	Yük Oku	Uygulanan Yük (kg)	Düşey Şekil Değiştirme	Düzeltilmiş Alan	Deviator Gerilme (kg/cm²)	

Şekil 5.19 Üç eksenli basınç deneyi formunun gösterilmesi

İkincil pencerede ise deformasyon ve karşılık gelen yük okuması değerleri girilir. Uygulanan yük, düşey şekil değiştirme, düzeltilmiş alan ve deviator gerilme değerleri hesap butonuna basıldıktan sonra yine bu alanda gösterilir. Grafik butonuna basılarak gerilme – şekil değiştirme eğrileri ile mohr daireleri görülebilir.



Şekil 5.20 Üç eksenli basınç deneyi gerilme deformasyon grafiğinin gösterilmesi



Şekil 5.21 Üç eksenli basınç deneyi mohr dairelerinin gösterilmesi

5.2.12 Kesme Kutusu Deneyi

Birincil pencerede numunenin kesit alanı, uzunluğu uygulanan normal kuvvet verileri girilir. Program tarafından, uygulanan her normal kuvvet değeri için hesaplanan normal gerilme, kayma gerilmesi ve içsel sürtünme açısı değerleri yine bu pencerede gösterilir. İlk normal kuvvet değeri için ikincil pencere verileri girildikten sonra alt bantta bulunan “+” butonuna basılarak açılan yeni veri satırında diğer bir normal kuvvet değeri girilerek işleme devam edilir.

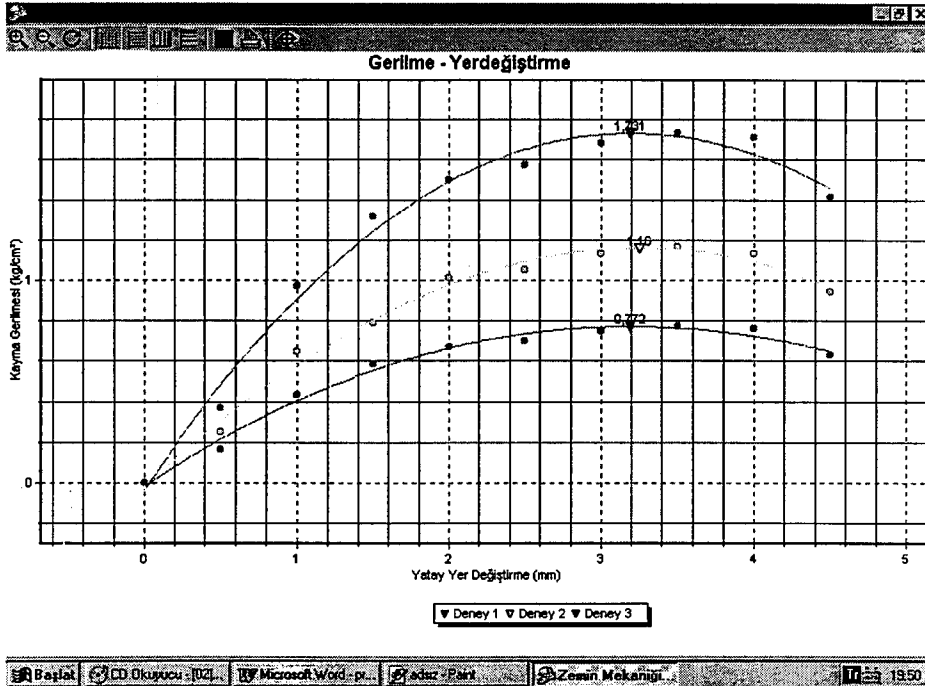
Kesme Kutusu				
Normal Yük (kg)	Alan (cm ²)	Normal Gerilme (kg/cm ²)	En Büyük Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)	Sürtünme Açısı (°)

Kesme Kutusu Değerleri				
Yatay Yer Değiştirme (mm)	Düşey Yer Değiştirme (mm)	Yük Okuması	Kayma Kuvveti (kg)	Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)

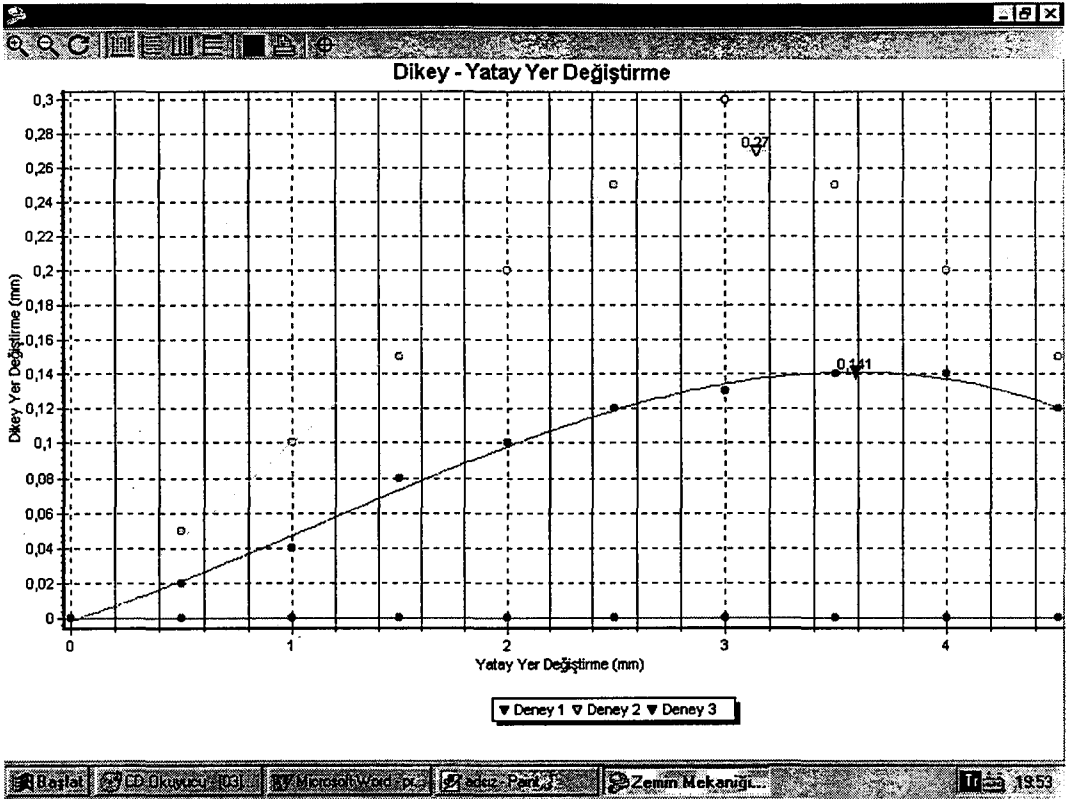
Hesapla Gerilme Şekli Değiştirme Yatay - Düşey Seki Değiştirme Normal Kayma Gerilme

Şekil 5.22 Kesme Kutusu deneyi formunun gösterilmesi

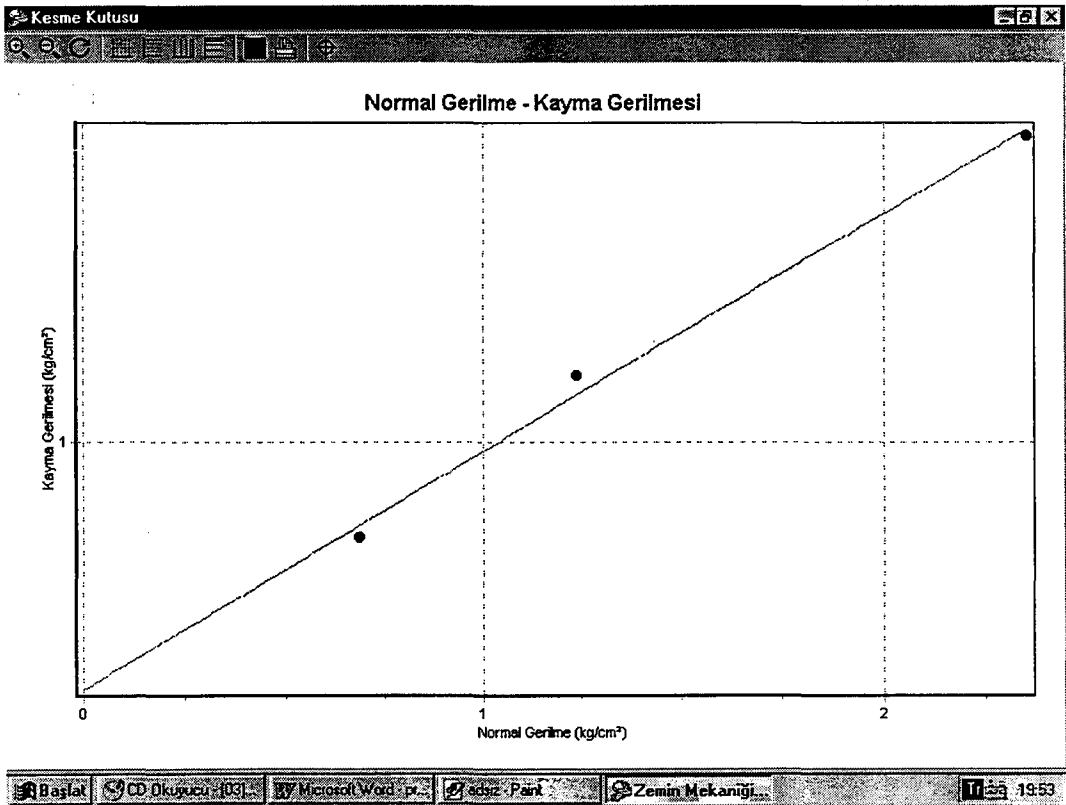
İkincil pencerede ise yatay ve düşey deformasyonlar ve karşılık gelen yük okuması değerleri girilir. Uygulanan kayma kuvveti ve kayma gerilmesi değerleri hesap butonuna basıldıktan sonra yine bu alanda gösterilir. Grafik butonuna basılarak gerilme - şekil değiştirme eğrileri, yatay deformasyon - düşey deformasyon eğrileri ile kayma gerilmesi - normal gerilme eğrileri görülebilir.



5.23 Kesme kutusu deneyi gerilme deformasyon grafiğinin gösterilmesi



Şekil 5.24 Kesme kutusu deneyi yatay düşey deformasyon grafiğinin gösterilmesi



Şekil 5.25 Kesme kutusu deneyi normal – kayma gerilmesi grafiğinin gösterilmesi

5.2.13 Konsolidasyon Deneyi

Birincil pencerede uygulanan basınç, konsolidasyon ringinin yüksekliği, ve katı tanelerin yüksekliği değerleri girilir. Program hesap butonuna basılmasıyla hesapladığı son okuma, yükseklik farkı, boşlukların yüksekliği, son boşluk oranı, ortalama yükseklik, t_{90} , C_v , C_s , C_c , a_v , m_v değerlerini yine bu alanda gösterir. Bu alanda ayrıca yükleme ve boşaltma sırasında e-logp grafiğinden C_c ve C_s değerlerini hesaplamak için çizilecek teğetlerin hangi noktalardan geçeceğini belirlemek için kutucuklar da içermektedir. Seçilen noktalardan geçen doğruların eğimiyle C_c ve C_s değerleri hesaplanır.

