



**CBR TEST SONUÇLARININ ÜÇ EKSENLİ DENEY SONUÇLARI İLE
KORELASYONUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Semih ŞENKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2017

Semih ŞENKAN tarafından hazırlanan “CBR TEST SONUÇLARININ ÜÇ EKSENLİ DENEY SONUÇLARI İLE KORELASYONUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/03/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Semih ŞENKAN

24.03.2017

CBR TEST SONUÇLARININ ÜÇ EKSENLİ DENEY SONUÇLARI İLE KORELASYONUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Semih ŞENKAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2017

ÖZET

Bu çalışmada Ankara'nın Çukurambar semtinden alınmış yüksek plastisiteli kil ile farklı su içeriklerinde standart Proctor ve modifiye Proctor enerji oranlarında sıkıştırılarak hazırlanmış deney numunelerinin CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı parametreleri arasındaki ilişki araştırılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle yapılan standart Proctor ve modifiye Proctor deneyleri ile zeminin optimum su içeriği (w_{opt}) bulunmuştur. Kuru ve ıslak CBR deneyi şartlarının araştırıldığı çalışmada, ıslak CBR deneyi öncesi, zemin doymun hale getirilemediğinden doymunluk şartlarını temsil etmesi için optimum su içeriği, %10 arttırılarak doymunluk yüzdesi (S_r) yaklaşık %95'e, %10 daha arttırılarak zemin doymunluk yüzdesi yaklaşık %98~%100 değere yaklaştırılmış ve bu su içeriklerinde sıkıştırılarak şartlar sağlanmaya çalışılmıştır. Değişik su içerikleri ve enerji oranlarında hazırlanmış deney gruplarından 4'er adet ve toplam 24 numune üzerinde CBR deneyi yapılmıştır. Hazırlanan bu numunelerden yaklaşık 70 adet de üç eksenli basınç deney numunesi alınmış ve bu numunelere drenajsız konsolidasyonsuz (UU) üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Bu şartlar altında, killi zeminlerde su içeriği ile enerji oranının değişikliğine bağlı olarak CBR ve drenajsız kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : CBR, kompaksiyon, üç eksenli test, kompaksiyon, su içeriği, kayma dayanımı

Sayfa Adedi : 104

Danışman : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

ASSESSMENT OF CORRELATION OF CBR RESULTS COMPARING TRIAXIAL
TEST RESULTS

(M. Sc. Thesis)

Semih ŞENKAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2017

ABSTRACT

In this study relationship of CBR value of high plasticity clays which were prepared using different water content and standart and modified Proctor energy levels with their undrained shear strengths taken from Çukurambar district of Ankara were investigated. For this reason optimum water contents (W_{opt}) were first determined using standart and modified proctor tests,. In this study at which dry and wet CBR cases were investigated saturation ratio increased to 95% by increasing water content 10% and to %98-100% by increasing water content 20%. This process of increasing water content were applied because soil samples could not be fully saturated before CBR test. CBR tests were performed on 24 samples, 4 tests performed at each group which were prepared with different compaction energy levels and water contents. Approximately 70 undisturbed samples were taken from compacted samples for triaxial testing and unconsolidated undrained (UU) triaxial test was performed. Using test results, the relationships between CBR and undrained shear strength values depending on compactive energy level and water content were investigated.

Science Code : 91105

Key Words : CBR, Compaction, Three axial test, Shear strength, Water content, Shear strenght

Page Number : 104

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

TEŞEKKÜR

Tez boyunca yaptığı katkılardan dolayı danışmanım Prof. Dr. Mehmet ORHAN'a, Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve tezin laboratuvar çalışmaları aşamasında yardımcı olan ve imkan sağlayan Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK ve Doç. Dr. Ali ATEŞ'e, her konuda sabırla yardımcı olan eşim Çiğdem Bilek ŞENKAN'a ve Aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Önceki Yapılmış Çalışmalar	3
2.2. CBR (Kalifornia Taşıma Oranı)	6
2.2.1. Yaş CBR metodu	10
2.3. Kompaksiyon	11
2.3.1. Kohezyonlu zeminlerin kompaksiyonu.....	12
2.3.2. Kompaksiyona etki eden faktörler	13
2.3.3. Sıkıştırılmış zeminlerin özellikleri.....	15
2.4. Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	16
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. İnceleme alanının tanıtılması	19
3.1.2. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan araç ve gereçler.....	20
3.1.3. Sıkışma ve kayma dayanımı deneylerinde kullanılan alet ve gereçler	22

	Sayfa
3.2. Metot.....	25
3.2.1. Standart ve modifiye Proctor deneylerinin yapılış.....	28
3.2.2. CBR (kalifornia taşıma oranı) deneyi	30
3.2.3. Üç eksenli basınç deneyi.....	33
4. DENEYSEL BULGULAR	35
4.1. İndeks ve Tanımlama Deneyleri ve Elde Edilen Bulgular	35
4.2. Standart ve Modifiye Proctor Deney Bulguları.....	37
4.3. CBR (Kalifornia Taşıma Oranı) Deneyinden Elde Edilen Bulgular.....	39
4.4. Üç Eksenli (UU) Basınç Deneyi ve Elde Edilen Bulgular.....	45
5. TARTIŞMA	51
6. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	59
EK-1. Atterberg limitleri	60
EK-2. Özgöl ağırlık deney sonucu.....	61
EK-3. Elek analizi ve hidrometre deney sonuçları	62
EK-4. Standart ve modifiye Proctor deney sonuçları	63
EK-5. CBR deney sonuçları.....	66
EK-6. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları	90
EK-7. Deney sonuçları tablosu	102
ÖZGEÇMİŞ	104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki yaklaşık korelasyon.....	4
Çizelge 2.2. Kırma taşla yapılan deneyde penetrasyon miktarlarına göre standart gerilmeler.....	7
Çizelge 2.3. ASTM'ye göre zemin türüne göre kullanılacak olan kompaksiyon enerjileri.....	8
Çizelge 2.4. Zeminlerin yaklaşık CBR değerleri	9
Çizelge 2.5. CBR sayısına göre zeminlerin sınıflandırılması ve kullanımı	9
Çizelge 2.6. Kompaksiyonda kuru taraf ve yaş taraf mukayesesi	15
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve su içeriği-doygunluk değerleri	27
Çizelge 4.1. Atterberg limitleri, özgül ağırlık deney sonuçları ve zemin sınıflandırması.....	35
Çizelge 4.2. Elek analizi ve hidrometre deney grafiği.....	35
Çizelge 4.3. Standart ve modifiye Proctor deney sonuçları.....	39
Çizelge 4.4. Standart Proctor sıklığındaki numunelerin su içeriği ve CBR değerleri ...	39
Çizelge 4.5. Modifiye Proctor sıklığındaki numunelerin su içeriği ve CBR değerleri..	40
Çizelge 4.6. Standart Proctor numunelerine ait CBR ve üç eksenli basınç deneyi sonuçları	46
Çizelge 4.7. Modifiye Proctor numunelerine ait CBR ve üç eksenli basınç deneyi sonuçları	46
Çizelge 5.1. Look'a göre CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki yaklaşık korelasyon ve tez sonuçları arasındaki ilişki	53
Çizelge 5.2. Deney sonuçları özet tablosu	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Üst Pliyosen çökellerinden alınan 10 adet örsenlenmemiş örneğin P_c-P_o diyagramı üzerinde dağılımı.....	3
Şekil 2.2. Serbest basınç deneyi ile CBR değerlerinin karşılaştırılması.....	4
Şekil 2.3. CBR değerleri ve drenajsız kayma dayanımı arasındaki ilişki.....	5
Şekil 2.4. Kırma taş ile yapılan deneyde elde edilen standart basın-penetrasyon ilişkisi	7
Şekil 2.5. Sıkıştırılmış bir zeminde optimum su içeriği-kuru birim hacim ağırlık (γ_k-w) ilişkisi	11
Şekil 2.6. Optimum su içeriğinin yaklaşık tespiti	12
Şekil 2.7. Sıkıştırma enerjisinin γ_{kmax} ve optimum su içeriği üzerine etkisi	14
Şekil 2.8. Çeşitli zeminlerin aynı sıkıştırma enerjisindeki kuru birim hacim ağırlık-su içeriği eğrileri	14
Şekil 2.9. UU deneyde a) gerilmeler b) gerilme izleri c) mohr daireleri	17
Şekil 2.10. Üç eksenli basınç deneyinde gerilmelerin mohr dairesi üzerinde tanımlanması	18
Şekil 2.11. Üç eksenli basınç deneyinde gerilmelerin Mohr yenilme zarfının elde edilmesi	18
Şekil 3.1. Numunenin alındığı yerin yer bulduru haritası.....	19
Şekil 3.2. Ankara ili ve çevresi 1:100 000 ölçekli genel jeoloji haritası	20
Şekil 3.3. Düzeltme gerektirmeyen CBR eğrileri	31
Şekil 3.4. Düzeltilmiş CBR eğrisi.....	32
Şekil 4.1. USCS'ye göre zemin sınıflandırması	36
Şekil 4.2. AASHTO'ya göre zemin sınıflandırması	36
Şekil 4.3. Standart Proctor deney sonuçları	37
Şekil 4.4. Modifiye Proctor deney Sonucu	38
Şekil 4.5. Modifiye ve standart Proctor deneylerine ait γ_k-w değişimi.....	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. SP1 Numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri	40
Şekil 4.7. SP2 Numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri	41
Şekil 4.8. SP3 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri	41
Şekil 4.9. Standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel dağılımı	42
Şekil 4.10. Standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişiminin grafiksel dağılımı	42
Şekil 4.11. MP1 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri	43
Şekil 4.12. MP2 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri	43
Şekil 4.13. MP3 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri	44
Şekil 4.14. Modifiye Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel gösterimi	44
Şekil 4.15. Modifiye Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişiminin grafiksel dağılımı	45
Şekil 4.16. Kohezyon değeri ile standart Proctor sıklığındaki numunelerin CBR değerlerinin korelasyon grafiği	47
Şekil 4.17. Kohezyon değeri ile modifiye Proctor sıklığındaki numunelerin CBR değerlerinin korelasyon grafiği	47
Şekil 4.18. SP1-3 numaralı numunenin gerilme deformasyon grafiği.....	49
Şekil 4.19. MP1-3 numaralı numunenin gerilme deformasyon grafiği	49

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Likit limit deney örneği ve likit limit deney cihazı	21
Resim 3.2. Plastik limit deneyinin yapılışı ve plastik kıvamdaki zemin numunesi	21
Resim 3.3. Özgül ağırlık deneyinde kullanılan piknometreler ve deney numuneleri.....	21
Resim 3.4. Elek analizinde kullanılan elek seti	22
Resim 3.5. Hidrometre deneyi ve ASTM H151 tipi hidrometre	22
Resim 3.6. Otomatik kompaksiyon aleti ve hazırlanan zemin numunesi	23
Resim 3.7. CBR deney aleti ve CBR kalıpları.....	23
Resim 3.8. Deneylerde kullanılan üç eksenli basınç test cihazı	24
Resim 3.9. CBR kalıbından hidrolik numune çıkarıcı ile numune alma	24
Resim 3.10. Üç eksenli basınç deneylerinde kullanılan zemin numunelerinden örnekler	25
Resim 4.1. Standart Proctor sıkılığındaki üç eksenli basınç deney numuneleri	48
Resim 4.2. Modifiye Proctor sıkılığındaki üç eksenli basınç deney numuneleri.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

c	Kohezyon, kPa
CH	Yüksek plastisiteli kil
e	Boşluk oranı
G_s	Özgül ağırlık
S	Doygunluk, %
UU	Drenajsız konsolidasyonsuz
w	Su içeriği, %
w_{opt}	Optimum su içeriği, %
γ_{k(max)}	Maksimum kuru birim hacim ağırlık, t/m ³
γ	Birim Hacim Ağırlık, t/m ³
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık, t/m ³
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık, t/m ³
γ_s	Tane birim hacim ağırlığı, t/m ³
φ⁰	İçsel sürtünme açısı, derece
σ'	Efektif gerilme, kPa
τ	Kayma gerilmesi, kPa

Kısaltmalar

Açıklamalar

C_u	Drenajsız kaymadayanımı
C_D	Konsolidasyonlu drenajlı
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi

1. GİRİŞ

Karayolu üst yapısında trafik yüklerinden dolayı zeminde herhangi bir deformasyonun oluşmaması gerekir. Zeminlerin mukavemeti yol üst yapısının performansını da belirlediği için belli bir değerden daha az olmamalı ve su içeriğine bağlı olarak aşırı değişim göstermemelidir. Ayrıca taban zeminini tüm yüklere karşı yeterince dayanıklı olmalıdır. Bundan dolayıdır ki bu zeminlerin mukavemetinin bir şekilde ölçülmesi gereklidir. Bu mukavemetin ölçülmesinde en yaygın metotlardan biri CBR dır. Esasen CBR zeminin kayma dayanımına bağlı direncini gösteren bir ölçüm metodudur. CBR değeri 0-3 arasında olan zeminler çok zayıf zeminler olduğundan mutlaka iyileştirme yapılmalıdır. CBR değeri 3-7 arasında olan zeminler az zayıf-orta zeminler olup ilave tedbirler alınıp alınmaması zeminin diğer özelliklerine bağlıdır. CBR değeri 10'dan büyük zeminler ise sağlam zeminler olarak kabul edilirler.

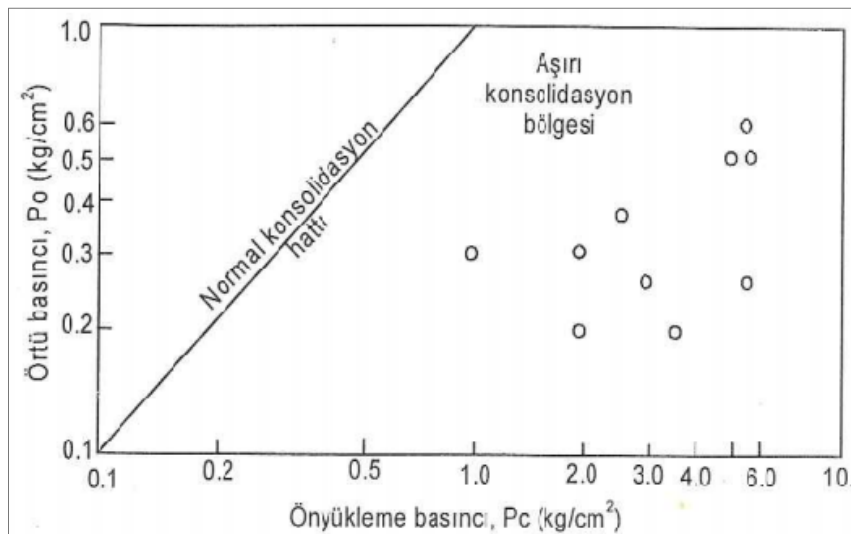
Bu çalışma kapsamında Ankara ili Çukurambar semtinden alınan yüksek plastisiteli killere kompaksiyon ve drenajsız konsolidasyonsuz (UU) üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Zeminin doymuş şartlara yaklaştıkça CBR değerlerindeki değişimleri ve bu değişimlerden zemin kayma dayanım parametrelerinin nasıl etkilendiğini görmek amacı ile zeminler, optimum su içeriğinde ve optimum su içeriğinin üzerindeki su içeriklerinde doymuşluk yüzdeleri %90 ile %99 arasındaki değerlere getirilerek standart ve modifiye Proctor enerji oranlarında sıkıştırılmıştır. Hazırlanan 24 adet numuneye CBR ve bu numunelerden alınan 70 kadar örneğe üç eksenli basınç deneyi yapılmış bu iki deneyin sonuçları arasında korelasyon kurulmaya çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar daha önce yapılmış benzer deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. Önceki Yapılmış Çalışmalar

Kasapoğlu, Ankara kilinin çeşitli indeks özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yaptığı çalışmalarda tane özgül ağırlığı değerinin 2,47-2,76 arasında değiştiğini, Ortalama tane boyu dağılımını ise %30 kil, %30 silt, %25 kum ve %15 çakıl boyutunda malzeme olduğunu tespit etmiştir. Yerleşim bölgesindeki zeminlerin özgül ağırlığının 2,58 civarlarında olduğunu, toprak zeminlerin %33 gibi büyük bir bölümünün, Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması'nda, MH grubuna; %15'i CH; %15'i SM grubuna, geri kalan bölümü ise diğer gruplara ait zeminlerden oluştuğunu belirlemiştir. Atterberg sınırları ve indeks değerlerinin ortalamasının ise $LL=(\%)56$, $PL=(\%)32$, $PI=(\%)24$ ve konsolidasyon sıkışma parametresini $C_c=0,4200$ olduğunu belirtmiştir [1].

Kiper, akarsu ve göl çökellerinin ince taneli düzeylerinden aldığı 10 adet örselenmemiş numuneye laboratuvarında konsolidasyon deneyleri yapmış her örnek için ön yükleme basıncı (P_c) değerlerini belirlemiştir. Örneklerin belirlenen önyüklem basıncı (P_c) değerleri, 1,0-5,5 kg/cm^2 arasında değişmekte olup, ortalama değer, 3,6 kg/cm^2 dir. Kiper bu sonuçlarla Ankara içerisindeki zeminlerin aşırı konsolide olduğunu tespit etmiştir [1]. Şekil 2.1'de deney numunelerinin P_c - P_o diyagramı üzerinde dağılımları görülmektedir.



Şekil 2.1. Üst Pliyosen çökellerinden alınan 10 adet örselenmemiş örneğin P_c - P_o diyagramı üzerinde dağılımı [1]

Kasapoğlu, Beytepe ve yakın çevresinden alınan örnekler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, akarsu ve göl çökellerinin kayma dayanımı parametreleri, ortalama olarak $c=0,32 \text{ kg/cm}^2$ ve $\phi=21^\circ$ olarak alınabileceğini belirtmiştir [1].

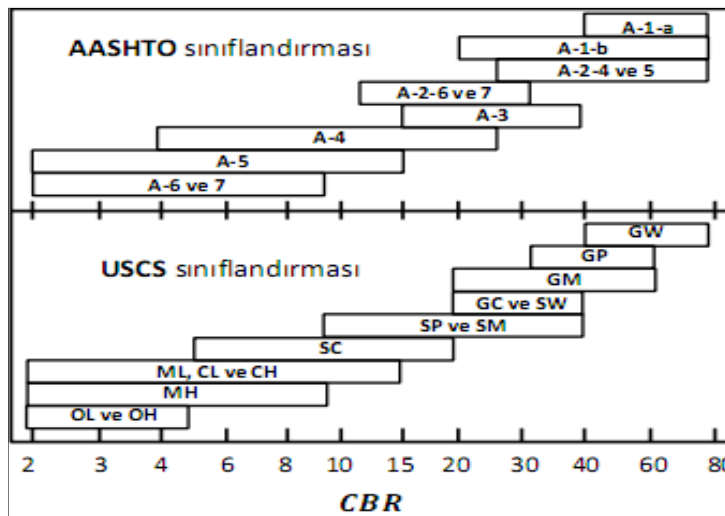
Look, CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki ilişkinin yaklaşık değerlerini Çizelge.2.1’de görüldüğü gibi örselenmiş (bozulmuş) numune ile örselenmemiş (yerinde) zemin numunelerinin CBR değerleri arasındaki farkları ortaya koymuştur [2].

Çizelge 2.1. CBR değeri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki yaklaşık korelasyon [2]

Zeminin Kıvamı	Drenajsız Kayma Dayanımı C_u (kPa)	Yaklaşık CBR %	
		Yerinden Alınmış (Örselenmemiş)	Kalıp Numune (Örselenmiş)
Çok yumuşak	$C_u < 12$	≤ 1	≤ 1
Yumuşak	$12 \leq C_u < 25$		1-2
Sıkı	$25 \leq C_u < 50$	1-2	2-4
Katı	$50 \leq C_u < 100$	2-4	4-10
Çok katı	$100 \leq C_u < 200$	4-10	10-20
Sert	$C_u \geq 200$	> 10	> 20

Carter ve Bentley kohezyonlu zeminlerde drenajsız kayma dayanımı C_u ile CBR değerleri arasındaki korelasyonu Eş. 2.1’le göstermiş, değişik zemin türleri için önerilen CBR değişim aralığını Şekil 2.2’de vermiştir [3].

$$CBR = 0,09 \times C_u \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. Değişik zemin türleri için önerilen yaklaşık CBR değerleri [3]

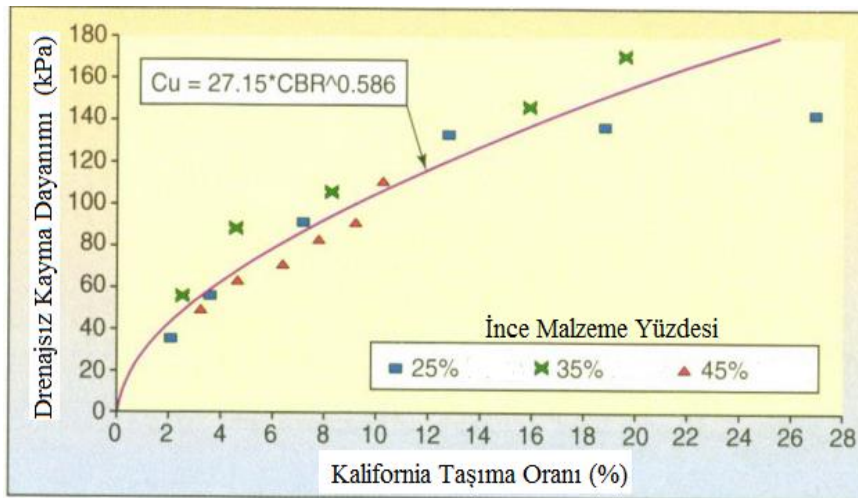
Süt, yaptığı yüksek lisans tezinde yüksek plastisiteli Ankara kiline %2, %4, %6 ve %8 oranlarında sönmüş kireç karıştırmış bu numuneler üzerinde elek analizi, hidrometre analizi, atterberg limitleri, özgül ağırlık, organik içerik, pH, kompaksiyon, serbest basınç, üç eksenli basınç (UU) ve CBR deneyleri yapmıştır. Çalışmada özellikle artan kireç içeriğine bağlı olarak değişen CBR ve serbest basınç deneylerinin sonuçları beraber değerlendirilerek zeminin iyileşmesini sağlayan optimum kireç miktarını belirlenmeye çalışılmıştır. Yaptığı çalışmalarda kullandığı zeminin optimum su içeriğini (w) %28 bulmuş standart Proctor sıkılığında CBR değerinin ortalama % 4,5 iken drenajsız kayma dayanımı $c=81$ kPa içsel sürtünme açısı $\phi=23,67$, %2 kireç katkılı numunenin CBR'ı ortalama % 23,3 drenajsız kayma dayanımı $c=208$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi=23,84$, %6 kireç katkılı numunenin CBR'ı ortalama % 95,5 drenajsız kayma dayanımı $c=187$ kPa içsel sürtünme açısı $\phi=35,06$ bulmuştur [4].

Jenkins örselenmiş-yoğurulmuş zeminler için Eş. 2.2'yi, örselenmiş aşırı konsolide killer için ise Eş. 2.3'ü önermiştir [5].

$$CBR=0,0435 \times C_u \quad (2.2)$$

$$CBR=0,087 \times C_u \quad (2.3)$$

Aynı çalışmada Jenkins CBR ile C_u arasında doğrusal olmayan bir eşitlikte (Şekil 2.3) önermiştir [5].



Şekil 2.3. CBR ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki ilişki [5]

Çokça, farklı su içeriklerinde sıkıştırılmış Ankara kilinin emme basıncı ve kayma dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmak için optimum su içeriğinde, optimum su içeriğini yaş tarafında (optimum yaşı) ve optimum su içeriğini kuru tarafında (optimum kurusunda) hazırladığı numunelere doğrudan kesme kutusu deneyleri yapmış. Deneyler sonucunda $\sigma=75$ kPa, $\sigma=150$ kPa ve $\sigma=225$ kPa normal gerilmelere karşılık gelen kayma dayanımlarını sırası ile $\tau= 135$ kPa, 190 kPa ve 230 kPa bulmuştur [6].

2.2. CBR (Kalifornia Taşıma Oranı)

Kalifornia taşıma oranı (California Bearing Ratio CBR) deneyi, A.B.D.'nin California eyaletinde karayolları araştırma dairesi tarafından, zeminlerin karayollarının alt yapılarında kullanılabilir olup olmadığını belirlemek amacı ile 1929 da geliştirilmiştir [7].

CBR deneyi, kilden ince çakıla kadar hemen hemen her tür zeminlere uygulanabilen bir penetrasyon deneyidir [8].

Zemin yapısı, su içeriği ve kuru birim ağırlığı CBR değerini etkileyen en önemli faktörlerdir [8].

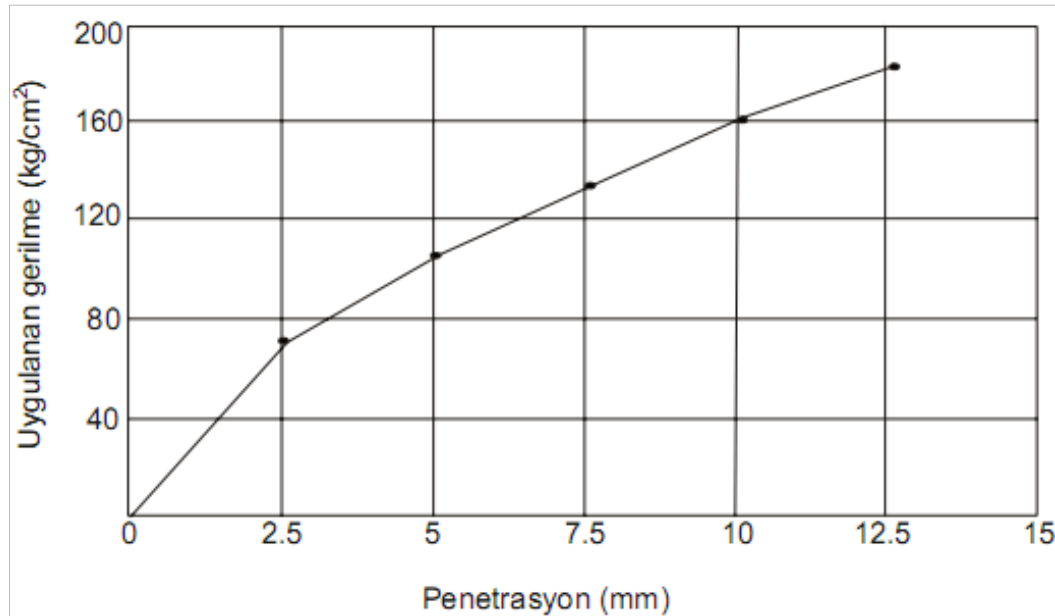
CBR deneyi, yaş CBR ve kuru CBR olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Malzemenin kuru CBR değeri su içeriğinin artması ile azalır. Aynı malzemenin yaş CBR-Su içeriği ilişkisini veren eğri, sıkıştırma enerjisine benzer. Optimum su içeriğinde maksimum CBR değerini verir. Düşük su içeriklerinde sıkıştırılan numuneler suda bekletme esnasında oldukça fazla şişme gösterip düşük mukavemet verirler. Numunelerin sıkıştırıldığı andaki su içeriği arttıkça suda bekletme sırasındaki şişme azalıp mukavemet artar. Bu artış, optimum su içeriğine kadar devam eder. Bu noktadan sonra malzemenin şişmesi hemen hemen sabitleşir. Optimum su içeriğinin altında bir su içeriğinde sıkıştırılmış malzemenin mukavemeti artar, ancak su karşısında fazla şişme gösterecek bir yapı oluşmuş olur. Bu şişme, bozucu ve ayrıştırıcı bir etki oluşturarak bir araya gelmiş olanın ayrışmasına ve mukavemetin düşmesine neden olur. Optimum üzerinde sıkıştırılmış malzemenin ortaya çıkardığı yapı, suya karşı stabil fakat yük altında stabil değildir. Bu nedenle optimum su içeriği civarında yapılacak sıkıştırma ile hem suya hemde yüke karşı stabil bir yapı oluşturulmuş olur [8].

CBR, 49,63 mm (1,954 in) çapında olan bir pistonun özel olarak sıkıştırılarak hazırlanmış bir numuneye 2,54 mm ve 5,08 mm derinliğe kadar batması için gerekli basıncın, aynı pistonun düzgün bir gradasyonu olan kırmataşdan hazırlanmış bir numunede aynı batmayı sağlayan basınca oranı olarak tanımlanır [8]. Çizelge 2.2.'de kırma taşla yapılan deneyde penetrasyon miktarlarına göre standart gerilmeler, Şekil 2.4'de kırma taş ile yapılan deneyde elde edilen standart basınç- penetrasyon ilişkisi verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kırma taşla yapılan deneyde penetrasyon miktarına göre standart gerilmeler [7]

Penetrasyon Derinliği (mm)	Standart Gerilme (kg/cm ²)	Standart Yük (kgf)
2,54	70,4	1362,6
5,08	105,6	2043,9
7,62	133,7	2587,7
10,16	161,9	3133,5
12,70	183	3541,9



Şekil 2.4. Kırma taş ile yapılan deneyde elde edilen standart basınç-penetrasyon ilişkisi [7]

CBR deneyi, kontrol altında tutulabilen bir su içeriğinde ve yoğunluğundaki zeminin kayma direncini ölçmek için kullanılır. Deney sonunda bir taşıma gücü oranı (CBR) elde edilir. Bu sayı zemin için sabit bir sayı değil, zeminin su içeriği ve yoğunluğu ile değişen bir sayıdır [7].

CBR'ın belirlenmesinde arazi ve laboratuvar ortamında yapılan deney sonuçları kullanılır.

Aşağıdaki basit eşitlikten CBR değeri belirlenebilir;

$$CBR = \frac{\text{DÜZELTİLMİŞ BASINÇ}}{\text{STANDART BASINÇ}} \times 100 \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3'e bakıldığında CBR sayısının standart gerilmenin bir yüzdesi olduğu görülmektedir.

CBR sayısı elde edilirken alınan basınç-penetrasyon okumalarından 2,54 mm' ye karşılık gelen düzeltilmiş basınç değeri 70,31 kg/cm²'ye, 5,08 mm'ye karşılık gelen düzeltilmiş basınç değerleri 105,46 kg/cm² ' ye oranlanıp 100 ile çarpılarak CBR değeri bulunur. Bulunan değerlerden genellikle 2,54 mm'ye karşılık gelen değer CBR sayısı olarak alınır. Eğer 2,54 mm derinlikte elde edilen oran 5,08 mm'ye karşılık gelen orandan büyük ise deney tekrarlanmalıdır. Yapılan tekrarda aynı sonuç elde edilirse 5,08 mm'ye karşılık gelen değer CBR değeri olarak alınır.

CBR deneyinde kullanılacak zemin numuneleri genellikle optimum su içeriğinde hazırlanır. Zemine ait optimum su içeriği standart Proctor yada modifiye Proctor deneyi ile belirlenir sonra numuneler ASTM D 698-66T (veya D1557-66T) deki B veya D yöntemi kullanılarak yapılır (Çizelge 2.3.).

Çizelge 2.3. ASTM'ye göre zemin türüne göre kullanılacak kompaksiyon enerjileri [11]

Deney Yöntemi	Metot	Darbe Sayısı (N)	Tabaka Sayısı	Tokmak Kütlesi (kg)
ASTM-D698 (B) (ince taneli zemin)	Standart Proctor	56	3	2,5
ASTM-D698 (D) (iri taneli zemin)		56	3	2,5
ASTM-D1557 (B) (ince taneli zemin)	Modifiye Proctor	56	5	4,5
ASTM-D1557 (D) (iri taneli zemin)		56	5	4,5

İçinde incesi bulunan kum-çakıl karışımı granüler malzemelerde optimum su içeriğindeki sapmalar, CBR değerini etkiler. Su içeriğinin artmasıyla CBR değerinde ani düşmeler olur. Bunun nedeni, granüler malzemenin içindeki ince malzemenin düşük su içeriklerinde bağlayıcı, yüksek su içeriklerinde ise ayrıştırıcı özellik göstermesindendir. Genel olarak malzemenin maksimum kuru birim ağırlığı arttıkça CBR değeride artmaktadır [8].

Killi zeminlerde CBR, yoğunluk ve su içeriğinin bir fonksiyonudur. Malzemenin kuru CBR değeri su içeriğinin artmasıyla azalır. Aynı malzemenin yaş CBR-Su içeriği ilişkisini veren eğri, sıkıştırma eğrisine benzer. Optimum su içeriğinde maksimum CBR değerini verir. Düşük su içeriklerinde sıkıştırılmış numuneler suda bekletme esnasında oldukça fazla şişme gösterip düşük mukavemet verirler [8].

CBR değeri, zeminlerin yol ve havaalanı kaplamaları altında gösterecekleri performans bakımından sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Çizelge 2.4’de zeminlerin yaklaşık CBR değerleri Çizelge 2.5’de ise zeminlerin CBR sayısına göre sınıflandırma örneği görülmektedir.