Bası	Son	Yüksekli	Son Y	Tane Y	Boşluk	Son Bo	Oranala	t90	Cv	Cs	av	mv

Tablo: Konsolidasyon

Yükleme Değerleri

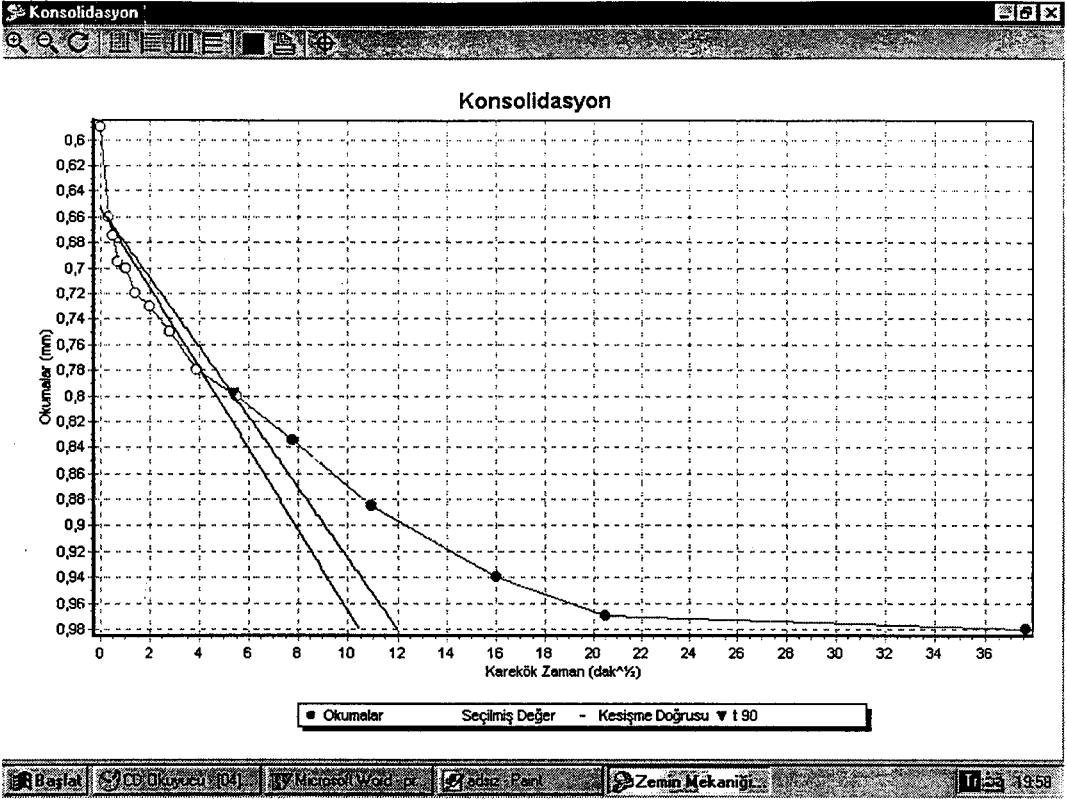
Zaman (dak.)	Okuma (mm)	Seçim

Hesapla Karekök e-log(p)

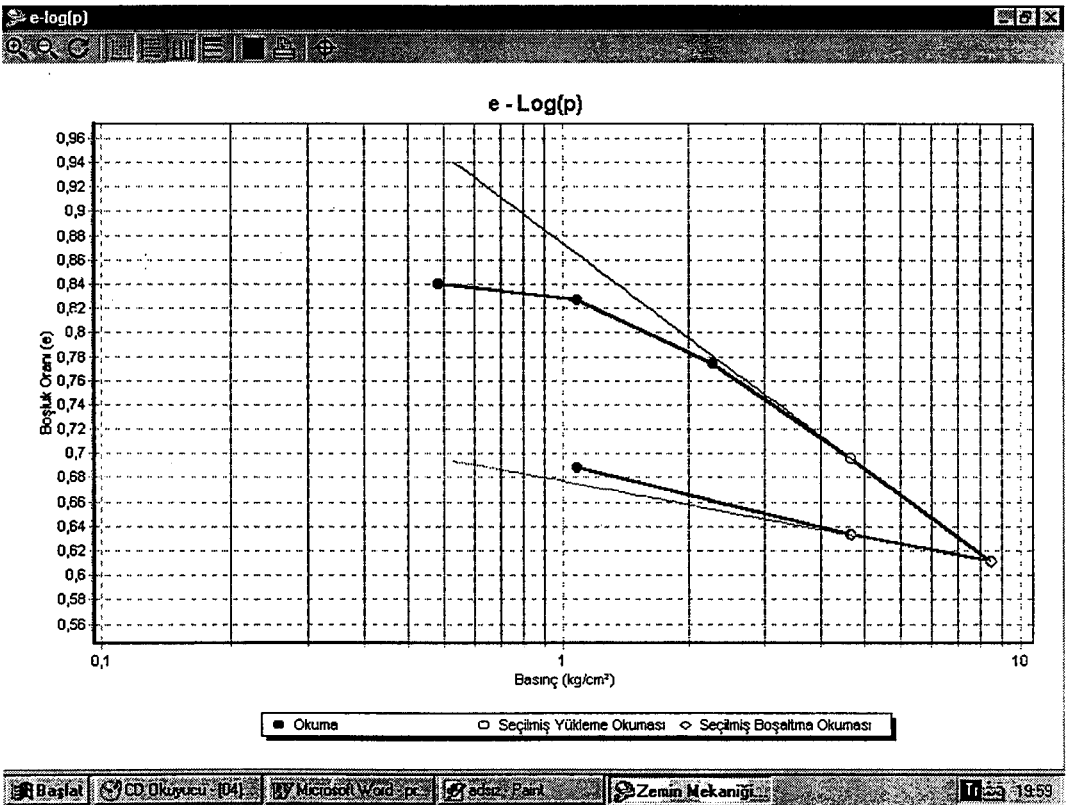
Şekil 5.26 Konsolidasyon deneyi formunun gösterilmesi

İkincil pencerede her yükleme seviyesi için ölçülen zaman ve deformasyon değerleri girilir. Grafik butonuna basılarak bu değerlerden karekök zaman – deformasyon okuması grafiği çizdirilir. Ayrıca işaret kutucukları yardımıyla grafiğin teğetinin hangi noktalardan geçeceği belirlenir.

Hesap butonuna basıldığında ikincil pencerede girilen son okuma birincil pencerede karşılık geldiği basınç değerinin yanına son okuma olarak aktarılarak tüm hesaplar yapılarak ilgili hücrelerde gösterilir. Ayrıca basınç ve son boşluk oranı değerlerinden e-log p grafiği grafik butonuna basılarak görülebilir.



Şekil 5.27 Karekök zaman - deformasyon grafiği ekranının gösterilmesi



Şekil 5.28 Boşluk oranı - basıncın logaritması grafiği ekranının gösterilmesi

5.2.14 Programdan çıktı alınması

Deneylerde veri girişi ve hesaplama işlemleri yapıldıktan sonra programdan çıktı alma işlemi üst bandta bulunan yazıcı ikonlarına basılmak suretiyle yapılır. Birincil pencerede girilen veri ve gösterilen hesaplamalar ilk yazıcı ikonuyla, ikincil pencerede gösterilen hesaplamalar ikinci yazıcı ikonuyla yazdırılırlar. İkincil penceredeki verilerin birincil pencerede hangi verilere ait olduğunu belirlemek üzere program ikincil verilere bir ID numarası verir ve bu numaralar çıktılarda birincil verilerin başında gösterilir.

Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Proje Adı: Kırık
Yer: 43A-3da
Numune Sıralama No: 12
Koju: 1212
Noordat (m): 454854 584854 12

Konsolidasyon
20.04.2002
Bilimci: D.ÖZGÜR

ID	Basım (kg/cm²)	Son Ölçümü	Yücelik Değeri	Son Yücelik	Tane Yüceliği	Başlık Yüceliği	Ren Boyut Ölçümü	Orisinal Yücelik	Cc	Cs	ay (cm³/kg)	mv (cm³/kg)	Pz
1	000	000		2540	1300	11,710	0,855		0,020	0,005			
2	050	075	0,211	2030	1300	11,899	0,940	25,294	0,020	0,005	0,029	0,015	
3	100	034	0,185	2114	1300	11,314	0,828	25,096	0,020	0,005	0,025	0,014	
4	200	101	0,717	2027	1300	10,397	0,774	24,846	0,020	0,005	0,049	0,027	
5	400	200	1,069	2226	1300	9,328	0,898	22,753	0,020	0,005	0,058	0,020	
6	600	306	1,158	2202	1300	8,372	0,812	22,840	0,020	0,005	0,050	0,012	
7	400	305	-0,290	2232	1300	8,862	0,833	22,207	0,020	0,005			
8	100	225	-0,761	2370	1300	9,423	0,688	22,733	0,020	0,005			