Çizelge 2.4. Zeminlerin yaklaşık CBR değerleri [16]

Genel zemin tipi	USCS Zemin Tipi	CBR Taşıma Oranı, (%)
İri Taneli Zeminler	GW	40-80
	GP	30-60
	GM	20-60
	GC	20-40
	SW	20-40
	SP	10-40
	SM	10-40
İnce Taneli Zeminler	SC	5-20
	ML	15 veya daha az
	CL	15 veya daha az
	OL	5 veya daha az
	MH	10 veya daha az
	CH	15 veya daha az
	OH	5 veya daha az

Çizelge 2.5. CBR sayısına göre zeminlerin sınıflandırılması ve kullanımı [12]

CBR Değeri	Zemin Tanımı	Kullanımı	Sınıflandırma	
			USCS	AASHTO
0-3	Çok kötü	Alt yapı	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Kötü-orta	Alt yapı	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Orta	Alt temel	OL, CL, ML, SC, SM,	A4, A5, A6, A7
20-50	İyi	Temel-Alt temel	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
50 <	Çok iyi	Temel	GW, GM	A1a, A2-4, A3

2.2.1. Yaş CBR metodu

Yaş CBR deneyindeki amaç boşlukların tamamen su ile dolu olduğu en düşük taşıma gücünü saptayabilmektir. Uygun şartlarda hazırlanmış CBR numularının üzerlerine ayarlanabilir çubuklu şişme plakası (komparatör saati) takılır. Arazide zeminin üzerine gelecek gerçek yükleri temsilen numunenin üzerine ağırlık plakaları yerleştirilir.

Kohezyonlu malzemeler şişmeye duyarlı olduklarından üzerlerine konan ağırlıklar fazlaca önemlidir bu ağırlık hiçbir zaman 4,5 kg'ın altında olamaz. Numunenin üzerine minimum 2,5 cm su gelecek şekilde altından ve üstünden su alması sağlanarak 4 gün boyunca suda bekletilir. Bekleme esnasında her 24 saatte bir kabarma okuması alınır ve en son okumadan sonra malzemenin şişmesi, numunenin ilk yüksekliğinin yüzdesi olarak hesap edilmelidir (Eş 2.4).

$$\text{Şişme yüzdesi} = \frac{\text{Suda bekletme sonundaki kabarma miktarı (mm)}}{116,4 \text{ mm}} \times 100 \quad (2.4)$$

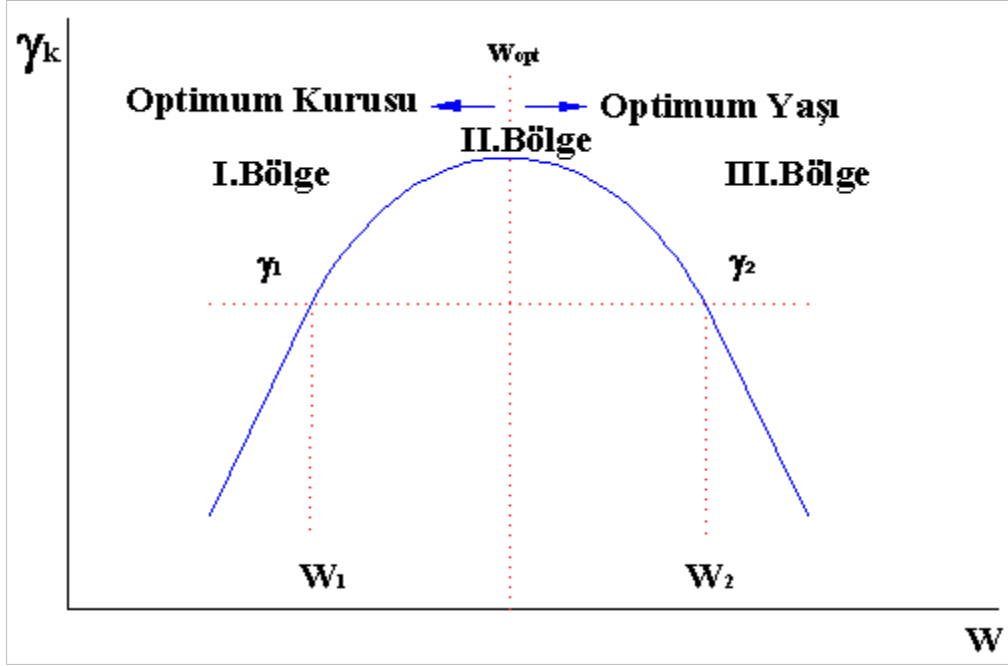
CBR deneyi esnasında malzemenin üzerine gelecek üst yapı kalınlığını temsilen yerleştirilen ağırlık plakalarını kohezyonlu ve kohezyonsuz malzemelerdeki etkisi farklıdır. Granüler kohezyonsuz malzemeler suda bekletme sırasında fazla şişme göstermedikleri için deneyin bu kısmında üzerine koyulan ağırlıkların fazla önemi yoktur. Kohezyonlu malzemeler ise şişme gösterdiklerinden, suda bekletme esnasında malzeme üzerine koyulan ağırlıkların önemi büyüktür. Penetrasyon sırasında ise granüler malzemelerde üzerine koyulan ağırlıkların önemi fazlayken, killi malzemelerde bu esnada koyulan ağırlıkların fazla önemi yoktur [8].

2.3. Kompaksiyon

Zeminlere sıkıştırma enerjisi tatbik edilerek zemin içindeki hava boşluklarını azaltmak, zeminin katı tanelerini birbiri içerisinde daha sıkı olacak şekilde yeniden yerleşmelerini sağlamak ve zeminin hacmini azaltmak yani yoğunluğunu arttırmak için yapılan işleme zemin kompaksiyonu denir [9].

Kompaksiyon ile yol (havaalanı, demiryolu) yapımında kullanılan yarmada kaplama altındaki taban zemininin, dolgu tabanındaki tabii zeminin ve dolgu malzemesinin, yoğunluğunun artışı sağlanabildiğinden dolayı, kaplama altındaki zeminin taşıma gücünün artması ile oturmaların azalması, geçirimsizliğin artması, zemin mukavemetinin artması, hacim değiştirme (don kabarması, şişme/büzülme) direncinin ve şev stabilitesinin duraylılığı gibi özellikler kontrol edilebilir ve bunlara katkı sağlanabilir [9].

Sıkıştırılmış bir zeminde, kompaksiyon derecesi o zemine ait kuru birim hacim ağırlığıdır. Kuru birim hacim ağırlığının değeri ne kadar yüksekse zemin o kadar iyi sıkıştırılmış demektir. Sıkıştırılmış bir zeminde, su içeriği ile kuru birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki Şekil 2.5’de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.5. Sıkıştırılmış bir zeminde optimum su içeriği-kuru birim hacim ağırlık (γ_k - w) ilişkisi

Bir zemin, sabit (belli) bir kompaksiyon enerjisi ile değişik su içeriklerinde sıkıştırıldığında; Şekil 2.5’de görüldüğü gibi, artan su içeriğine bağlı olarak kuru birim hacim ağırlığı artmakta, maksimum bir değere ulaşmakta ve daha sonra da azalmaktadır.

Bu ilişkiye göre 1.Bölgede, zeminde yeterli su bulunmadığı için, tanelerin daha az boşluklu yerleşmek üzere hareket etmeleri, taneler arası sürtünme kuvvetinden dolayı zordur. Su taneler arasında bir tür yağlama etkisi yapmaktadır. 3.Bölgede, zeminde fazla su bulunduğundan ve suyunda pratikte sıkışamaz olduğundan dolayı, yine zeminin boşluk hacmi fazla sıkıştırılamamaktadır. 2.Bölgede ise sıkışma en yüksek düzeyde oluşmakta ve kuru birim hacim ağırlık maksimum değere ulaşmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığın maksimum olduğu bu durumdaki su içeriğine optimum su içeriği denir.

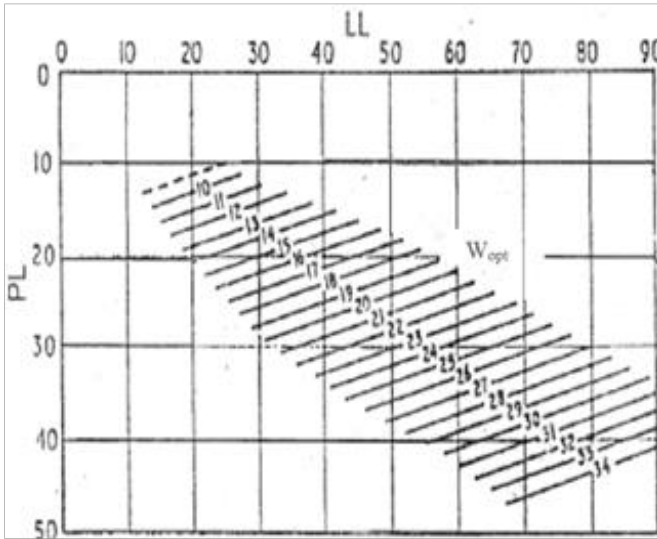
En iyi sıkıştırma işlemi optimum su içeriğinde elde edildiği için, arazideki sıkıştırma; sıkıştırılacak zeminin optimum su içeriğine sahip olması sağlanarak yapılmalıdır. Bir

zeminin optimum su içeriği, laboratuvarda yapılan kompaksiyon deneyleri ile belirlenebilir [10].

2.3.1. Kohezyonlu zeminlerin kompaksiyonu

Yol dolguları ve baraj çekirdekleri büyük ölçüde killerden oluşturulduğu için, kohezyonlu zeminlerin kompaksiyonu büyük önem taşır. Kohezyonlu zeminlerin kompaksiyonu sıkıştırma yöntemi, sıkıştırma enerjisi ve su içeriğine bağlıdır [11].

Johnson ve Sallberg, ince taneli zeminlerde yaklaşık optimum su içeriğini (w_{opt}) likit limit ve plastik limit ile ilişkilendirmiştir (Şekil 2.6.). Bu eğrilerden yararlanılarak kompaksiyon deneyi yapılmadan önce optimum su içeriği için bir fikir sahibi olunabilir. Örneklendirse, $LL=38$ ve $PL=20$ olan zeminin optimum su içeriğinin %17 dolayından olacağı tahmin edilir. Kohezyonlu zeminlerde deneye plastik limitin %12-%16 altında bir su içeriği ile başlaması ve %2-%3 dolayında su artışları uygundur [11].



Şekil 2.6. Optimum su içeriğinin yaklaşık tespiti

2.3.2. Kompaksiyona etki eden faktörler

Su içeriği

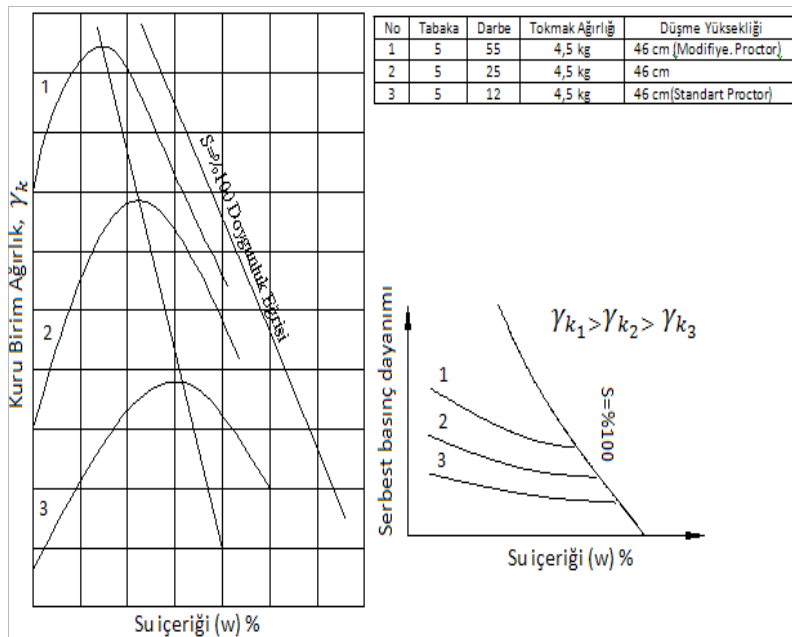
Zeminin yapısına ve cinsine bağlı olarak zemindeki su miktarının değişmesi ile belli bir sıkışma enerjisinde zeminin kuru birim hacim ağırlığı artmakta veya eksilmektedir [8].

Kohezyonlu zeminlerde su yüzdesi az iken zemin katı ve ezilmesi güç bir haldedir. Bunun için sıkıştırma işlemi sonunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık az, hava boşluk oranı ise fazladır. Su yüzdesi arttıkça kohezyon azalmakta, daneler arasındaki kayganlık artmaktadır. Böylece zeminin sıkışması daha iyi olmaktadır. Su içeriği arttırılmaya devam edilirse, su ve hava bileşimi katı taneleri birbirinden uzaklaştırarak toplam boşluğu arttırır ve kuru birim hacim ağırlık azalır.

Sıkıştırma enerjisi

Zemin tipine bağlı olmaksızın sıkıştırma enerjisindeki artmasıyla zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı artar, optimum su içeriği azalır. Şekil 2.7’de sıkıştırma enerjisinin değişmesi ile killi zeminlerin su içeriği-kuru birim hacim ağırlık ilişkisinde değişiklik meydana geldiği görülmektedir [8].

Şekil 2.7’de aynı özellikte üç zemin numunesine farklı enerji oranlarında kompaksiyon deneyi uygulanmış elde edilen kuru birim hacim ağırlıkları ile serbest basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Zeminin kuru birim hacim ağırlığındaki artışlara bağlı olarak serbest basınç dayanımında da artış gösterdiği görülmüştür.

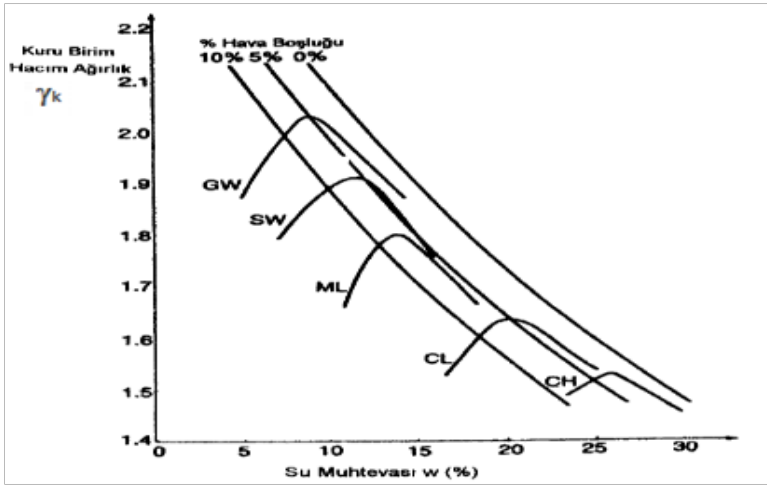


Şekil 2.7. Sıkıştırma enerjisinin γ_{kmax} ve optimum su içeriği üzerine etkisi

Zeminin cinsi

Zeminin cinsine ve yapısına bağılı olarak kuru birim hacim ağırlık-su içeriği ilişkileri değişik olmaktadır. Şekil 2.8’de çeşitli zeminlerin aynı sıkıştırma enerjisindeki kuru birim hacim ağırlık-su içeriği eğrileri görülmektedir [8].

Genellikle yatık eğriler uniforma yakın bir şekilde derecelenmiş zemini, dik tepe noktaları olan eğriler ise iyi derecelenmiş zemini, gösterirler.



Şekil 2.8. Çeşitli zeminlerin aynı sıkıştırma enerjisindeki kuru birim hacim ağırlık-su içeriği eğrileri [13]

2.3.3. Sıkıştırılmış zeminlerin özellikleri

Sıkıştırılmış zeminler türlerine ve sıkıştırılma yöntemlerine göre farklı özellikler gösterir bu özellikler geçirimsilik, şişme-büzülme, sıkışabilirlik, gerilme-deformasyon ilişkisi ve kayma direncidir [11].

Yapıya zarar verebilecek şişme büzülme özelliğinin zeminin içerdiği kil minerallerinin yanı sıra kompaksiyon miktar ve şekline bağlı olduğu belirlenmiştir [11].

Zemin geçirimsiliği ile boşluk oranı arasında yaklaşık bir bağıntı göz önüne alınırsa, kuru birim hacim ağırlığın artması ile porozitenin azalması dolayısı ile geçirimsiliğinde azalması beklenir [11].

Seed ve Chan, yaptıkları araştırmalarla su içeriğinin kilin yapısını ve gerilme deformasyon ilişkisini etkilediğini göstermiştir. Optimum kurusunda sıkıştırılan killer optimum yaşında sıkıştırılanlardan daha rijit ve daha serttir. Optimum kurusunda sıkıştırılan kilin kayma direnci sıkıştırma enerjisi, birim hacim ağırlık ve su içeriğine bağlı iken, optimum yaşında sıkıştırılan kilin kayma direnci sadece su içeriğine bağlıdır [11].

Çizelge.2.6’da aynı zemin için kuru ve yaş tarafta yapılan kompaksiyonların zemin üzerine olan etkisi görülmektedir.

Çizelge 2.6. Kompaksiyonda kuru taraf ve yaş taraf mukayesesi

Özellik	Mukayese
Permabilite	Kuru taraf daha geçirgen ($n_{kuru} > n_{yas}$)
Sıkışabilirlik	
Miktar	Kuru taraf yüksek, yaş taraf düşük gerilmeye da kolay sıkışır
Konsolidasyon Hızı	Kuru taraf daha çabuk konsolide olur
Mukavemet	
Kuru halde	Kuru taraf çok az fazla
Doygun halde	Şişme yoksa kuru taraf, varsa yaş taraf biraz daha fazla olabilir
Elastikiyet Modülü	Kuru taraf daha fazla

Yaş tarafta sıkıştırılan kohezyonlu zeminlerde daha düşük mukavemet değeri elde edildiği gibi daha düşük CBR değeri de elde edilmektedir. Özellikle kuru tarafta yüksek sıkışma enerjisinde daha büyük CBR değerleri elde edilmektedir.

2.4. Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminlerin kayma dayanımının tayini için yapılan deneylerden biri de üç eksenli basınç deneyidir. Üç eksenli basınç deneyinde numunenin doğada bulunduğu şartlar oluşturulmaya çalışılmaktadır. Böylece daha incelikli ve gerçeğe yakın değerler elde etmek mümkün olmaktadır. Bu deney, numuneye verilen çevresel bir basınç altında gittikçe artan bir düşey yük ile kırılma anını bulmak ve bu kırılma anına denk gelen asal gerilmelerden (σ_1, σ_3) Mohr dairelerini çizip, Coulomb’un kayma formülüne ait c ve ϕ değerlerini bulmak esasına dayanmaktadır [11].

Deneyde kullanılan örnek çap uzunluk oranı genellikle $1/2$ ile $1/3$ arasındadır. ($1/2 \leq D/L \leq 1/3$). Bu oran iki dolayında tutulduğunda düşey eksen boyunca eşit olmayan boy kısaltmalarının etkisi en aza indirilmektedir.

Üç eksenli basınç deney cihazı ile 1-deviatör gerilme ve çevre basıncı kontrol edilebilmekte 2-boşluk suyunun drenajı sağlanabilmekte ve boşluk suyu basıncı kontrol edilebilmektedir.

Deneyde uygulanan eksenel yük deviatör yük, gerilme de deviatör gerilme (σ_d) olarak bilinir ve büyük asal gerilme (σ_1) ile küçük asal gerilme (σ_3) farkı olarak ifade edilir. Deney sırasından düşey yük uygulanan silindirik yüzeyin ilk alanı (A_0) boy kısalması nedeniyle bir A değerine ulaşır ve deviatör gerilme yükün düzeltilmiş alana oranından elde edilir [11].

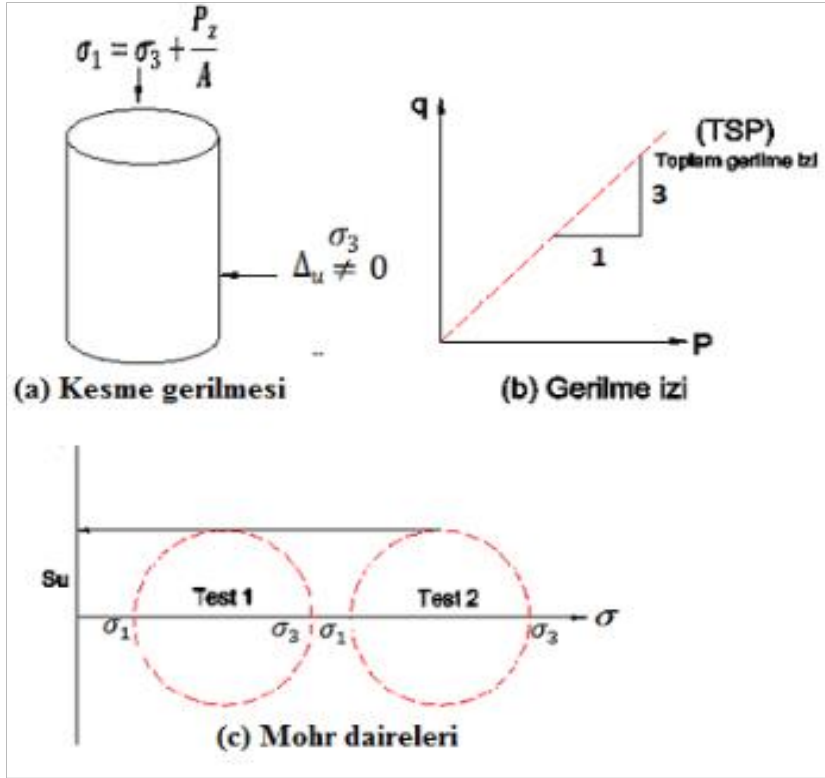
Eksenel yük uygulandığında silindirik zemin örneğinde yanal genleşme orta kısımda daha fazla, alt ve üst kısımlarda ise zemin ile disk arasındaki sürtünmeden dolayı daha azdır. Bu nedenle silindirik zemin örneği, yumuşak killere varil şekline dönüşmekte ve kayma yüzeyi her zaman belirmemektedir. Aşırı konsolide killerde ise varilleşme belirmemekte, buna karşın kayma düzlemleri oluşmaktadır.

Üç eksenli basınç deneyi UU–CU–CD olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır. Burada anlatılacak olan UU (drenajsız, konsolidasyonsuz) üç eksenli basınç deneyidir. Bu deney zeminlerin kayma dayanımını belirlemekte önemli bir rol oynamaktadır.

Konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) deney

Doygun zeminlerde çok uygun olan UU deney, numunenin konsolide olmasına izin verilmeden eksenel gerilmenin artırılması ile yapılar ve kayma anı olarak gerçekleştirilir. Bu nedenle hızlı deney olarak da bilinmektedir. Drenaja izin verilmediği için üç eksenli basınç test cihazının drenaj hattı kapalı tutulur böylece numunenin su içeriği ve hacmi sabit kalır. Boşluk suyu basınçları sistem dışına çıkamadığı için en yüksek düzeye çıkar.

Şekil 2.9.a’da UU deneyde zemin örneğin uygulanan gerilmeler, Şekil 2.9.b’de gerilme izi Şekil 2.9.c’de ise mohr daireleri görülmektedir. Gerilme izi yalnız toplam gerilmelere göredir [11].

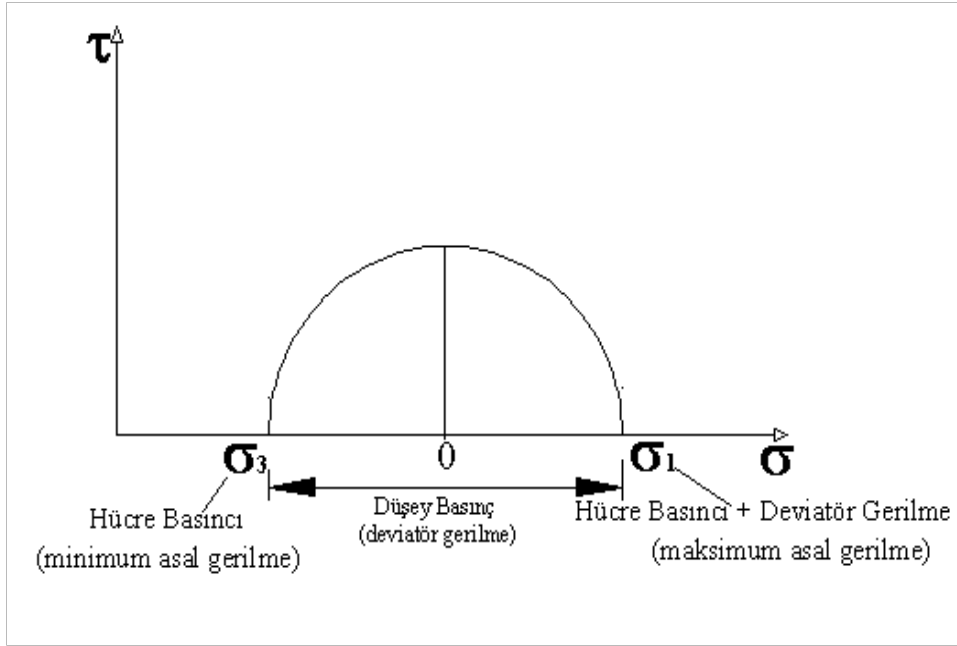


Şekil 2.9. UU deneyde a) gerilmeler b) gerilme izleri c) Mohr daireleri

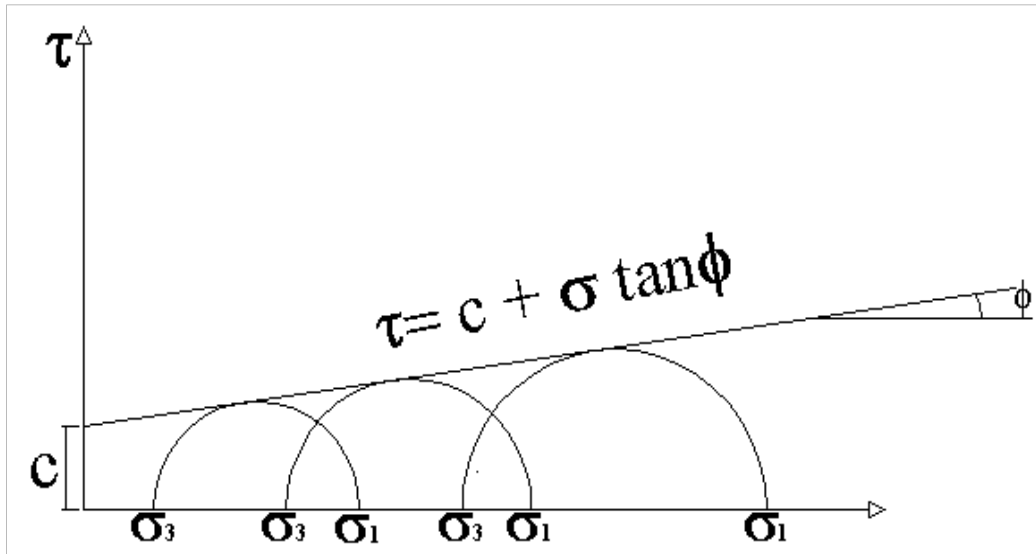
Aynı zemin örneği üzerinde farklı hücre basınçlarında yapılan UU deneylerde Mohr daireleri aynı boyutta olup yalnızca ötelenmiştir [11].

Yamaçların, temellerin dayanma yapılarının, kazıların ve diğer toprak işlerinin ilk analizlerinde çok yararlı olan UU deneyden drenajsız kayma direnci ve drenajsız elastisite modülü elde edilir [11].

Şekil 2.10'da üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri, Şekil 2.11'de Mohr yenilme zarflarının elde edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Üç eksenli basınç deneyinde gerilmelerin Mohr dairesi üzerinde tanımlanması



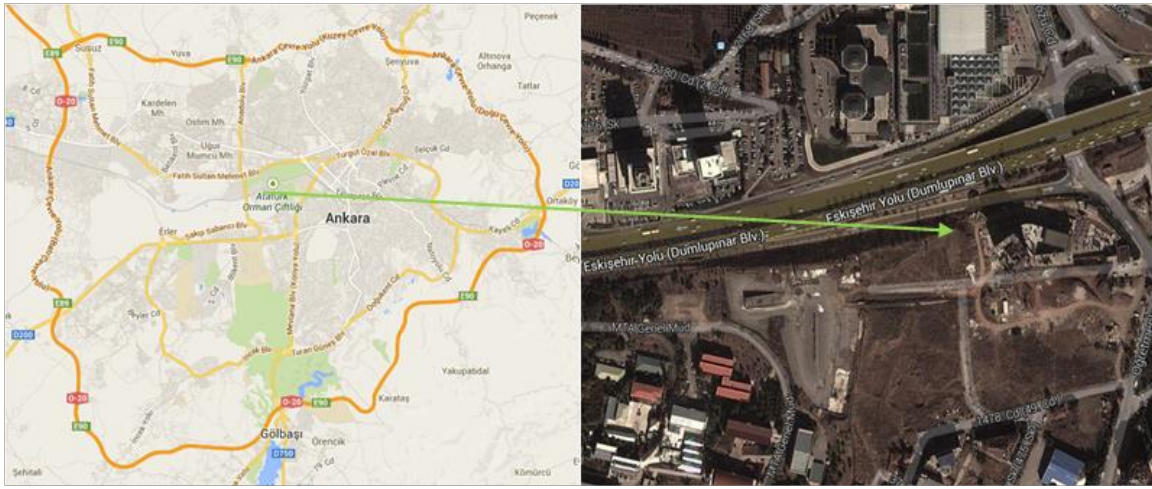
Şekil 2.11. Üç eksenli basınç deneyi verilerinden Mohr yenilme zarfının elde edilmesi

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. İnceleme alanının tanıtılması

Bu çalışmada Ankara ili Çukurambar bölgesinden alınan yüksek plastisiteli kil numunesi kullanılmıştır. Numunenin alındığı yerin yer bulduru haritası Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



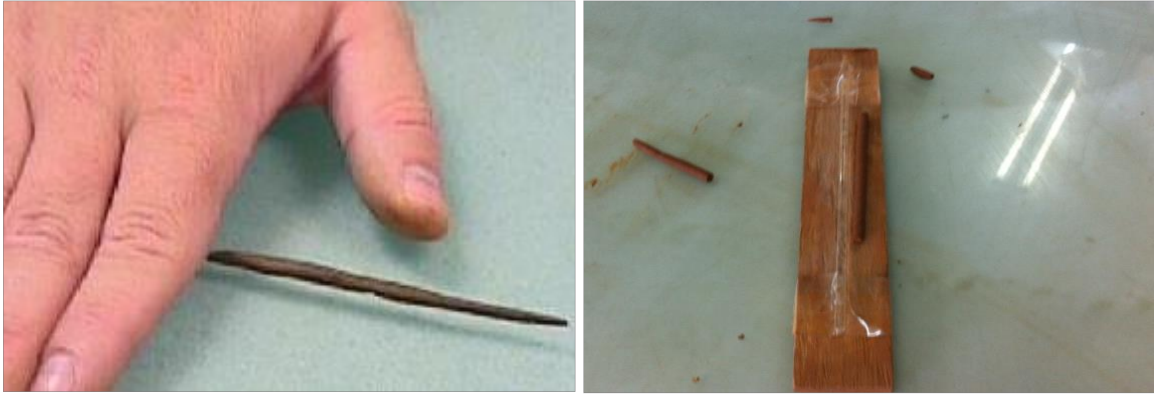
Şekil 3.1. Numunenin alındığı yerin yer bulduru haritası

Ankara kilinde en çok görülen kil mineralleri, simektit, illit, klorit ve kaolinit olup azda olsa diğer kil mineralleride görülmektedir. Ankara kili montmorillonitde içermesinden dolayı şişme potansiyeli yüksek bir kildir. Zemin sınıflaması olarak genelde yüksek plastisiteli (CH), inorganik kil (OH) ve yüksek plastisiteli (MH) grubundadır. Ayrıca normal aktif killer grubuna girmekte, indeks ve sınıflama değerleri alüvyal kile oranla daha yüksektir. Dane dağılımları ise değişik kil minerallerinden oluştuğu için heterojen görünümündedir. Ankara kilinde yer yer kalışı katmanları ve kalker konkresyonları da görülmektedir [14]. Ankara ilinin genel jeololi haritası Şekil 3.2’de verilmiştir.

Resim 3.4’de elek analizinde kullanılan elek seti ve elek analizi numunesi ve Resim 3.5’de hidrometre deney numunesi ve H151 tipi hidrometre görülmektedir.



Resim 3.1. Likit limit deney örneği ve likit limit deney cihazı



Resim 3.2. Plastik limit deneyinin yapılışı ve plastik kıvamdaki zemin numunesi



Resim 3.3. Özgül ağırlık deneyinde kullanılan piknometreler ve deney numuneleri



Resim 3.4. Elek analizinde kullanılan elek seti



Resim 3.5. Hidrometre deneyi ve ASTM H151 tipi hidrometre

3.1.3. Sıkışma ve kayma dayanımı deneylerinde kullanılan alet ve gereçler

Zemin numunesinin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulmak için standart Proctor deneyi ve modifiye Proctor deneyi yapılmıştır. Deneyler

yapılırken oluşabilecek hataları minimum düzeye indirmek ve zemine uygulanacak darbeleri homojen bir şekilde yaymak için otomatik kompaksiyon aleti tercih edilmiştir. Hazırlanan numunelere CBR deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan otomatik kompaksiyon aleti ve hazırlanan zemin numunesi Resim 3.6'da, CBR test cihazı ve CBR kalıpları ile ıslak CBR deneyinde kullanılan komparatör saatleri Resim 3.7'de gösterilmiştir.