Page 1 of 1

Microsoft Word - p... Zemin Mekaniği... 20:05

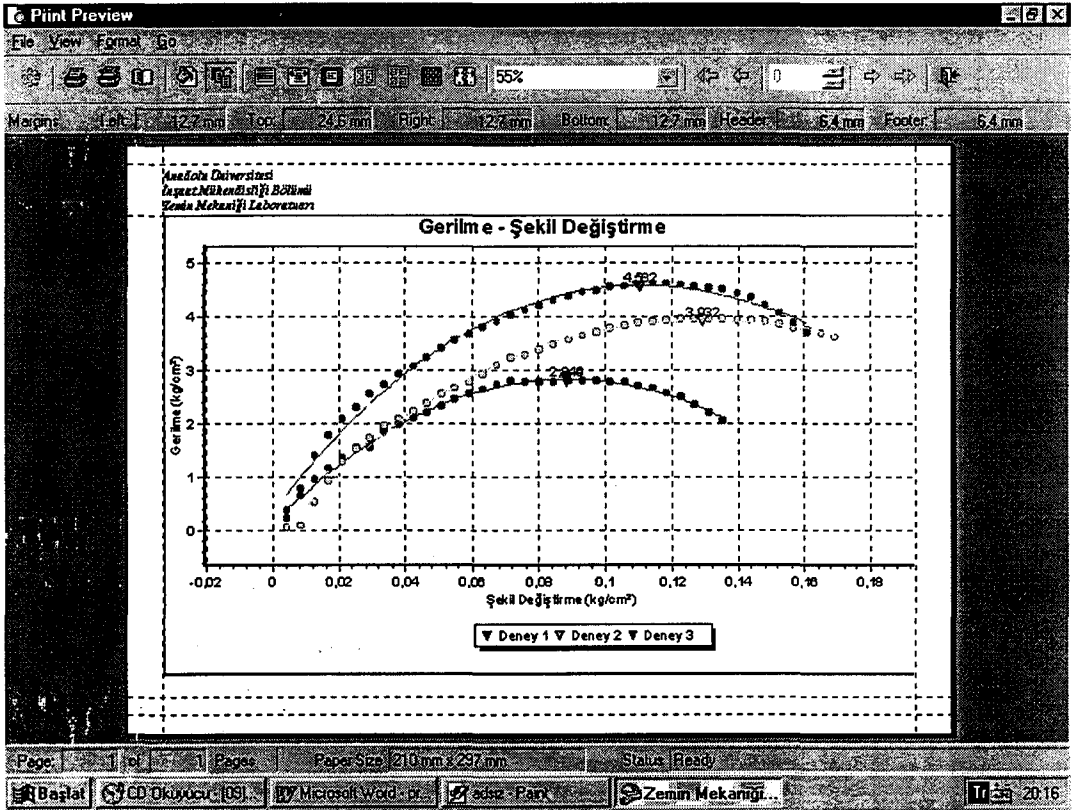
Şekil 5.29 Deney çıktıları baskı ön izleme ekranının gösterilmesi

Yazıcı ikonuna tıklandıktan sonra baskı ön izleme penceresi açılır. Ön izleme penceresinin üst bandında bulunan ikonlar yardımıyla gerekli görülen düzenlemeler yapılarak tekrar yazıcı ikonuna tıklanarak doküman yazıcıya gönderilir. Yazdırılan sayfanın sol üst köşesinde Anadolu Üniversitesinin amblemi ve ismiyle birlikte İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı yazısı ve bunların hemen altında deney numunesine ait proje, lokasyon, numune, sondaj kuyusu ismi ve koordinat bilgileri yer alır.

Üstte ortada deney numunesine ait deney veri formunda birincil pencere üzerindeki boş alana yazdığımız numuneye ait spesifik gravite, su muhtevası gibi

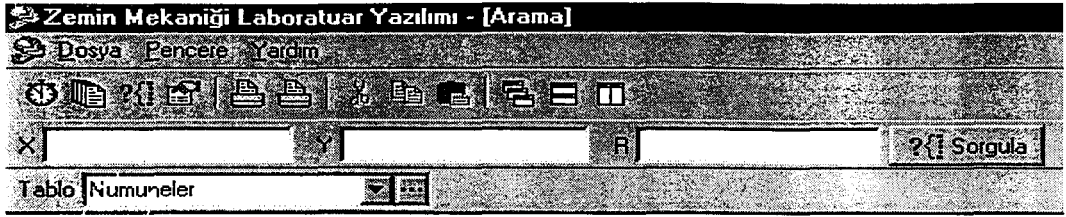
verilerle diğer kendi notlarımız gösterilir. Sağ üst köşede ise deneyin adı, yapıldığı tarih ve deney sorumlusunun adı bilgileri yer alır.

Programda grafiklerin yazdırılması grafik butonuna basılmasıyla açılan grafik penceresinde yakınlaştırma, uzaklaştırma ve grafik alanının renkli veya beyaz olması gibi ayarlar ile grafik formunun logaritmik olması yada olmaması ve gridlerin gösterilip gösterilmemesi gibi ayarların yapılmasından sonra yazıcı ikonuna tıklanarak açılan baskı ön izleme ekranında dosya mönüsü içerisinde bulunan yazıcı ayarları penceresinde üst bilgi, alt bilgi bilgilerin girilmesi işlemlerinin tamamlanmasının ardından dokümanın yazıcıya gönderilmesiyle gerçekleştirilir.



Şekil 5.30 Grafik çıktıları baskı ön izleme ekranının gösterilmesi

Programı veri tabanı olarak çalışmakta yapılan tüm deneyleri belleğinde tutmaktadır. Programın tüm numuneler için tanıtım sırasında girilen sondaj kuyusu koordinatları üzerinden sorgulama yapabilmektedir. Girilen herhangi bir koordinata istenilen yarı çapta komşuluğu olan kuyulardan alınmış numuneler üzerinde daha önceden deneysel çalışmalar yapılmışsa bunlar listelenmektedir.



Şekil 5.31 Arama ekranının gösterilmesi

Programın ana ekranı üzerinde bulunan arama ikonuna tıklanarak arama geçmişi penceresi açılır. Açılan pencere üzerinde (X,Y) koordinatlarıyla arama yapılacak alanı belirlemek üzere “R” yarıçapı değerleri girildikten sonra sorgulama butonuna basılarak bulunan kayıtlar listelenir. Bulunan kayıtlar daha sonra ana ekran üzerinden seçilerek deneylere ait bilgiler görülebilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Deneyleerin “Zemin Mekanığı Laboratuar Yazılımı” ile değerdendirilmesi ile hesaplamalar ve grafik çizimleri için harcanan süreden tasarruf edilmiştir.
- Yapılan deneyleerin veri tabanında saklanmasıyla istenilen bilgiye kolayca ulaşılması sağlanmıştır.
- Koordinat girilerek yapılan sorgulamayla istenilen yarıçapta çizilen daire içerisinde bulunan sondaj kuyularından elde edilen deney verilerine ulaşılabilmekte ve arazinin genel yapısı hakkında daha fazla bilgiye sahip olunabilmektedir.
- Yazılımın Windows İşletim Sistemi altında çalışması ve hesap tablolarının excel tablosu olarak kaydedilebilmesi, başka dokümanların hazırlanmasında da bu tabloların kullanılabilmesini olanaklı kılmaktadır.
- Program su içeriğinin belirlenmesin, kıvam limitleri, spesifik gravite, tane çapı dağılımı, kompaksiyon, permeabilite, serbest basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı ve kesme kutusu deneyleerinde kusursuz sonuçlar vermektedir.
- Konsolidasyon deneyleerinde a_v , m_v , C_c , C_s gibi verilerin hesaplanabilmesine karşın ön konsolidasyon basıncı grafik olarak okunamamakta ve $e - \log (P)$ grafiğı üzerinden kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda bu eksikliğın giderilmesi önerilmektedir.
- Kullanıcı hatalarının ortadan kaldırılması ve zamandan işleri hızlandırılması açısından verilerin doğrudan dijital sistemlerle deney setlerinden alınması konusunda çalışmalarn yapılması faydalı olacaktır.
- Yazılıma CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) boyutunun eklenmesi ile verilerin görsel olarak ifade edilebilmesini ve çok daha geniş sorgulamaların yapılmasını olanaklı kılacaktır.

KAYNAKLAR

1. BARDET, J.P., *Experimental Soil Mechanics*, Prentice-Hall, Inc., NJ, USA (1997)
2. BOWLES, J.E., *Engineering Properties of Soils and their Measurement*, Mc Graw-Hill Book Company, NJ, USA (1992)
3. KUMBASAR, V. ve KİP, F., *Zemin Mekaniği Problemleri*, Çağlayan Kitapevi, İstanbul (1992)
4. ÇİNİCİOĞLU, F., *Zemin Mekaniği Dersleri*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir (1992)
5. AL-KHAFAJI, A.W. ve ANDERSLAND, O.B., *Geotechnical Engineering & Soil Testing*, Saunders College Publishing, Orlando, Florida, USA (1992)
6. ÖZAYDIN, K., *Zemin Mekaniği*, Meva Matbaacılık, Ankara (1989)

EK – 1

ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUAR YAZILIMI
ÖRNEK DENEY ÇIKTILARI



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Su İçeriği
14.11.2001
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

ID	Kap	Kap Ağırlığı (g)	Kap + Islak Zemin Ağırlığı (g)	Kap + Kuru Zemin Ağırlığı (g)	Su İçeriği (%)
5	C1	16,09	31,32	29,28	15,47
6	C2	16,00	31,00	29,00	15,38
7	C3	16,00	31,00	29,50	11,11



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Spesifik Gravite
14.11.2001
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

ID	Pikno	Kuru Zemin Ağırlığı (g)	Piknometre + Su Ağırlığı (g)	Piknometre + Zemin + Su Ağırlığı (g)	Gs (g/cm ³)	Sıcaklı (C°)	Gs (20 C°)
1	P1	99,00	660,00	722,00	2,68	23,00	2,67
4	P2	99,50	660,50	722,50	2,65	24,00	2,65



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Tane Çapı Dağılımı
23.11.2001
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

ID	Zemin Ağırlığı (g)	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Cu	C _u - Zemin Ağırlığı (g)	G _s	CF a	Sıfır Düzeltilmiş	MenişKüs Düzeltilmesi	% Geçen (No.200)
1	500,00	0,16	0,26	0,56	3,49	0,76	2,72	0,99	3	1	0,0584



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Tane Çapı Dağılımı
23.11.2001
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Elek	Açıklık (mm)	Kalan Ağırlık (g)	Kalan (%)	Topla (%)	Geçer (%)
4	4,750	9,70	1,94	1,94	98,06
10	2,000	39,50	7,90	9,84	90,16
20	0,850	71,60	14,32	24,16	75,84
40	0,425	129,10	25,82	49,98	50,02
60	0,250	107,40	21,48	71,46	28,54
100	0,150	105,00	21,00	92,46	7,54
200	0,075	8,50	1,70	94,16	5,84
Pan	0,000	1,30	0,26	94,42	5,58

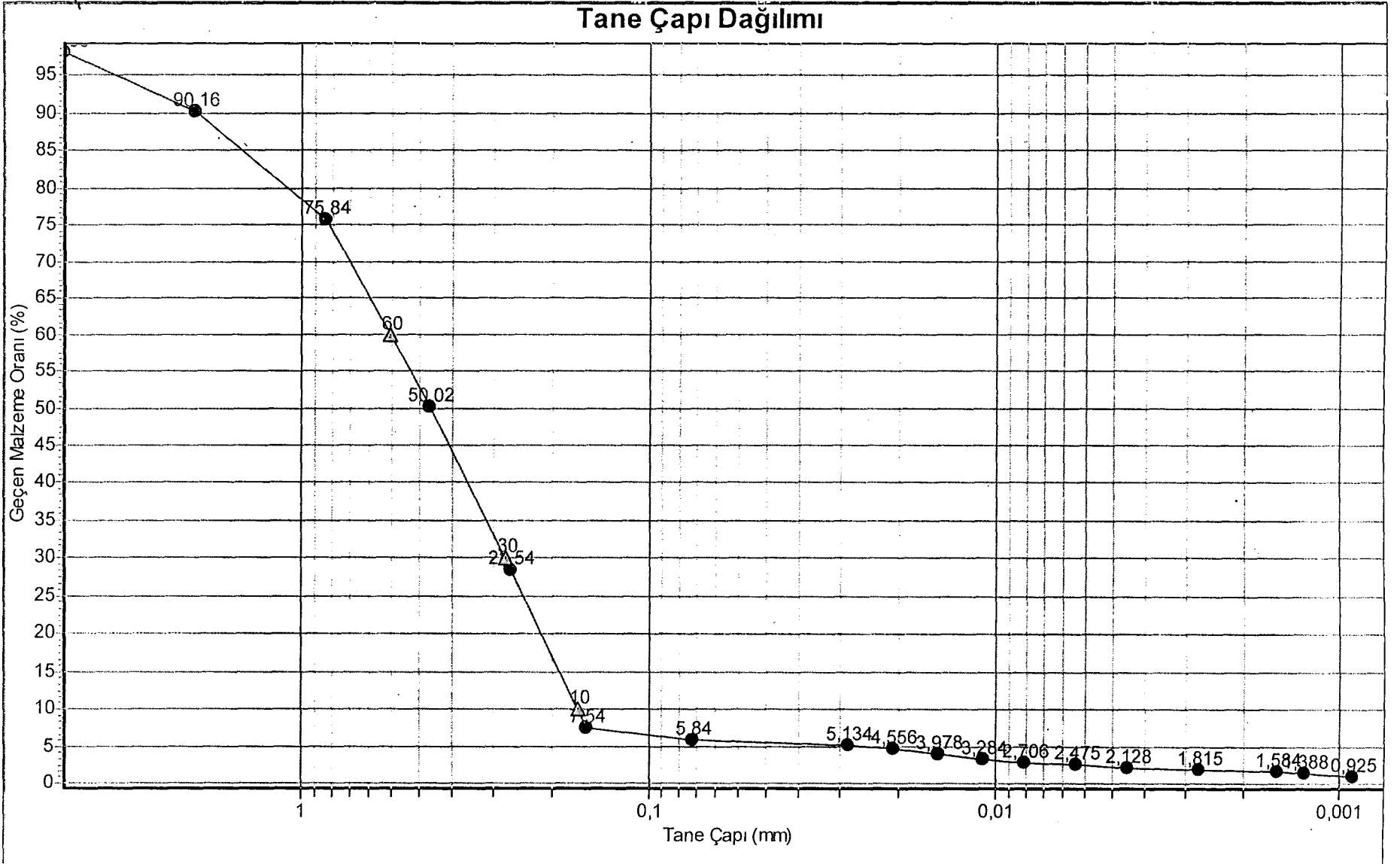


Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Tane Çapı Dağılımı
23.11.2001
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Sür (Da)	Sic (C°)	Gerç Oku	Düzel Okum	Gerç Oran (%)	Uyarı Oran (%)	Sadec Menis İçin	Etkin Derinli	Etkin Drinlik/	K	Tane Çapı (mm)
2	22	47	44,40	87,91	5,13	48,00	8,40	4,20000	0,01305	0,02674
4	22	42	39,40	78,01	4,56	43,00	9,20	2,30000	0,01305	0,01979
8	22	37	34,40	68,11	3,98	38,00	10,10	1,26250	0,01305	0,01466
16	22	31	28,40	56,23	3,28	32,00	11,10	0,69370	0,01305	0,01087
30	22	26	23,40	46,33	2,71	27,00	11,90	0,39660	0,01305	0,00822
60	22	24	21,40	42,37	2,47	25,00	12,20	0,20330	0,01305	0,00588
125	22	21	18,40	36,43	2,13	22,00	12,70	0,10160	0,01305	0,00416
330	23	18	15,70	31,09	1,82	19,00	13,20	0,04000	0,01290	0,00258
990	23	16	13,70	27,13	1,58	17,00	13,50	0,01360	0,01290	0,00151
1410	24	14	12,00	23,76	1,39	15,00	13,80	0,00970	0,01274	0,00126
2850	24	10	8,00	15,84	0,93	11,00	14,50	0,00500	0,01274	0,00091



$D_{10} = 0.16$ $D_{30} = 0.26$ $C_u = 3.49$ $C_c = 0.76$

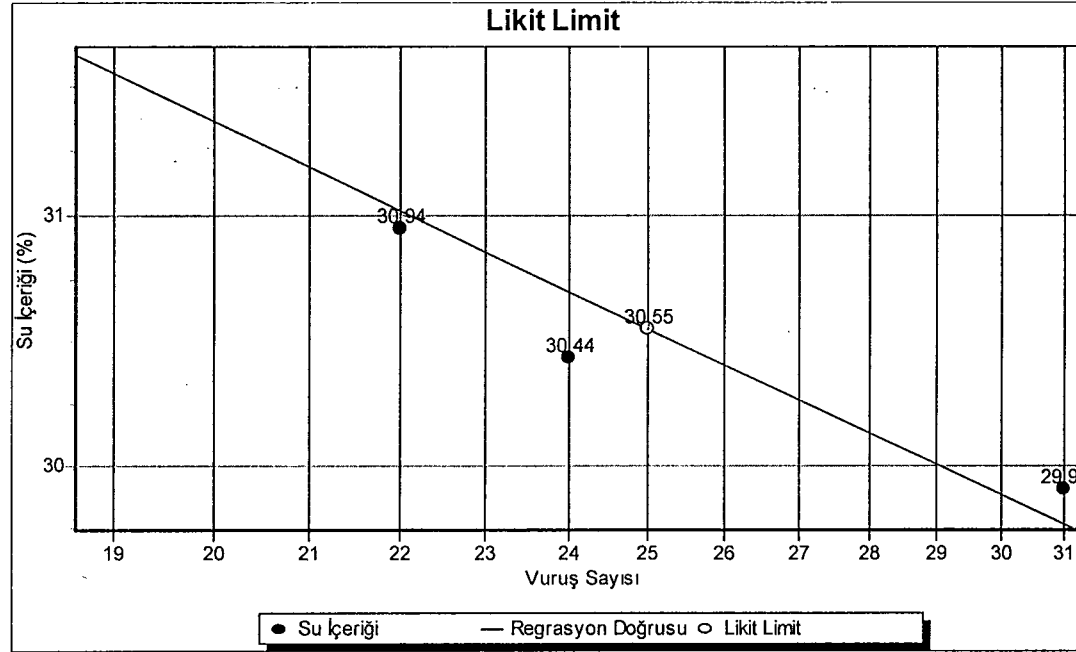


Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kıvam Limitleri
19.02.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Kap	Kap Ağırlığı (g)	Kap + Islak Numune Ağırlığı (g)	Kap + Kuru Zemin Ağırlığı (g)	Su İçeriği (%)	Vuruş Sayısı
1	47,72	59,89	57,05	30,44	24
2	43,21	59,76	55,95	29,91	31
3	45,17	61,25	57,45	30,94	22
4	45,81	58,26	55,26	31,75	19



Likit Limit = % 30.55



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kıvam Limitleri
19.02.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Kap	Kap Ağırlığı (g)	Kap + Islak Zemin Ağırlığı (g)	Kap + Kuru Zemin Ağırlığı (g)	Su İçeriği (%)
1	20,10	30,00	28,40	19,28
2	22,40	29,30	28,10	21,05
3	21,20	31,00	29,40	19,51
4	23,00	35,80	33,80	18,52



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kıvam Limitleri
19.02.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

ID	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndisi
3	30,55	19,59	10,96



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Rötre Limiti
05.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

ID	Test No	Kap Ağırlık (g)	Kap + Islak Zemin	Kap + Kuru Zemin	İlk Su Muhrev (%)	Civa Ağırlık (g)	Taşan Civa Ağırlığı	Su Mutevası Değişimi	Rötre Limiti (%)
1	1	12,34	40,43	33,68	31,63	189,83	150,30	13,62	18,01
2	2	12,00	40,00	33,00	33,33	198,00	150,00	16,81	16,53



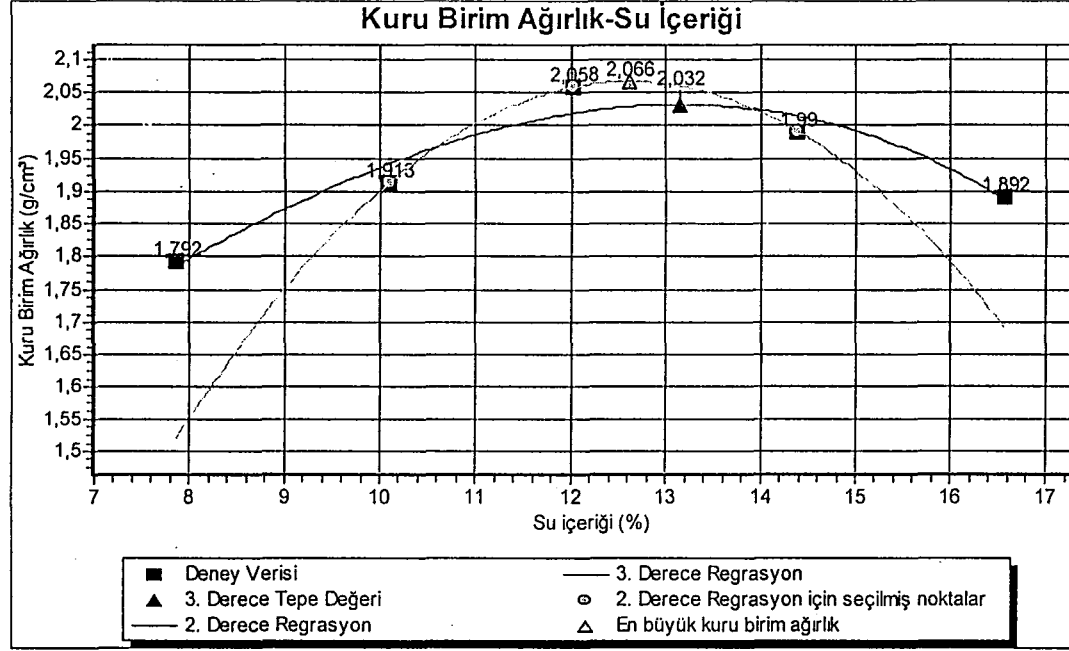
Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kompaksiyon
10.03.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8 Standart Proktor