Resim 3.6. Otomatik kompaksiyon aleti ve hazırlanan zemin numunesi



Resim 3.7. CBR deney aleti ve CBR kalıpları

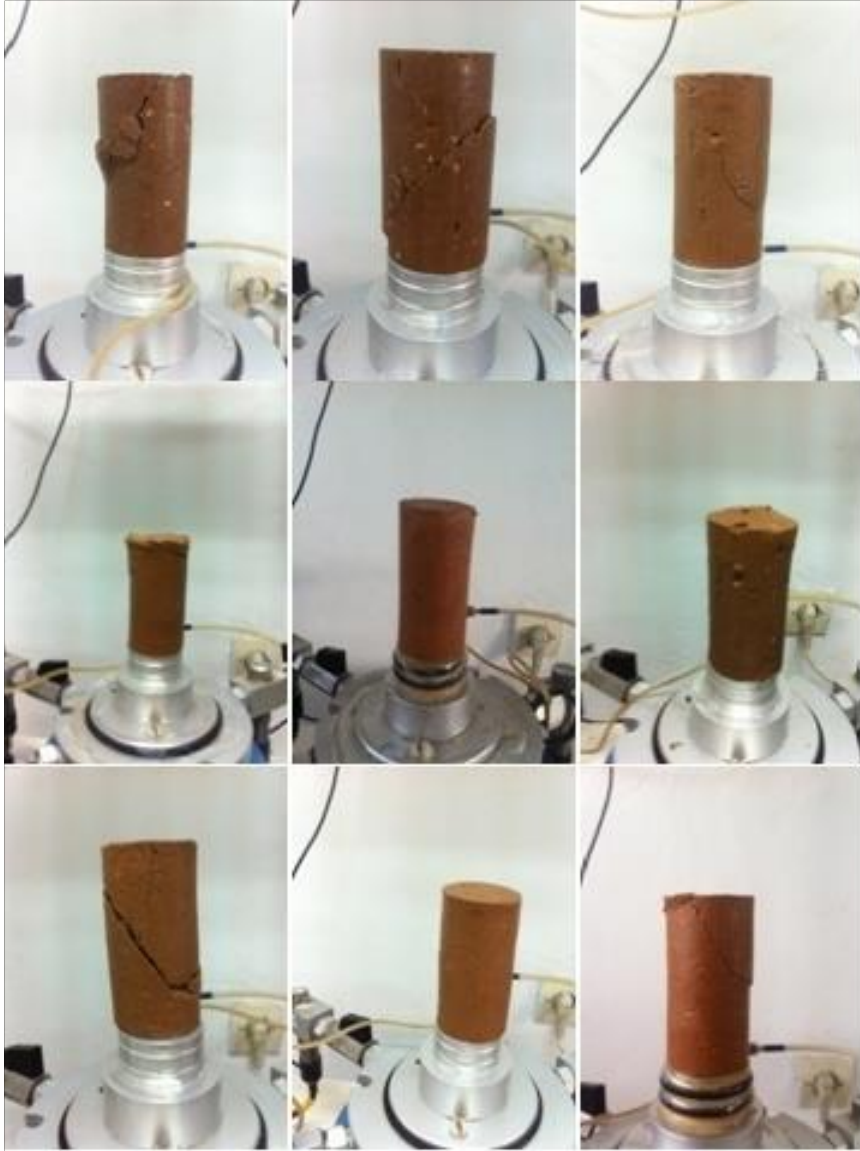
Zeminin kayma gerilmesi dayanım parametrelerini ölçmek için CBR deneyi yapılan numunelerden hidrolik numune alıcı ile numuneler alınmış, bu numuneler üzerinde ASTM D2850'ye uygun olarak (UU) üç eksenli basınç deneyi yapılmış deneyde kullanılan cihaz Resim 3.8'de, hidrolik numune alıcı ile numune alınması Resim 3.9'da ve deney numunelerinden bazıları Resim 3.10'da gösterilmiştir.



Resim 3.8. Deneylerde kullanılan üç eksenli test cihazı



Resim 3.9. CBR kalıbından hidrolik numune çıkarıcı ile numune alma



Resim 3.10. Üç eksenli basınç deneylerinde kullanılan zemin numunelerinden örnekler

3.2. Metot

Çalışmada, kuru ve ıslak CBR deneyi ile elde edilen sonuçlarla Üç eksenli basınç deneyi sonuçlarının arasındaki ilişkileri ortaya koyma planlanmıştır. Bu kapsamda CBR numunelerinin bir kısmı ıslak CBR olarak planlanmış fakat, 7 gün suda bekletilen numuneler suya doymun hale gelmediği için ıslak CBR deneyi yerine, zeminin su içeriği optimumun üzerine çıkartılarak doymun şartlara getirilmeye çalışılmış ve zeminin doymunluk derecesindeki artışların CBR ve üç eksenli basınç deney değerlerine etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu sebeple numuneler optimum su içeriğinin yanı sıra, ayrıca yaklaşık %10 ila %20 üzerinde su içeriği değerlerinde sıkıştırılmıştır.

Araştırmada kullanılacak killerin, indeks ve tanımlama deneyleri bilinen metotlarla yapılacaktır. Bunlar için, araziden getirilen zemin numunesi öncelikle Atterberg kıvam limitleri, tane dağılım analizi ve özgül ağırlık deneyi için ayrılarak etüvde 110 C⁰ de 16 saat kurutulmuştur. Kuruyan numuneden 40 numaralı elekten elenmiş 200 gr kadar malzeme likit limit ve plastik limit sınırlarını belirlemek için, No.200 (0,075 mm) elekten geçen yaklaşık 40 gr malzeme hidrometre deneyi için ve 2,00 mm den elenmiş 100 gr kadar malzemedede özgül ağırlık deneyi için ayrılmıştır.

Deneylerde kullanılacak numunenin optimum su içeriği ve doygunluk yüzdeleri bulmak için yapılan standart Proctor deneyi için 7 kg etüvde kurutulmuş zemin numunesi, tanelerinin zarar görmemesi için lastik tokmak ile 4,75 mm göz açıklığına sahip elekten geçebilecek hale gelene kadar ufaltılmıştır. Deneye belli bir su içeriği ile başlanmış ve su içeriği arttırılarak devam edilmiştir. Her bir deney setinden su içeriği için örnek alınmış, deney sonunda yapılan hesaplarla optimum su içeriğine karşılık gelen kuru birim hacim ağırlık grafiği çizilmiş ve doygunluk yüzdeleri (Sr %) Eşitlik 3.1 ve 3.2 ile hesaplanmıştır. Aynı şekilde alınan 8 kg kadar örnekle de modifiye Proctor deneyleri yapılmıştır.

$$(1-n) = \frac{\gamma_n}{G_s(w+1)} \quad (3.1)$$

$$S_r = \frac{w \cdot \gamma_n \cdot (1-n)}{n} \quad (3.2)$$

Burada;

Sr: Doygunluk yüzdesi

w: Su içeriği

γ_n : Doğal birim hacim ağırlık

n: Porozite

Gs: Özgül ağırlık

CBR deneyleri standart ve modifiye Proctor sıklığında 6 farklı su içeriğinde, her bir su içeriğinde 4 adet olmak üzere toplam 24 numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları verilirken numunelerin karıştırılmaması için optimum su içeriğinde Proctor sıklığındaki numunelere SP1 numaralı numune, optimum su içeriğinin % 10 arttırılması ile doygunluk yüzdelerinin Sr %94 civarına yaklaştırılan standart Proctor sıklığındaki numunelere SP2,

optimum su içeriğinin % 20 arttırılması ile doygunluk yüzdelerinin Sr %97 civarına yaklaştırılan standart Proctor sıklığındaki numuneler SP3, numaralı numune olarak adlandırılmıştır.

Yine aynı şekilde modifiye Proctor sıklığındaki optimum su içeriğindeki numuneler için MP1 kısaltması, optimum su içeriğinin %10 arttırılması ile doygunluk yüzdesinin Sr %96 civarına çıkartılan zeminler için MP2, optimum su içeriğinin %20 arttırılması ile doygunluk yüzdesinin Sr %99 civarına getirilen zeminler için MP3 kısaltması kullanılacaktır.

Ayrıca her bir numune kendi grubunun alt numarası ile adlandırılmıştır. Örneğin standart Proctor sıklığındaki %97 doygunluğa sahip numune SP3, aynı doygunluk %'sinde deney yapılan 4 numuneden birinci numune için ise SP3-1 kısaltması kullanılacaktır. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve su içeriği-doygunluk yüzdesi değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve su içeriği-doygunluk değerleri

Enerji Oranı	Su İçeriği (w)	Doygunluk (%) (ort)	Hazırlanan Numune Adedi	Numuneye verilecek Ad
Standart Proctor	%32	%90	4	SP1-1
				SP1-2
				SP1-3
				SP1-4
	%34	%94	4	SP2-1
				SP2-2
				SP2-3
				SP2-4
	%36	%97	4	SP3-1
				SP3-2
				SP3-3
				SP3-4
Modifiye Proctor	%21	%92	4	MP1-1
				MP1-2
				MP1-3
				MP1-4
	%24	%96	4	MP2-1
				MP2-2
				MP2-3
				MP2-4
	%27	%99	4	MP3-1
				MP3-2
				MP3-3
				MP3-4

Hazırlanan her bir CBR numunesinden deney sonunda 3 adet üç eksenli basınç deneyi numunesi alınmış, yaklaşık 70 numune üzerinde üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır.

Standart Proctor sıklığında optimum su içeriğinde ($w=30,5$), S_r %90 civarında, su içeriği yaklaşık %10 arttırıldığında ($w=34$), S_r ortalama %94 civarında, ve su içeriği yaklaşık %20 arttırıldığında ($w=36$), S_r ortalama %97 civarında olmaktadır.

Modifiye Proctor sıklığında optimum su içeriğinde ($w=20,5$), sıkıştırılmış zemin numunelerinde S_r ortalama %92 civarında, su içeriği yaklaşık %10 kadar arttırılan numunelerin ($w=24$), S_r %96 civarında, ve su içeriği yaklaşık ($w=20$) kadar arttırılan (%27) numunelerin S_r değerleri ortalama %99 civarına gelmiştir.

3.2.1. Standart ve modifiye Proctor deneylerinin yapılışı

Standart Proctor metodu

Zemin numunesinin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulmak için ASTM D698'e uygun olarak standart Proctor deneyleri yapılmıştır.

Deneyi yapılacak numune nemli ise kolayca ufalanabilecek duruma gelinceye kadar açık havada veya 110 °C'lik fırında kurutulur. Sonra zeminin esas yapısı bozulmadan zemin içindeki iri taneler lastik tokmak yardımı ile ezilir.

Alınan zemin cinsine göre uygun bir miktar su ile karıştırılır. Toprak-su karışımı, yaka kısmı takılmış 15,24 cm (6'') çapında, 11,24 mm yüksekliğinde, 2144 cm³ hacmindeki kalıpta, 30,5 cm yükseklikten 3 eşit tabakada serilmek şartı ile 2,49 kg ağırlığındaki tokmakla her tabakaya 56 darbe uygulanacak şekilde sıkıştırılır. Sıkıştırma esnasında kalıp, düzgün bir beton kütle üzerinde bulundurulmalıdır. Sıkıştırmadan sonra kalıbın ilave yakası çıkartılır ve dikkatli bir şekilde kalıbın üst kenarına kadar kesilerek düzeltilir. Kesilip atılan bu zeminin yüksekliği 6 mm'yi aşmamalıdır. Kalıp ve içindeki yaş numune tartılarak ağırlığı kaydedilir.

Sıkıştırılan numune kalıptan çıkartılır ve numunenin tümünü temsil edecek şekilde zemin numunesi alınır. Alınacak bu numune 500 gr'dan az olmamalıdır. Su içeriği numuneleri

110°C'lik fırında sabit ağırlığa gelinceye kadar (en az 12 saat) bekletilir. Kuru numune soğutulduktan sonra tekrar tartılarak deney formuna kaydedilir.

Sıkıştırma kalıbından çıkartılan numune, karıştırma kabı içine alınarak ufalanır ve uygulanan metoda uygun elekten geçirilir. Bu şekilde elde edilen numune uygun artımlarda su katılarak karıştırılır ve aynı işlemler yenilenir. Deney en az 5 tekrar yapılarak yenilenmeli ve kullanılan su içerikleri, maksimum kuru birim hacim ağırlığı veren optimum su içeriğini içine alan sınırlar arasında değişmelidir.

Modifiye Proctor metodu

Zemin numunesinin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulmak için ASTM D1557'ye uygun olarak modifiye Proctor deneyi yapılmıştır. Modifiye Proctor deneyi de prensip olarak standart Proctor deneyi gibi yapılır Her iki deney metodu arasında ki farklardan birisi 45,7 cm den düşen 4,535 kg ağırlığında tokmağın kullanılması, diğeri ise sıkıştırılan tabaka sayısının 5 ve her tabakaya vurulan darbe sayısının 56 olmasıdır.

Hesaplamalar

Sıkıştırılmış bir zeminde kompaksiyonun ölçüsü, o zemine ait kuru birim hacim ağırlığıdır. Kuru birim hacim ağırlığı ne kadar büyük ise o zemin o kadar iyi sıkıştırılmış demektir. Sıkıştırılmış bir zemin için yaş ve kuru birim hacim ağırlıklar yazılıp birbirine bölünürse kompaksiyonun temel bağıntısı aşağıdaki gibi elde edilir [10].

$$\gamma_n = \frac{\gamma_s(1+w)}{1+e} \quad (3.3)$$

$$\gamma_k = \frac{\gamma_s}{1+e} \quad (3.4)$$

$$\frac{\gamma_n}{\gamma_k} = 1+w \quad (3.5)$$

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+w} \quad (3.6)$$

Kuru birim hacim ağırlığın en yüksek olduğu durumdaki su içeriğine optimum su içeriği denir. En iyi sıkıştırma optimum su içeriğinde elde edildiği için, arazide yapılacak sıkıştırmada, sıkıştırılacak zemin optimum su içeriğine sahip olmalıdır. Deneylerden elde edilen kuru birim hacim ağırlıklar su içeriğine karşı grafiğe geçirilerek kompaksiyon eğrisi çizilir ve maksimum kuru birim hacim ağırlığa karşı gelen su içeriği optimum su içeriği olarak belirlenir [10].

3.2.2. CBR (Kalifornia Taşıma Oranı) deneyi

Kuru CBR metodu

CBR deneyleri ASTM D3668'e göre yapılmıştır. İstenilen enerji oranında sıkıştırılarak optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı bulunan malzemeden, optimum su içeriğinde en az iki tane 6'şar kg'lık numune hazırlanır. Sıkıştırma metoduna göre 15,24 cm (6'')lik CBR kalıbında sıkıştırılacak olan numune, şartnamesinde verilen sıkışmayı sağlayacak şekilde optimum su içeriği tolerans sınırları içindeki bir su içeriğinde sıkıştırılacaktır [8].

Sıkıştırma işlemi sırasında, ilave yakası takılmış olan kalıp, taban plakası üzerine bağlanır ve aralık diski yerleştirilir. Aralık diski üzerine, kalıp çapında kesilmiş olan filtre kağıdı konur ve numune istenilen metotta sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra ilave yaka çıkarılır ve kalıbın üst seviyesi hizasında çelik kesici ile numune yüzeyi düzlenir. Numune yüzeyinde iri malzemeden dolayı oluşan boşluklar, daha ince malzeme ile doldurulur. Delikli taban plakası ve aralık diski çıkarıldıktan sonra kalıp ve sıkıştırılmış numune tartılarak ağırlığı kaydedilir [8].

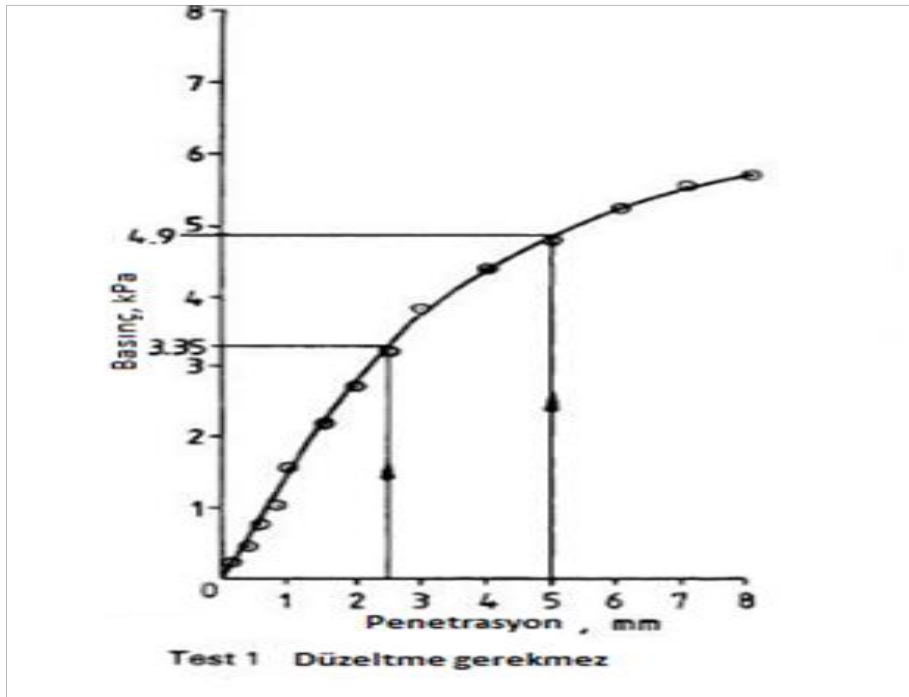
İçinde sıkıştırılmış numune olan kalıp ters çevrilerek, üstüne kalıp çapında kesilmiş olan kaba filtre kağıdı konan delikli taban plakası üzerine, numune ile filtre kağıdı temas edecek şekilde yerleştirilip bağlanır. Sıkıştırılmış numune üzerine taşıma oranı %30'un altında olan zeminler için 4,5 kg, taşıma oranı %30 dan fazla olan zeminler için ise en az 22,5 kg'lık ağırlıklar malzemenin kullanacağı yerde, üzerine gelecek yükü temsil edecek şekilde konur. Eğer sıkıştırılmış numune daha önceden suda bekletilmişse, üzerine konan ağırlıklar, bu bekleme süresi içinde üzerine konmuş ağırlıklara eşit olacaktır. Zeminin ilave ağırlıkların deliği içinde kabarmasına engel olmak için, penetrasyon pistonunu

yerleştirmeden önce ilk olarak halka şeklinde ağırlık, bunun üzerine de ortadan kenara doğru yarığı olan ağırlıklar konulmalıdır.