ID	Kalıp Hacmi (cm ³)	Kalıp Ağırlığı (g)	Kalıp + Zemin Ağırlığı (g)	Ortalama Su İçeriği (%)	Kuru Birim Ağırlık (g/cm ³)	En Büyük Kuru Birim Ağırlık (g/cm ³)	Optimum Su İçeriği (%)
12	944,00	1.933,00	3.757,20	7,85	1,79	2,07	12,62
13	944,00	1.933,00	3.921,40	10,10	1,91	2,07	12,62
14	944,00	1.933,00	4.109,00	12,02	2,06	2,07	12,62
15	944,00	1.933,00	4.082,50	14,40	1,99	2,07	12,62
16	944,00	1.933,00	4.015,20	16,57	1,89	2,07	12,62

STANDART PROKTOR



Optimum Su İçeriği = % 12.62

En Büyük Kuru Birim Ağırlık = 1.95 g/cm³



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Serbest Basınç
13.04.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Islak Birim Ağırlık = 2.16 g/cm³
Kuru Birim Ağırlık = 1.89 g/cm³
Su İçeriği = % 14.25

ID	Uzunluk (mm)	Alan (cm ²)	Serbest Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)
1	115,00	40,70	2,83	1,42



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Serbest Basınç
13.04.2002
Bülent DÜLGER

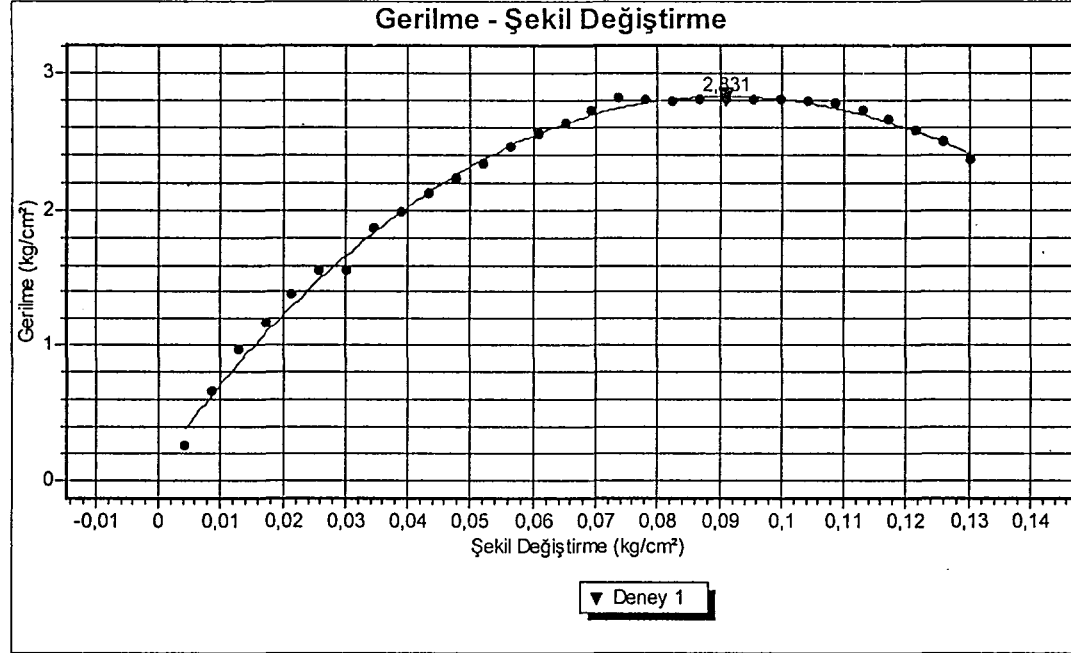
Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Islak Birim Ağırlık = 2.16 g/cm³
Kuru Birim Ağırlık = 1.89 g/cm³
Su İçeriği = % 14.25

Düşey Kısalım (mm)	Yük Okum	Uygul Yük (kg/c)	Düşey Şekil Değiştir	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Geril (kg/c)
0,50	16,00	10,22	0,00435	40,878	0,250
1,00	42,00	26,78	0,00870	41,057	0,652
1,50	62,00	39,48	0,01304	41,238	0,957
2,00	76,00	48,42	0,01739	41,420	1,169
2,50	90,00	57,30	0,02174	41,604	1,377
3,00	102,00	64,98	0,02609	41,790	1,555
3,50	102,00	64,98	0,03043	41,978	1,548
4,00	123,00	78,32	0,03478	42,167	1,857
4,50	132,00	84,08	0,03913	42,357	1,985
5,00	141,00	89,84	0,04348	42,550	2,111
5,50	149,00	94,88	0,04783	42,744	2,220
6,00	157,00	100,00	0,05217	42,940	2,329
6,50	165,00	105,71	0,05652	43,138	2,451
7,00	172,00	110,67	0,06087	43,338	2,554
7,50	178,00	114,67	0,06522	43,540	2,634
8,00	185,00	119,33	0,06957	43,743	2,728
8,50	192,00	124,00	0,07391	43,948	2,821
9,00	192,00	124,00	0,07826	44,156	2,808
9,50	192,00	124,00	0,08261	44,365	2,795
10,00	193,00	124,67	0,08696	44,576	2,797
10,50	194,00	125,33	0,09130	44,789	2,798
11,00	195,00	126,00	0,09565	45,005	2,800
11,50	196,00	126,67	0,10000	45,222	2,801
12,00	196,00	126,67	0,10435	45,442	2,787

Düsey Kısalım (mm)	Yük Okum	Uygul Yük (kg/c)	Düsey Sekil Değiştir	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Geril (kg/c)
12,50	196,00	126,67	0,10870	45,663	2,774
13,00	193,00	124,67	0,11304	45,887	2,717
13,50	190,00	122,67	0,11739	46,113	2,660
14,00	185,00	119,33	0,12174	46,342	2,575
14,50	180,00	116,00	0,12609	46,572	2,491
15,00	172,00	110,67	0,13043	46,805	2,364

SERBEST BASINÇ DAYANIMI



$q_u = 2.83 \text{ kg/cm}^2$
 $c_u = 1.42 \text{ kg/cm}^2$



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Üç Eksenli Basınç (UU)
04.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi

Yer İki Eylül Kampüsü

Numune Örselemiş

Kuyu SK-5

Koordinat (m) 44545062

574268658

8

ID	Uzunlu (mm)	Alan (cm ²)	Hücre Basıncı (kg/cm ²)	En Büyük Deviator Gerilme (kg/cm ²)	Vertical Stress (kg/cm ²)	Kohezyon (kg/cm ²)	Sürtünme Açısı (deg)
4	118,00	40,72	1,07	2,85	3,92	0,74	16,74
5	118,00	40,72	2,14	3,93	6,07	0,74	16,74
6	118,00	40,72	3,21	4,58	7,80	0,74	16,74



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Üç Eksenli Basınç (UU)
04.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi

Yer İki Eylül Kampüsü

Numune Örselemiş

Kuyu SK-5

Koordinat (m) 44545062

574268658

8

Hucre Basıncı = 1.07 kg/cm²

Düşey Kısalma (mm)	Yük Okuma	Uygulanan Yük (kg/cm ²)	Düşey Şekil Değiştirme (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Deviator Gerilme (kg/cm ²)
0,50	16,00	10,22	0,00424	40,888	0,250
1,00	42,00	26,78	0,00847	41,063	0,652
1,50	62,00	39,48	0,01271	41,239	0,957
2,00	76,00	48,42	0,01695	41,417	1,169
2,50	90,00	57,30	0,02119	41,596	1,378
3,00	102,00	64,98	0,02542	41,777	1,555
3,50	102,00	64,98	0,02966	41,960	1,549
4,00	123,00	78,32	0,03390	42,144	1,858
4,50	132,00	84,08	0,03814	42,329	1,986
5,00	141,00	89,84	0,04237	42,517	2,113
5,50	149,00	94,88	0,04661	42,706	2,222
6,00	157,00	100,00	0,05085	42,896	2,331
6,50	165,00	105,71	0,05508	43,089	2,453
7,00	172,00	110,67	0,05932	43,283	2,557
7,50	178,00	114,67	0,06356	43,478	2,637
8,00	185,00	119,33	0,06780	43,676	2,732
8,50	192,00	124,00	0,07203	43,876	2,826
9,00	190,00	122,67	0,07627	44,077	2,783
9,50	192,00	124,00	0,08051	44,280	2,800
10,00	193,00	124,67	0,08475	44,485	2,802
10,50	194,00	125,33	0,08898	44,692	2,804
11,00	195,00	126,00	0,09322	44,901	2,806
11,50	196,00	126,67	0,09746	45,111	2,808
12,00	196,00	126,67	0,10169	45,324	2,795

74

Düsey Kısalma (mm)	Yük Okuma	Uygulanan Yük (kg/cm ²)	Düsey Sekil Değişirme (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Deviyator Gerilme (kg/cm ²)
12,50	196,00	126,67	0,10593	45,539	2,781
13,00	193,00	124,67	0,11017	45,756	2,725
13,50	190,00	122,67	0,11441	45,975	2,668
14,00	185,00	119,33	0,11864	46,196	2,583
14,50	180,00	116,00	0,12288	46,419	2,499
15,00	172,00	110,67	0,12712	46,644	2,373
15,50	162,00	103,57	0,13136	46,872	2,210
16,00	152,00	96,78	0,13559	47,102	2,055



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Üç Eksenli Basınç (UU)
04.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8
Hucre Basıncı = 2.14 kg/cm²

Düşey Kısılma (mm)	Yük Okuma	Uygulanan Yük (kg/cm ²)	Düşey Şekil Değişirme (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Deviator Gerilme (kg/cm ²)
0,50	4,00	2,56	0,00424	40,893	0,063
1,00	7,00	4,48	0,00847	41,068	0,109
1,50	34,00	21,66	0,01271	41,244	0,525
2,00	61,00	38,84	0,01695	41,422	0,938
2,50	84,00	53,46	0,02119	41,601	1,285
3,00	100,00	63,70	0,02542	41,782	1,525
3,50	115,00	73,30	0,02966	41,965	1,747
4,00	129,00	82,16	0,03390	42,149	1,949
4,50	140,00	89,20	0,03814	42,334	2,107
5,00	150,00	95,50	0,04237	42,522	2,246
5,50	160,00	102,14	0,04661	42,711	2,392
6,00	170,00	109,29	0,05085	42,901	2,547
6,50	179,00	115,33	0,05508	43,094	2,676
7,00	188,00	121,33	0,05932	43,288	2,803
7,50	198,00	128,00	0,06356	43,484	2,944
8,00	209,00	135,33	0,06780	43,681	3,098
8,50	219,00	142,00	0,07203	43,881	3,236
9,00	224,00	145,33	0,07627	44,082	3,297
9,50	231,00	150,00	0,08051	44,285	3,387
10,00	238,00	155,00	0,08475	44,490	3,484
10,50	245,00	160,00	0,08898	44,697	3,580
11,00	251,00	164,00	0,09322	44,906	3,652
11,50	257,00	168,00	0,09746	45,117	3,724
12,00	262,00	171,33	0,10169	45,330	3,780