Yük-Penetrasyon göstergeleri sıfıra ayarlanarak deneye başlanır. CBR cihazının yükleme hızı 1,27mm/dakika (0,5in/dak) olmalıdır. 0,625 mm, 1,250 mm, 1,875 mm, 2,50 mm 3,50, gibi penetrasyon miktarlarına karşılık gelen yük okumaları deney kağıdına not edilir. Deney sonunda zemin örneğinin üstten 2,54'mm lik kısmının su içeriği ince taneli zeminlerde 100 gr dan az numune alınmamak şartı ile bulunur [8].

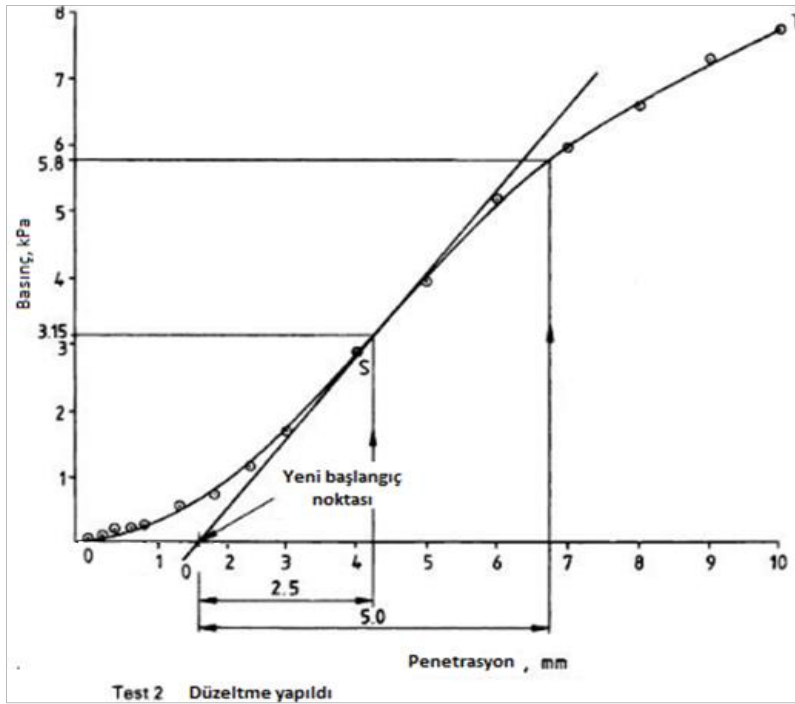
Hesaplamalar

Basınç değeri kPa, kg/cm² vb. olarak hesaplanır yatay eksene penetrasyon, mm, cm vb. düşey eksene basınç değeri yazılarak basınç-penetrasyon eğrisi elde edilir. Normalde elde edilen eğri konkav bir eğridir. Bazen bu eğri başlangıçta konkav daha sonra konveks olabilir [7]. Bazen deney yapılan numunenin yüzeyinin pürüzlülüğü veya gevşekliğinden dolayı eğri tam tersi bir durumda oluşabilir, bu durumda eğri üzerinde düzeltme yapılarak doğru sonuç elde edilebilir. şekil 3.3' de düzeltme gerektirmeyen CBR eğrisi verilmiştir.



şekil 3.3. Düzeltme gerektirmeyen CBR eğrisi

Düzeltilme yapılacak CBR grafiğinin başlangıç noktası, eğrinin en yüksek eğimli teğetinin yatay eksenine kesene kadar uzatılması ile bulunur. Eğer çizilen teğet yatay eksenini 1.25 mm (0.5 in) penetrasyon noktasının sağında keserse deney tekrarlanmalıdır. 1,25 mm penetrasyon noktasının solunda kaldığı zaman kestiği nokta başlangıç kabul edilerek, yeni penetrasyon noktaları 2,54 mm ve 5,08 mm ve bunlara karşı gelen yeni basınç değerleri okunur. Bazen penetrasyon pistonunun altına gelen bir taş parçası eğriyi tamamen konveks yapar bu durumda deney tekrarlanmalıdır. Şekil 3.4’de düzeltme yapılmış CBR eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.4.Düzeltilmiş CBR eğrisi

Taşıma oranı

Gerekli okumalardan sonra 2,54 ve 5,08 mm’lik okumalara karşılık gelen basınç değerleri yardımıyla, CBR oranları bulunur. 2,54 mm’lik penetrasyondaki basınç değeri, 70,31 kg/cm² ‘ye 5,08 mm’lik penetrasyondaki basınç değeri 105,46 kg/cm²’lik standart basınç değerine oranlanıp 100 ile çarpılarak CBR değerleri bulunur [8].

$$CBR = \frac{\text{DÜZELTİLMİŞ BASINÇ}}{\text{STANDART BASINÇ}} \times 100 \quad (3.7)$$

3.2.3. Üç eksenli basınç deneyi

Üç eksenli basınç deneyleri ASTM D2850 ye göre yapılmıştır. 3,6 cm kesitinde 7,2 cm boyundaki üç eksenli deney numuneleri su geçirmeyecek şekilde elastik membran geçirilerek üç eksenli basınç cihazının silindir hücresine yerleştirilmiş hücrenin içi su ile doldurulmuş ve cihaz içindeki piston numuneye temas edecek şekilde yerleştirilmiştir.

Deneyler 50, 100 ve 150 kPa hücre basınçlarında tekrarlanmıştır. Hücre basıncı ayarlanan numunenin kuvvet halkası ve düşey deformasyon saati sıfırlanıp deney başlatılmıştır.

Deneyde hücredeki basınç sabit kalırken, sabit bir hızla düşey yük uygulanır. Numunenin eksenel boy kısalması deformasyon saati yardımıyla, uygulanan düşey yük ise kuvvet halkası yardımıyla ölçülür. Ölçümler düşey yük halkasındaki okumaların sabitlenmesine veya düşüşe geçmesine kadar sürdürülür. Düşüş gözlenmez ise ASTM D2850'ye göre düşey deformasyonun %20'ye ulaşmasıyla deneye son verilebilir. Makinadaki basınç düşürülür ve hücredeki su boşaltılır. Numune çıkartılır ve deney sonu su içeriği hesaplanır.

Hesaplamalar

Deney sırasında numune ilk alanında(A_0) değişiklik olmayacağından düzeltilmiş alan

$$A = A_0 \frac{1 - \epsilon_v}{1 - \epsilon_z}$$

Bağıntısı ile ifade edilir

ϵ_v : birim hacimsel değişim ($\epsilon_v = \Delta V / \Delta 0$)

ϵ_z : eksensel birim boy değişimi ($\epsilon_z = \Delta z / L_0$)

Üç eksenli basınç deneyinde zemine uygulanan ortalama gerilmeler ve deformasyonlar

Eksensel toplam gerilme: $\sigma_1 = \frac{P_z}{A} + \sigma_3$

Deviatör gerilme: $\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P_z}{A}$

Eksenel deformasyon: $\epsilon_z = -\frac{\Delta z}{L_0}$

Radyal deformasyon: $\epsilon_r = \frac{\Delta r}{r_0}$

Hacimsel deformasyon: $\epsilon_v = \frac{\Delta V}{V_0} = \epsilon_z + 2\epsilon_r$

Deviatör deformasyon: $\epsilon_d = \frac{2}{3}(\epsilon_z - \epsilon_r)$

Bağlantıları ile tanımlanır. Burada;

ε_r =birim yanal genişleme yada daralma

P_z = piston yükü (deviatör yük)

Δ_z : örnek boyundaki değişme

L_0 : örneğin başlangıç boyu (yükseklik)

Δr : örnek çapındaki değişme

r_0 : örneğin başlangıç yarıçapı

ΔV : örnek boyundaki değişme

V_0 : örneğin başlangıç hacmi

4. DENEYSEL BULGULAR

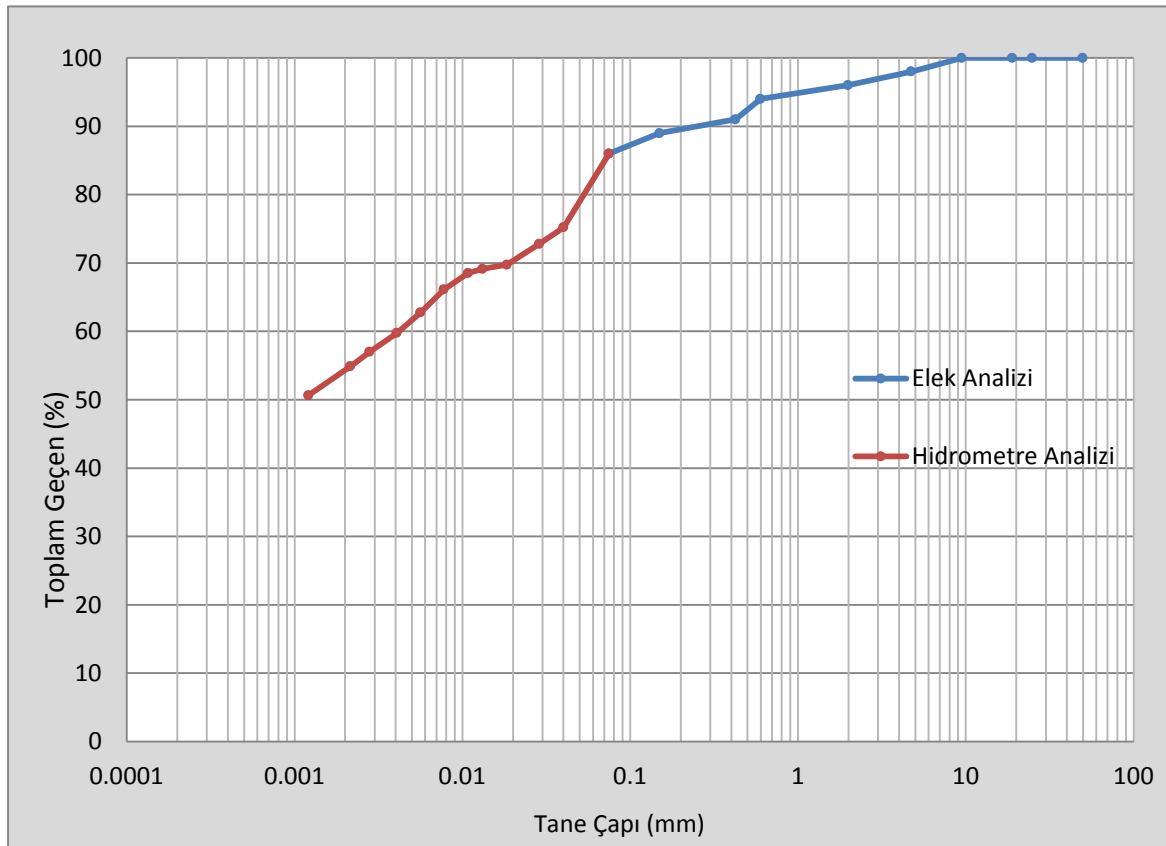
4.1. İndeks ve Tanımlama Deneyleri ve Elde Edilen Bulgular

Numuneler üzerinde yapılan indeks ve tanımlama deneylerine göre likit limit %80, plastik limit %36, plastisite indisi 44 bulunmuştur. Özgül ağırlık deney sonucu $G_s = 2,65$ dir. Yapılan elek analizi ve hidrometre deney sonuçlarına göre zemin cinsi CH (USCS'ye göre) bulunmuştur. Atterberg limitleri ve özgül ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.1'de, elek analizi ve hidrometre deney sonuçları ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

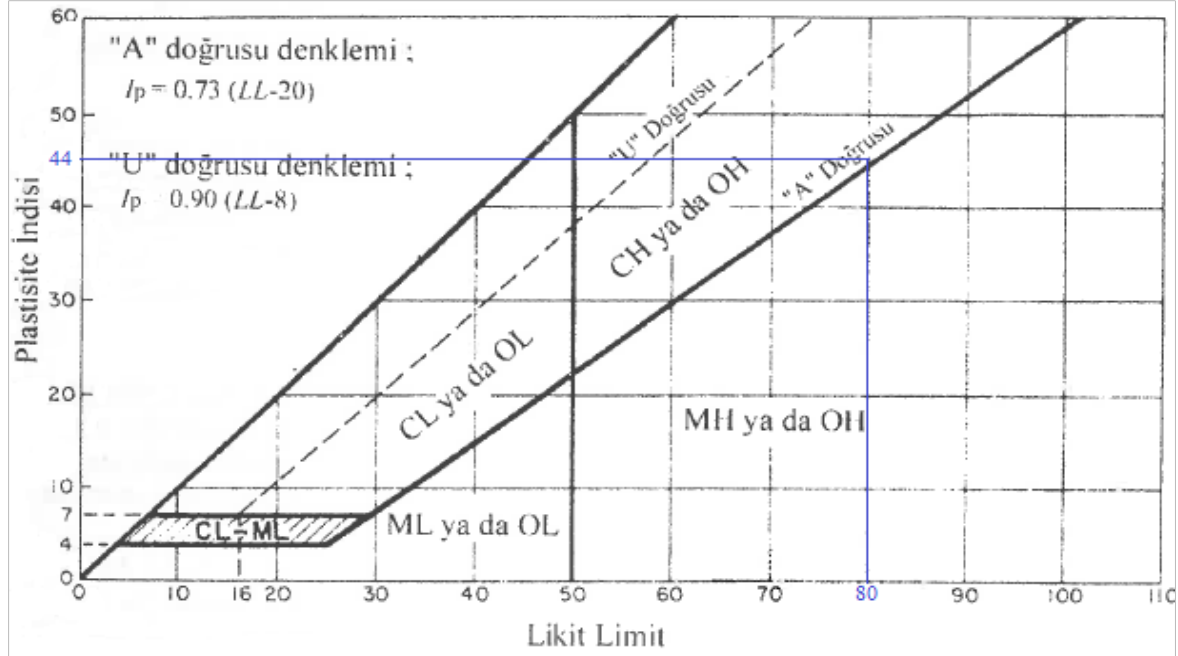
Çizelge 4.1. Atterberg limitleri, özgül ağırlık deney sonuçları ve zemin sınıflandırması

Zemin Türü	Likit Limit (%)	Plastik Limit	Plastisite İndisi	G_s	USCS	AASHTO
Kil	80	36	44	2,65	CH	A-7-6

Çizelge 4.2. Elek analizi ve hidrometre deney grafiği



Zemin sınıflandırması USCS ve AASHTO ya göre yapılmış USCS sınıflandırması Şekil.4.1, AASHTO sınıflandırması ise Şekil.4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. USCS’ye göre zemin sınıflandırması

Çizelge 9.2.1. AASHTO Sınıflandırma Sistemi (AASHTO M 145-87, ASTM D 3282-1993)

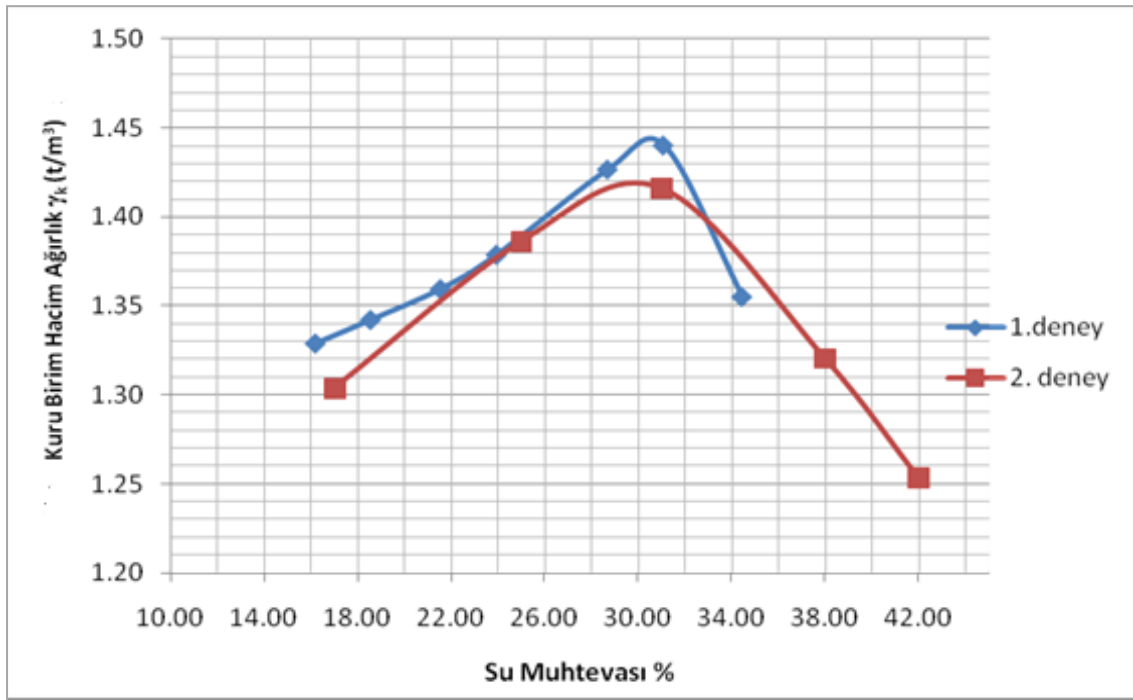
GENEL SINIFLANDIRMA	TANELİ MALZEMELER No.200 elekten geçen %35 veya daha az							SİTLİ ve KİLLİ MALZEMELER No.200 elekten geçen %35’den fazla			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
ELEK ANALİZİ YÜZDE GEÇEN No.10 (2.00 mm) No.40 (0.425 mm) No.200 (0.075 mm)	en fazla 50 en fazla 30 en fazla 15	en fazla 50 en fazla 25	en az 51 en fazla 10	en fazla 35	en fazla 35	en fazla 35	en fazla 35	en az 36	en az 36	en az 36	en az 36
ATTERBERG LİMITLERİ Likit Limit % Plastisite İndisi	en fazla 6	en fazla 6	NP	en fazla 40 en fazla 10	en az 41 en fazla 10	en fazla 40 en az 11	en az 41 en az 11	en fazla 40 en fazla 10	en az 41 en fazla 10	en fazla 40 en az 11	en az (*) 41 en az 11
GURUP İNDEKSİ	0		0	0			en fazla 4	en fazla 8	en fazla 12	en fazla 16	en fazla 20
MALZEMEYİ OLUŞTURAN ÖNEMLİ BİLEŞENLER	Taş kırıntıları çakıl ve kum		İnce kum	Siltli veya killi çakıllı kum				Siltli zeminler		Killi zeminler	
TABAN İÇİN KULLANILABİLİRLİĞİ	ÇOK İYİ - İYİ					ORTA - ZAYIF					

(*) A-7 Gurubu zeminin alt gruplarını belirlemek için; $PI \leq (LL-30)$ ise, A-7-5 ve $P > (LL-30)$ ise, A-7-6’dır. Ya da Şekil 11.2.2’den belirlenebilir.

Şekil 4.2. AASHTO’ya göre zemin sınıflandırması

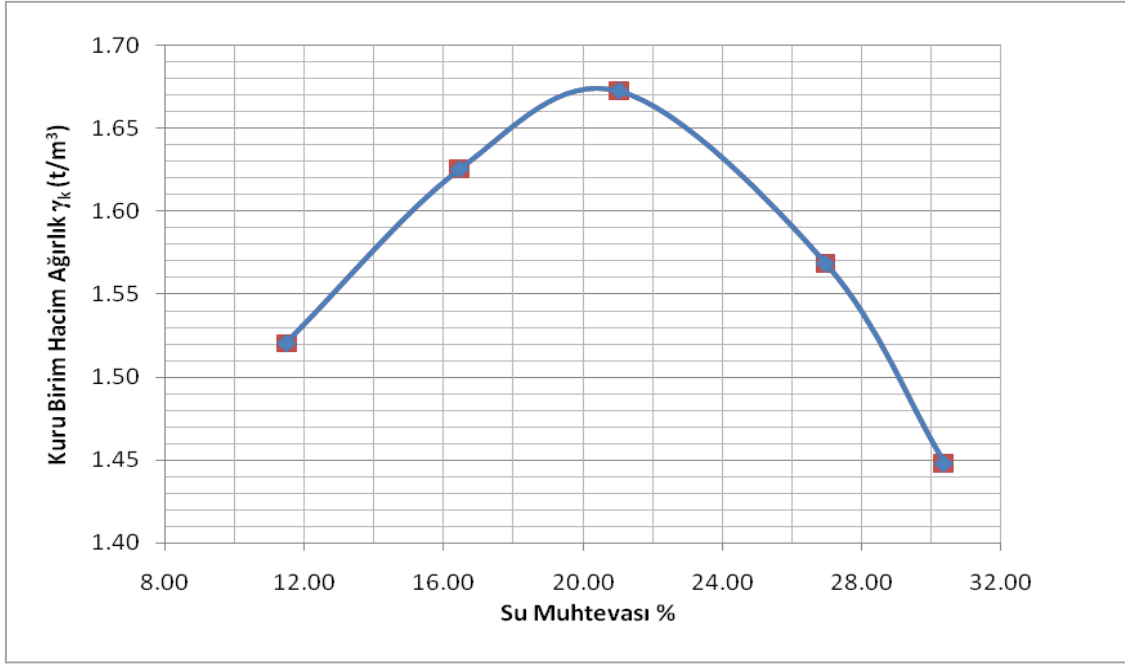
4.2. Standart ve Modifiye Proctor Deney Bulguları

Çukurambar semtinden alınan ve indeks deneyleri ile türünün CH olduğu belirlenen kil numunesine iki kez yapılan standart Proctor deneyi ile zeminin optimum su içeriğini (w_{opt}) yaklaşık %30,5 civarlarında olduğu ve bu su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığının $1,45 \text{ t/m}^3$ ve zeminin kuru birim hacim ağırlığının maksimum olduğu noktada doygunluk yüzdesinin (S_r) %91 civarında olduğu belirlenmiştir. Standart Proctor deneyine ait γ_k -w grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.

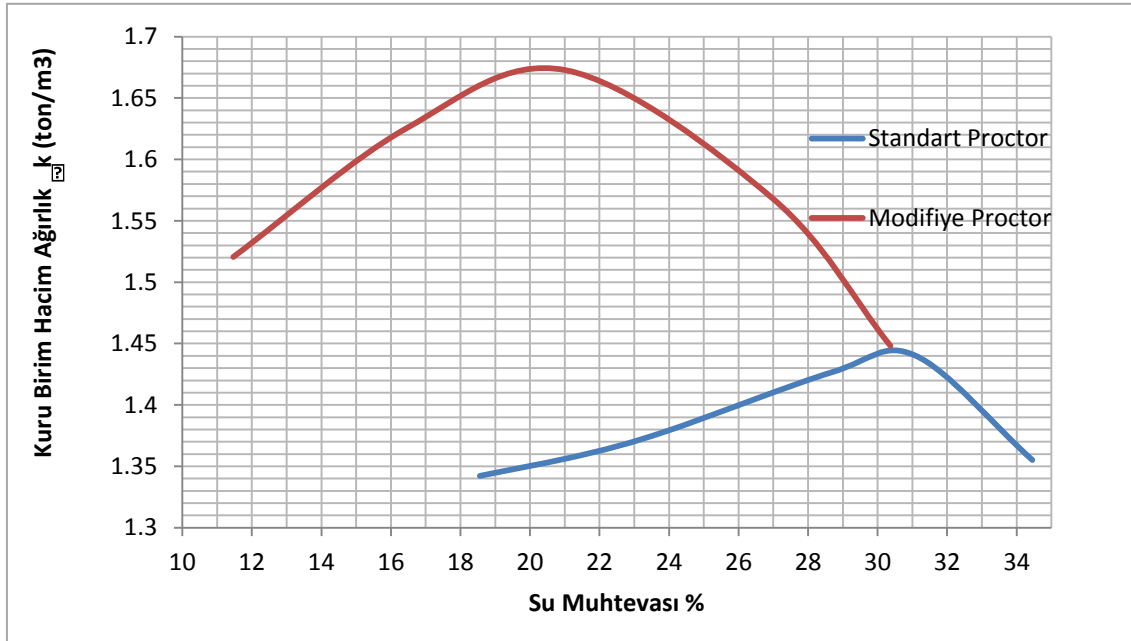


Şekil 4.3. Standart Proctor deney sonuçları

Modifiye Proctor deneyinde ise zeminin optimum su içeriğinin (w_{opt}) yaklaşık %21 civarlarında olduğu, bu su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığının $1,67 \text{ t/m}^3$ olduğu ve zeminin kuru birim hacim ağırlığının maksimum olduğu noktada doygunluk yüzdesinin (S_r) %92 civarında olduğu tespit edilmiştir. Modifiye Proctor deneyine ait γ_k -w grafiği Şekil 4.4’de, modifiye ve standart Proctor deney grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Modifiye Proctor deney sonucu



Şekil 4.5. Modifiye ve standart Proctor deneylerine ait γ_k -w değişimi

Standart ve modifiye Proctor deney sonuçlarının sayısal verileri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Standart ve modifiye Proctor deney sonuçları

Deney	Örselenmiş Numune (γ) (t/m^3)	γ_{kmax} (t/m^3)	Optimum Su İçeriği ($W_{opt}\%$)	Doygunluk Oranı S_r (%)
Standart Proctor	1,89	1,45	30,5	%93
Modifiye Proctor	2,02	1,67	20,5	%92

4.3. CBR (Kalifornia Taşıma Oranı) Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Metot kısmında belirtildiği, kuru ve ıslak CBR değerlerinin değerlendirildiği çalışmada optimum su içerikleri Proctor deneyleri ile belirlenmiş ve 6''lık kalıplarda sıkıştırılmış 24 adet zemin numunesine, standart ve modifiye Proctor sıklığında, farklı su içeriği ve doygunluk yüzdelerinde CBR deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler optimum su içeriği civarında standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerde yapılan CBR değerlerinin ortalama %11, modifiye Proctor sıklığında ortalama %68 olduğunu bu su içeriklerinin üzerine çıkıldıkça CBR değerinin standart Proctor sıklığı için %6, modifiye Proctor sıklığı için %39 'a kadar düştüğünü göstermiştir.

Yapılan deneyler ve elde edilen veriler standart Proctor için Çizelge 4.4'de modifiye Proctor için Çizelge 4.5'de verilmiştir. Deneylere ait grafikler EK-5 de verilmiştir.

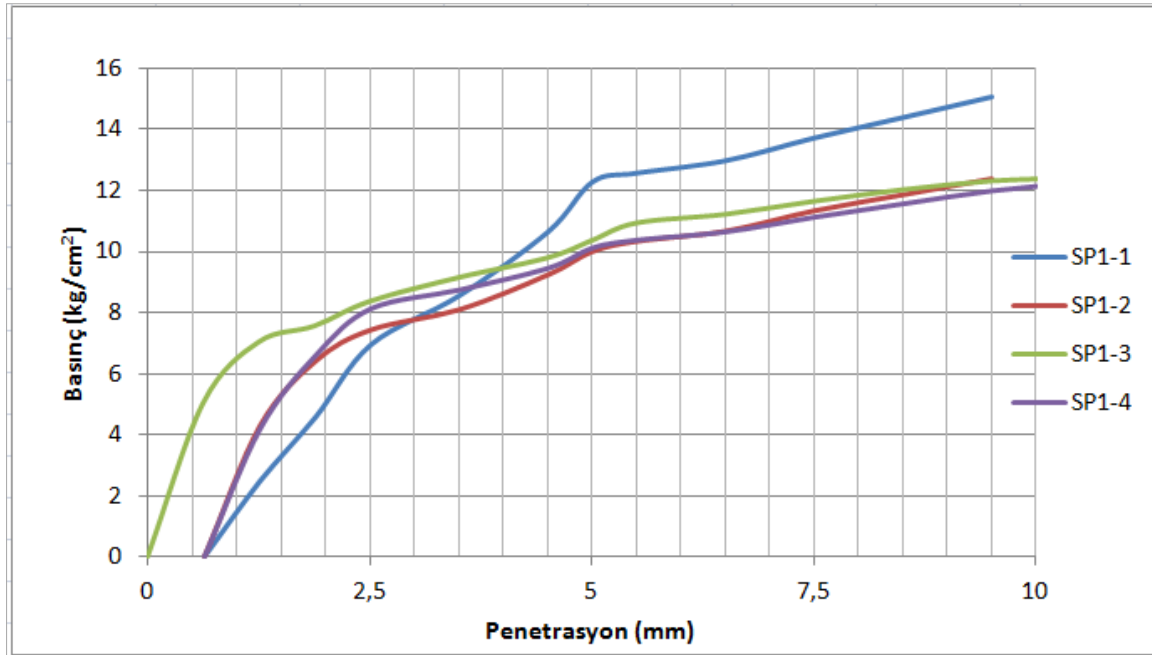
Çizelge 4.4 Standart Proctor sıklığındaki numunelerin su içeriği ve CBR değerleri

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)
SP1-1	W_{opt} %30,5	31	12,17	%12
SP1-2		31,5	11,5	
SP1-3		31,3	11,9	
SP1-4		30,8	12,45	
SP2-1	$W_{opt}+10\%$ %34	33	8,79	%9
SP2-2		33,2	8,66	
SP2-3		33	9,06	
SP2-4		32,8	8,59	
SP3-1	$W_{opt}+20\%$ %36	35,8	6,83	%6
SP3-2		35,8	6,76	
SP3-3		35,4	5,55	
SP3-4		35,4	5,88	

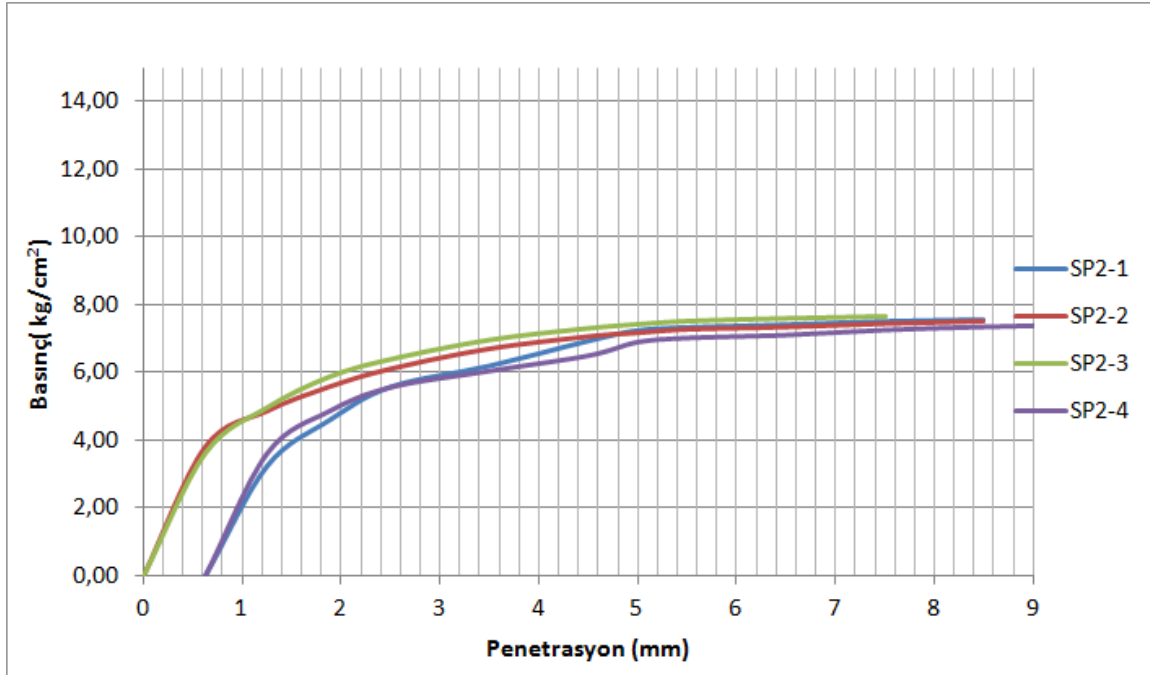
Çizelge 4.5. Modifiye Proctor sıklığındaki numunelere ait su içeriği ve CBR değerleri