Düsey Kısalma (mm)	Yük Okuma	Uygulanan Yük (kg/cm ²)	Düsey Şekil Değiştirme (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Deviator Gerilme (kg/cm ²)
12,50	267,00	174,67	0,10593	45,545	3,835
13,00	271,00	177,33	0,11017	45,762	3,875
13,50	275,00	180,00	0,11441	45,980	3,915
14,00	278,00	182,00	0,11864	46,202	3,939
14,50	280,00	183,33	0,12288	46,425	3,949
15,00	282,00	184,67	0,12712	46,650	3,959
15,50	284,00	186,00	0,13136	46,878	3,968
16,00	285,00	186,67	0,13559	47,107	3,963
16,50	285,00	186,67	0,13983	47,340	3,943
17,00	285,00	186,67	0,14407	47,574	3,924
17,50	285,00	186,67	0,14831	47,811	3,904
18,00	283,00	185,33	0,15254	48,050	3,857
18,50	280,00	183,33	0,15678	48,291	3,796
19,00	278,00	182,00	0,16102	48,535	3,750
19,50	275,00	180,00	0,16525	48,781	3,690
20,00	272,00	178,00	0,16949	49,030	3,630



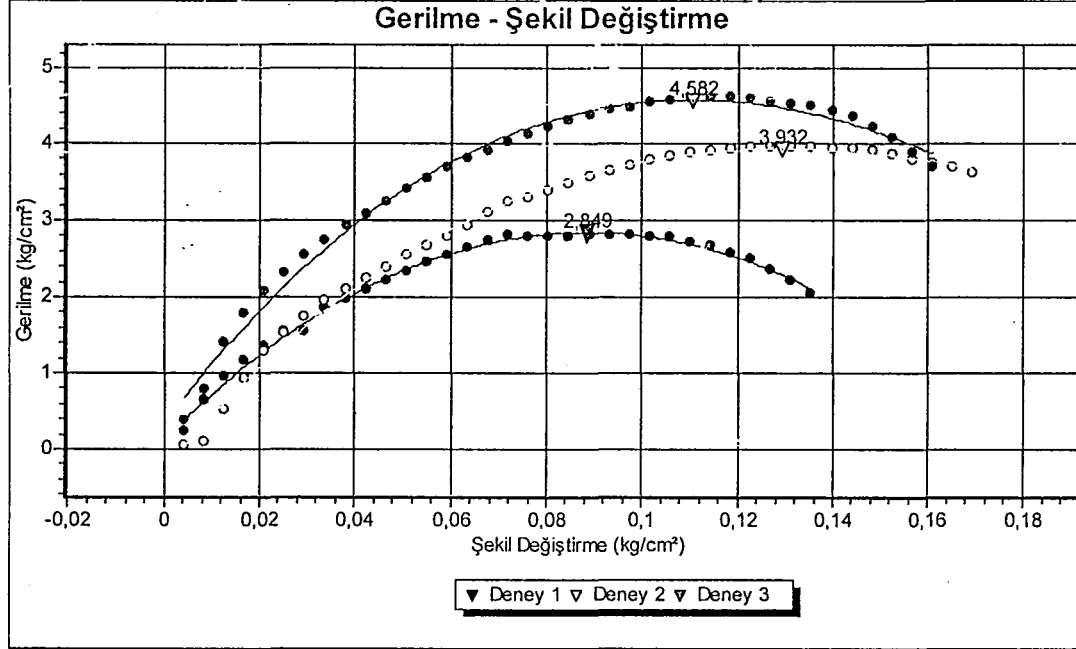
Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Üç Eksenli Basınç (UU)
04.05.2002
Bülent DÜLGER

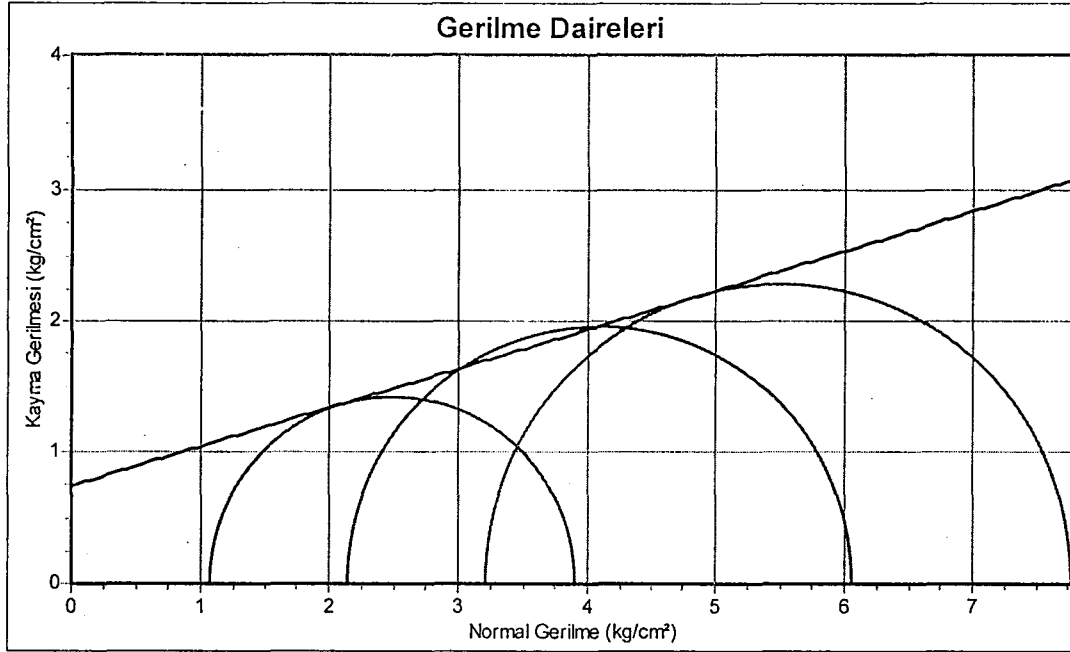
Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Düşey Kısılma (mm)	Yük Okuma	Uygulanan Yük (kg/cm ²)	Düşey Şekil Değişirme (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Deviyör Gerilme (kg/cm ²)
0,50	25,00	15,90	0,00424	40,893	0,389
1,00	52,00	33,14	0,00847	41,068	0,807
1,50	91,00	57,94	0,01271	41,244	1,405
2,00	117,00	74,54	0,01695	41,422	1,800
2,50	136,00	86,64	0,02119	41,601	2,083
3,00	152,00	96,78	0,02542	41,782	2,316
3,50	167,00	107,14	0,02966	41,965	2,553
4,00	180,00	116,00	0,03390	42,149	2,752
4,50	193,00	124,67	0,03814	42,334	2,945
5,00	203,00	131,33	0,04237	42,522	3,089
5,50	214,00	138,67	0,04661	42,711	3,247
6,00	225,00	146,00	0,05085	42,901	3,403
6,50	235,00	152,86	0,05508	43,094	3,547
7,00	245,00	160,00	0,05932	43,288	3,696
7,50	253,00	165,33	0,06356	43,484	3,802
8,00	261,00	170,67	0,06780	43,681	3,907
8,50	270,00	176,67	0,07203	43,881	4,026
9,00	278,00	182,00	0,07627	44,082	4,129
9,50	285,00	186,67	0,08051	44,285	4,215
10,00	292,00	191,33	0,08475	44,490	4,301
10,50	299,00	196,00	0,08898	44,697	4,385
11,00	305,00	200,00	0,09322	44,906	4,454
11,50	309,00	202,53	0,09746	45,117	4,489
12,00	315,00	206,33	0,10169	45,330	4,552

Düsey Kısalma (mm)	Yük Okuma	Uygulanan Yük (kg/cm ²)	Düsey Sekil Deęistirme (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Deviator Gerilme (kg/cm ²)
12,50	318,00	208,23	0,10593	45,545	4,572
13,00	322,00	210,76	0,11017	45,762	4,606
13,50	325,00	212,66	0,11441	45,980	4,625
14,00	326,00	213,29	0,11864	46,202	4,617
14,50	326,00	213,29	0,12288	46,425	4,594
15,00	325,00	212,66	0,12712	46,650	4,559
15,50	325,00	212,66	0,13136	46,878	4,536
16,00	324,00	212,03	0,13559	47,107	4,501
16,50	320,00	209,49	0,13983	47,340	4,425
17,00	316,00	206,96	0,14407	47,574	4,350
17,50	307,00	201,27	0,14831	47,811	4,210
18,00	299,00	196,00	0,15254	48,050	4,079
18,50	287,00	188,00	0,15678	48,291	3,893
19,00	274,00	179,33	0,16102	48,535	3,695



UC EKSENLI BASINC (UU)





Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kesme Kutusu
15.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

ID	Normal Yük (kg)	Alan (cm ²)	Normal Gerilme (kg/cm ²)	En Büyük Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)	Sürtüme Açısı (°)
7	24,70	36,00	0,69	0,77	29,55
8	44,70	36,00	1,24	1,16	29,55
9	84,70	36,00	2,35	1,73	29,55



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kesme Kutusu
15.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Normal Gerilme = 0.69 kg/cm²

Yatay Yer Değiştirme (mm)	Düsey Yer Değiştirme (mm)	Yük Okuma	Kayma Kuvveti (kg)	Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)
0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,500	0,020	16,00	5,93	0,16
1,000	0,040	42,00	15,56	0,43
1,500	0,080	57,00	21,11	0,59
2,000	0,100	65,00	24,07	0,67
2,500	0,120	68,00	25,19	0,70
3,000	0,130	73,00	27,04	0,75
3,500	0,140	75,00	27,78	0,77
4,000	0,140	74,00	27,41	0,76
4,500	0,120	61,00	22,59	0,63



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kesme Kutusu
15.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Normal Gerilme = 1.24 kg/cm²

Yatay Yer Değiştirme (mm)	Düsey Yer Değiştirme (mm)	Yük Okuma	Kayma Kuvveti (kg)	Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)
0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,500	0,050	24,00	8,89	0,25
1,000	0,100	63,00	23,33	0,65
1,500	0,150	76,50	28,33	0,79
2,000	0,200	98,00	36,30	1,01
2,500	0,250	102,00	37,78	1,05
3,000	0,300	110,00	40,74	1,13
3,500	0,250	113,00	41,85	1,16
4,000	0,200	110,00	40,74	1,13
4,500	0,150	91,50	33,89	0,94



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Kesme Kutusu
15.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5

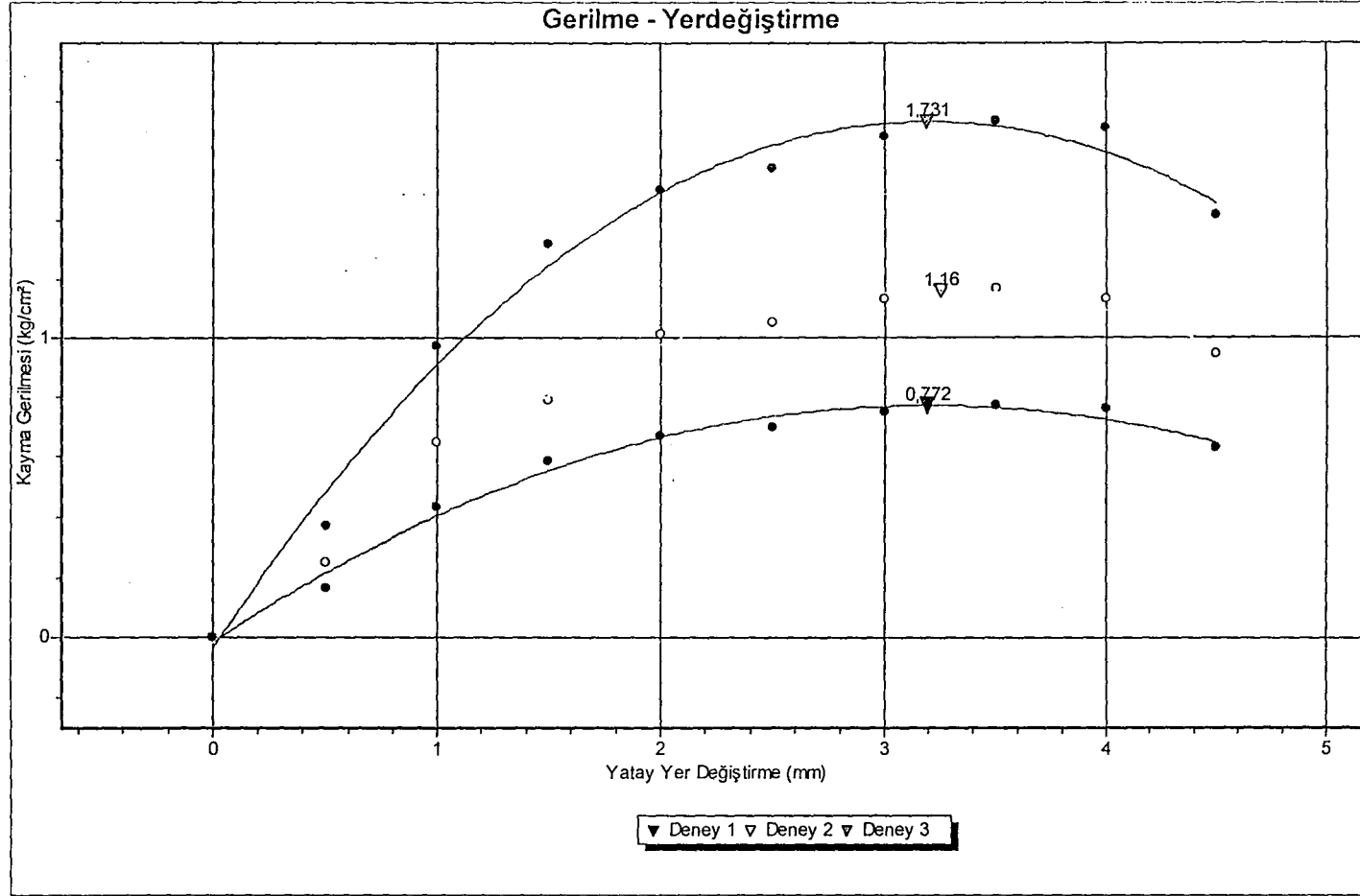
Normal Gerilme = 2.35 kg/cm²

Koordinat (m) 44545062 574268658 8

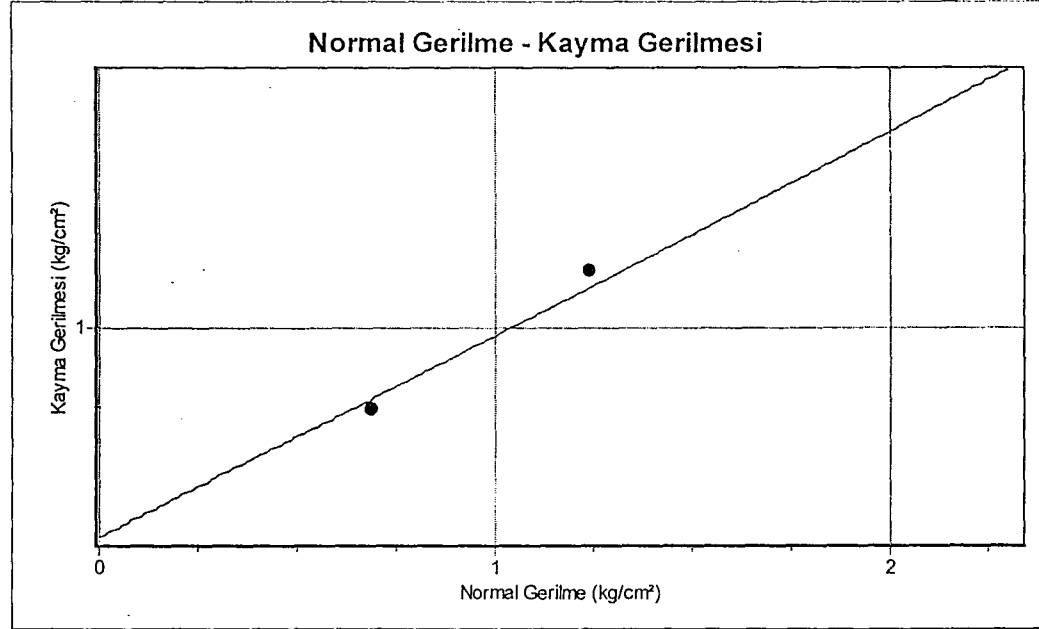
Yatay Yer Değiştirme (mm)	Düsey Yer Değiştirme (mm)	Yük Okuma	Kayma Kuvveti (kg)	Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)
0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,500	0,000	36,00	13,33	0,37
1,000	0,000	94,50	35,00	0,97
1,500	0,000	128,00	47,41	1,32
2,000	0,000	146,00	54,01	1,50
2,500	0,000	153,00	56,57	1,57
3,000	0,000	164,00	60,58	1,68
3,500	0,000	169,00	62,41	1,73
4,000	0,000	166,50	61,50	1,71
4,500	0,000	137,25	50,82	1,41

85

KESME KUTUSU



KESME KUTUSU



Sürtünme Acisi = 29.55 deg



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Sabit Seviyeli Geçirgenlik
05.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Test No	Su Miktarı (cm ³)	Süre (sn)	Sıcaklık (C°)	Seviye Farkı [h](cm)	Geçirgenlik Katsayısı (cm/sn)	20 C°'deki Geçirgenlik
1	305,00	60,0	25	60,00	0,0353	0,0314
2	375,00	60,0	25	70,00	0,0372	0,0331
3	395,00	60,0	25	80,00	0,0343	0,0305



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Düşen Seviyeli Geçirgenlik

05.05.2002

Bülent DÜLGER

Proje Anadolu Üniversitesi
Yer İki Eylül Kampüsü
Numune Örselemiş
Kuyu SK-5
Koordinat (m) 44545062 574268658 8

Test No	h1 (cm)	h2 (cm)	Su Miktarı (cm ³)	Süre (sn)	Sıcaklık (°C)	Geçirgenlik Katsayısı (cm/sn)	20 °C'deki Geçirgenlik Katsayısı
1	85,00	24,00	64,00	15,0	25	0,0369	0,0328



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

Konsolidasyon
20.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje Ataçehir
Yer 43A ada
Numune örselenmiş
Kuyu sk12
Koordinat (m) 454654

5646654

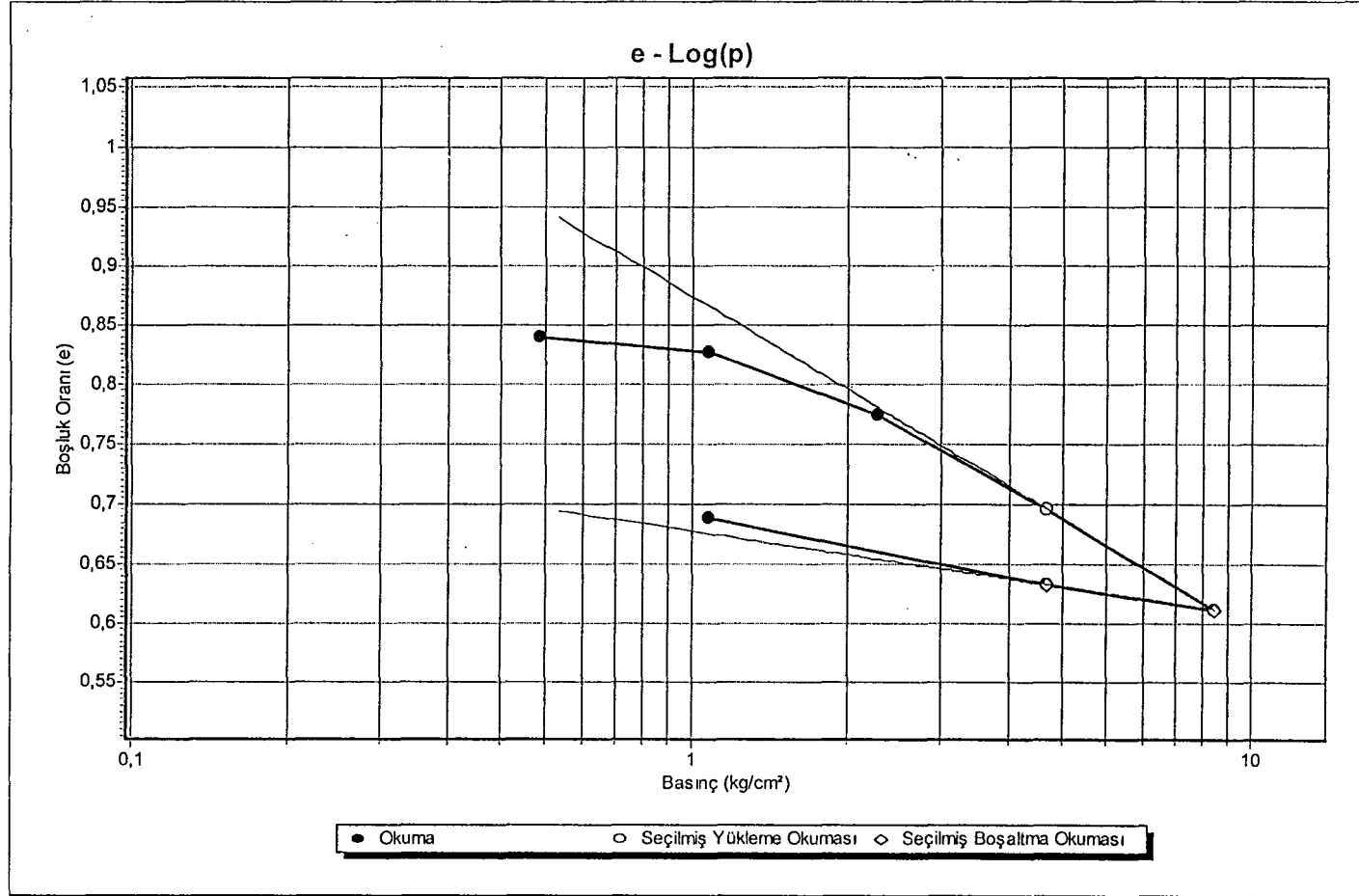
12

Gs = 2.71
Tabii Su İçeriği = % 27.65
Deneu Başı Su İçeriği = % 29.30
Deney Sonu Su İçeriği = % 25.46

ID	Basınç (kg/cm ²)	Son Okuma (mm)	Yükseklik Değişimi (mm)	Son Yükseklik (mm)	Tane Yüksekliği (mm)	Boşluk Yüksekliği (mm)	Son Boşluk Oranı (e)	Ortamala Yükseklik (mm)	190	Cv x10 ³ (cm ² /min)	Cc	Cs	av (cm ² /kg)	m _v (cm ² /kg)	P _c (kg/cm ³)
2	0,000	0,508		25,400	13,690	11,710	0,855				0,020	0,005			
3	0,538	0,719	0,211	25,189	13,690	11,499	0,840	25,294			0,020	0,005	0,029	0,015	
4	1,076	0,904	0,185	25,004	13,690	11,314	0,826	25,096			0,020	0,005	0,025	0,014	
5	2,153	1,621	0,717	24,287	13,690	10,597	0,774	24,646			0,020	0,005	0,049	0,027	
6	4,306	2,690	1,069	23,218	13,690	9,528	0,696	23,753			0,020	0,005	0,036	0,020	
7	8,611	3,846	1,156	22,062	13,690	8,372	0,612	22,640			0,020	0,005	0,020	0,012	
9	4,306	3,556	-0,290	22,352	13,690	8,662	0,633	22,207			0,020	0,005			
10	1,076	2,795	-0,761	23,113	13,690	9,423	0,688	22,733			0,020	0,005			

96

KONSOLIDASYON DENEYİ





Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

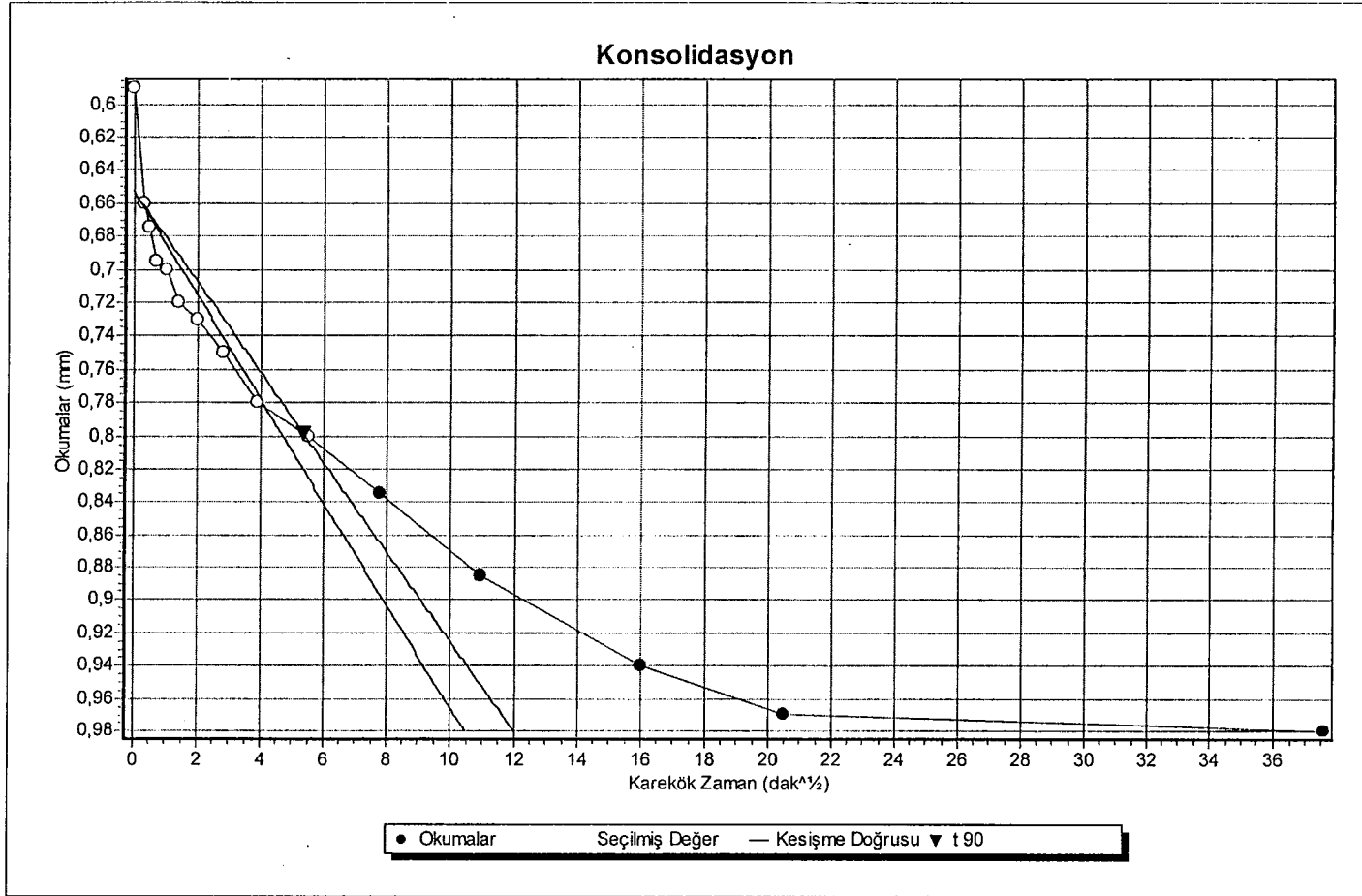
Konsolidasyon
18.05.2002
Bülent DÜLGER

Proje **Anadolu Üniversitesi**
Yer **İki Eylül Kampüsü**
Numune **Örselemiş**
Kuyu **SK-5**
Koordinat (m) **44545062** **574268658** **8**

Zaman (dak)	Okuma (mm)
0,00	0,590
0,10	0,660
0,25	0,675
0,50	0,695
1,00	0,700
2,00	0,720
4,00	0,730
8,00	0,750
15,00	0,780
30,00	0,800
60,00	0,835
120,00	0,885
256,00	0,940
420,00	0,970
1.417,00	0,980

92

KONSOLIDASYON DENEYİ



T 90 = 28.26 dak



Anadolu Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Zemin İntekaniği Laboratuvarı

Proje Mahalle Sondajları
Yer Yunusemre Kampüsü

Yer	Ku	X	Y	Z	W	D.B.	Y.A.	Ca	Ku	ST	Kil	LL	PL	PI	SP	Dr	S	Cu	Z
								(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)					S
43A ada	sk12	454654	5646654	12	15,4							30,55	19,59	10,96		2,67	16,74	3,49	MH
43A ada		1	1	1	16							29							CH
43A ada	SK-5	1	1	1								35							GW
2 Eylül Kampüsü	b1	40000	50000	1															
Organize Sanayi	sk2	44022,75	2951	3	29	2,01			11	32	57	73	43	30	50				MH
Organize Sanayi	sk2	44022,75	2951	5	29				13	43	44	42	30	12	50				ML
Organize Sanayi	sk2	44022,75	2951	9	30				11	27	62	51	24	27	50				CH
Organize Sanayi	sk4	44055,5	2975,5	1,5	17	1,92	3,5	52	22	19	7	43	30	13	50	0,85	10		GM
Organize Sanayi	sk4	44055,5	2975,5	3	25	1,86	3,5	44	22	27	7	51	32	19	36	0,65	40		GM
Organize Sanayi	sk4	44055,5	2975,5	6,5	20		3,5	70	20	10					28	65	45		GM
İki Eylül Caddesi	sk1	44053,75	2876,25	2	35	1,7	5,5	2	22	42	34	52	34	18	10		5	0,5	MH
İki Eylül Caddesi	sk1	44053,375	2876,25	4	49		5,5	1	5	34	60	76	51	25	7				MH
İki Eylül Caddesi	sk1	44053,375	2876,25	6	39		5,5	3	30	47	20	31	26	5	7		10		ML
Karacahöyük	sk3	44049,5	2960,5	3	20	1,97	6,5		39	29	32	72	71	1	30		15		MH
Karacahöyük	sk3	44049,5	2960,5	6	25	1,81	6,5		4	64	32	74	71	3	33				MH
Karacahöyük	sk3	44049,5	2960,5	9	47		6,5		7	65	28	73	71	2	22				MH
Muttalıp Caddesi	sk5	44068,5	2882	3	12	2,02	6,5	15	32	35	18	32	24	8	13		20		ML
Muttalıp Caddesi	sk5	44068,5	2882	6	33		6,5	3	35	49	12	35	27	8	6	0,25	30		ML
Muttalıp Caddesi	sk5	44068,5	2882	12	29		6,5	37	24	29	10	38	27	11	22	0,53	35		GM
Yunusemre Kampüsü	sk6	44078,75	2858,5	4	23	1,48		1	32	64	3							0,45	ML
Yunusemre Kampüsü	sk6	44078,75	2858,5	9	48	1,65		1	21	44	34	89	48	41				1,1	MH
Yunusemre Kampüsü	sk6	44078,75	2858,5	12,5	61			2	72	14	12				32				GM
Ömerağa	sk7	44068	2875,5	3	29	1,92	5	2	20	48	30	50	33	17	11	0,35	5	0,895	MH
Ömerağa	sk7	44068	2875,5	6	53	1,71	6	2	11	35	52	79	51	28	15		5	0,114	MH
Kırmızıtoprak	sk8	44057,5	2860,5	4,5	53	1,73	4	3	42	44	11	53	32	21			15	0,109	ML
Kırmızıtoprak	sk8	44057,5	2860,5	6	43	1,86	4	4	58	35	3						25	0,158	GW
Kırmızıtoprak	sk9	44058,75	2863,25	2,5	34,5	1,8	3,75	1	36	56	7	37	30,5	6,5			20	0,59	ML
Kırmızıtoprak	sk9	44058,75	2863,25	3,75	44	1,72	3,75	3	46	39	12	55	30	25			25	0,22	MH