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)
MP1-1	W_{opt} 21%	21	73,78	%68
MP1-2		21,4	68,24	
MP1-3		21,8	63,93	
MP1-4		22	67,63	
MP2-1	$W_{opt} + \%10$ 24%	23,8	56,04	%60
MP2-2		23,5	59,77	
MP2-3		23,4	61,48	
MP2-4		23,1	61,75	
MP3-1	$W_{opt} + \%20$ 27%	26	39,04	%39
MP3-2		26,3	39,4	
MP3-3		25,8	40,99	
MP3-4		26,1	36,75	

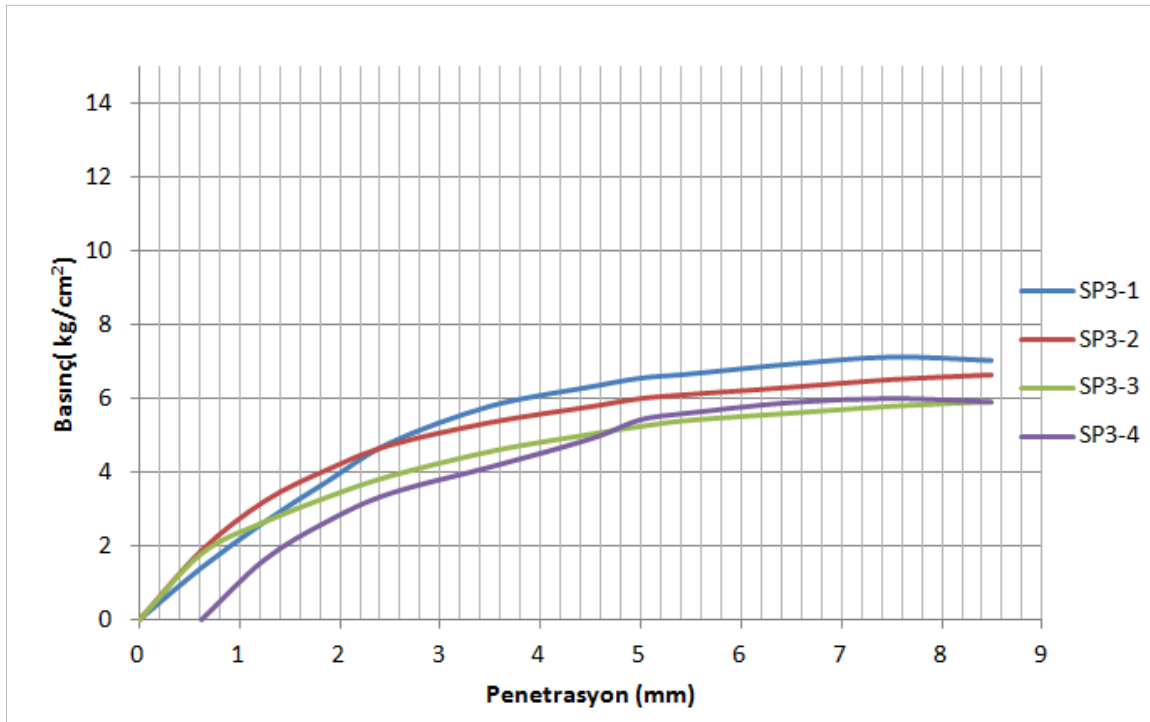
CBR deneylerinde penetrasyon miktarlarına karşılık gelen basınç okumaları ile basınç-penetrasyon grafikleri çizilmiş, bu grafikler Şekil (4.6, 4.7, 4.8)'de, gösterilmiştir.



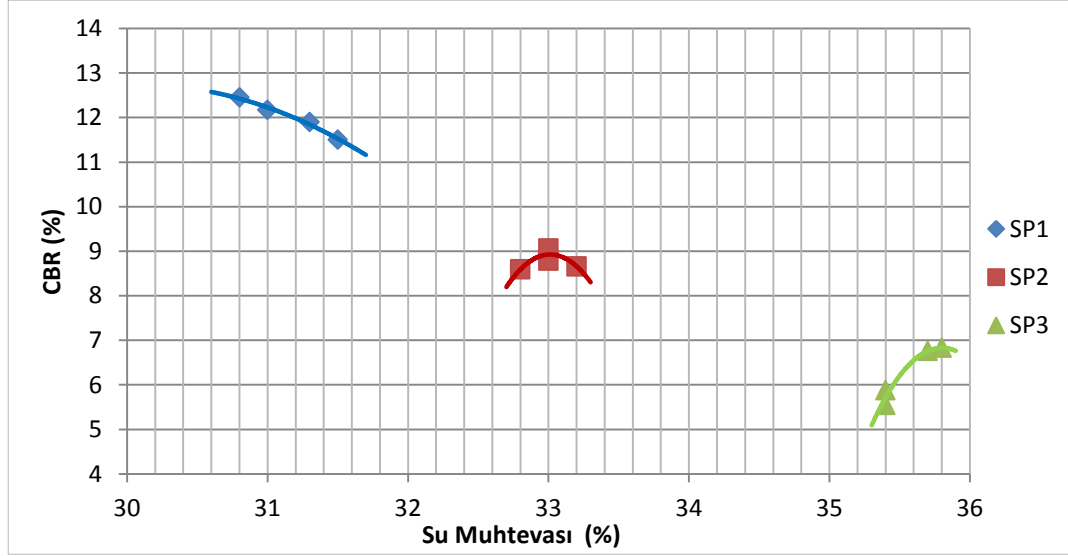
Şekil 4.6. SP1 Numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri



Şekil 4.7. SP2 Numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri

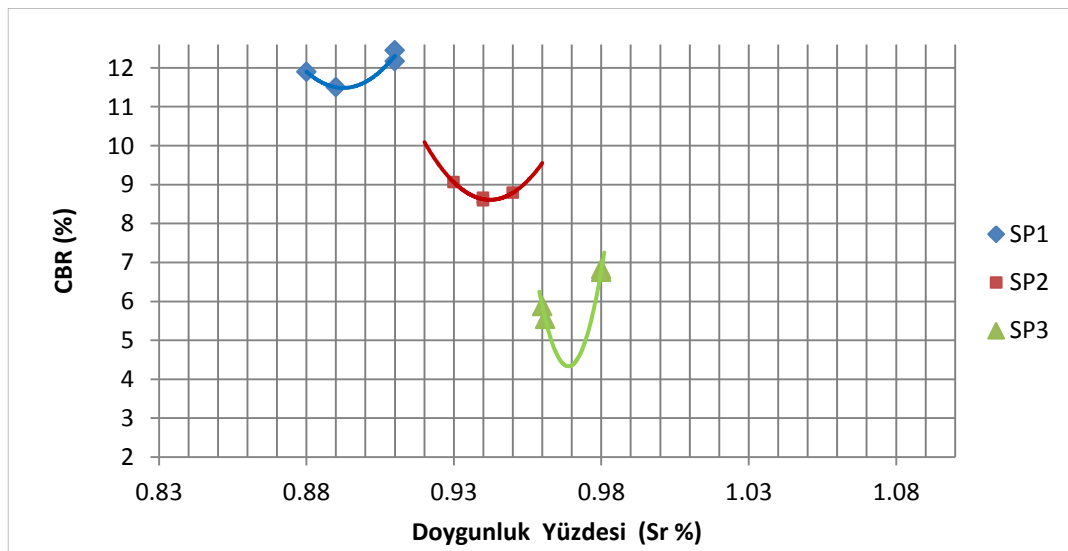


Şekil.4.8. SP3 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri



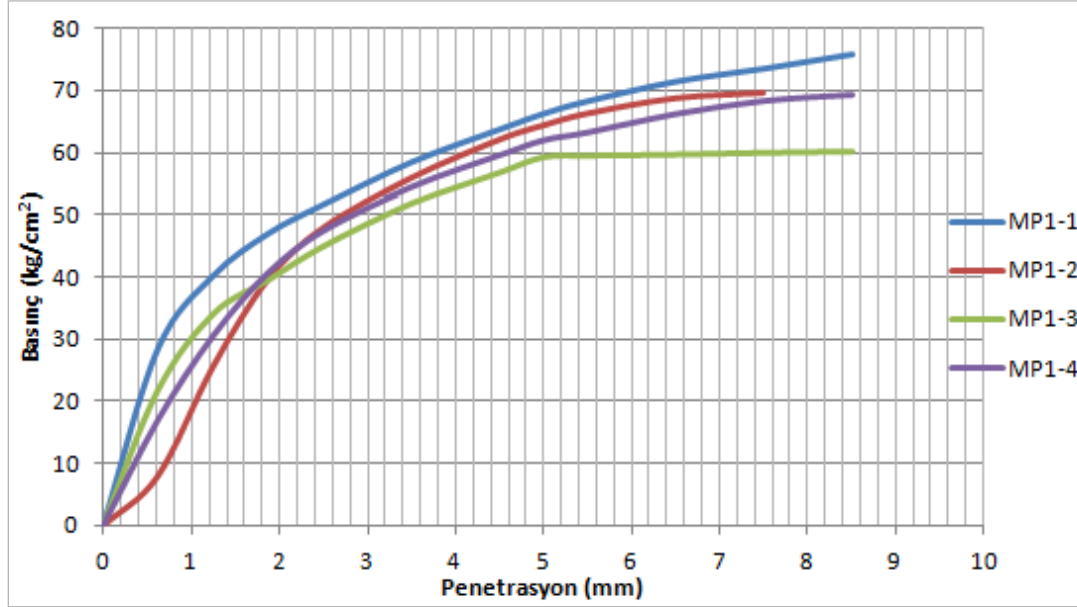
Şekil 4.9. Standart Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel dağılımı

Standart Proctor sıkılığındaki numunelerin su içeriğine bağlı olarak CBR değerlerinin değişiminin dağılımı Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Dağılımda optimum su içeriğindeki numunelerin (SP1) CBR değerlerinin %13-%11, doygunluk yüzdesinin (Sr) %95 civarındaki numunelerin (SP2) CBR değerleri %9-%8 ve doygunluk yüzdesinin (Sr) %98 civarında olan numunelerin (SP3) CBR değerlerinin %7-%5 arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4.10’da standart Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişim grafiği görülmektedir.



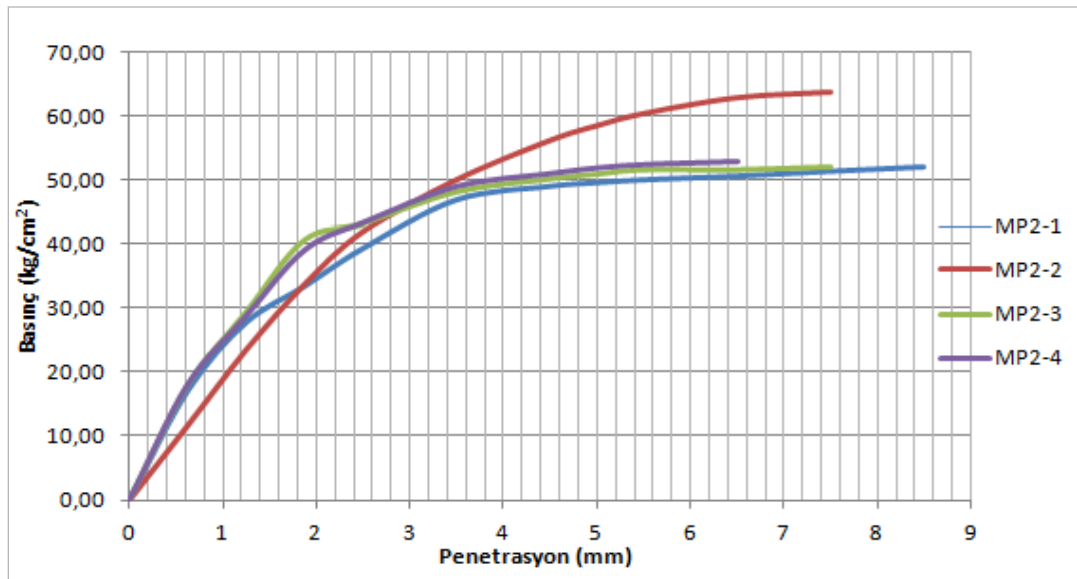
Şekil 4.10. Standart Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişiminin grafiksel dağılımı

Modifiye Proctor deney numunelerinden MP1 nolu numunenin basınç-penetrasyon eğrileri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



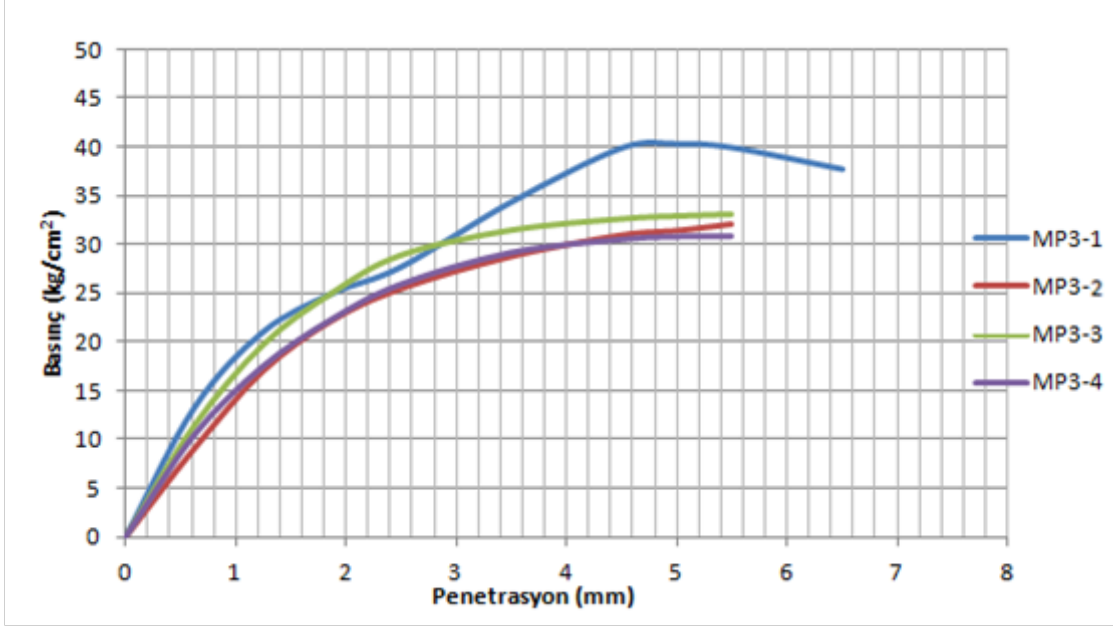
Şekil 4.11. MP1 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri

Modifiye Proctor deney numunelerinden MP2 nolu numunenin basınç-penetrasyon eğrileri Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

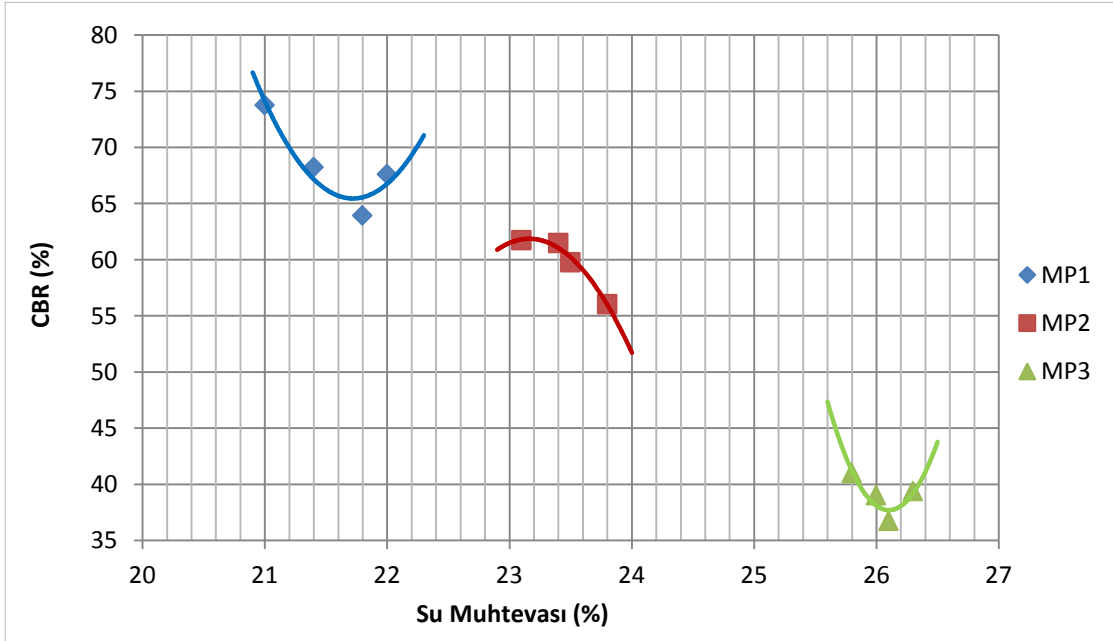


Şekil 4.12. MP2 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri

Modifiye Proctor deney numunelerinden MP3 nolu numunenin basınç-penetrasyon eğrileri Şekil 4.13’de, modifiye Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

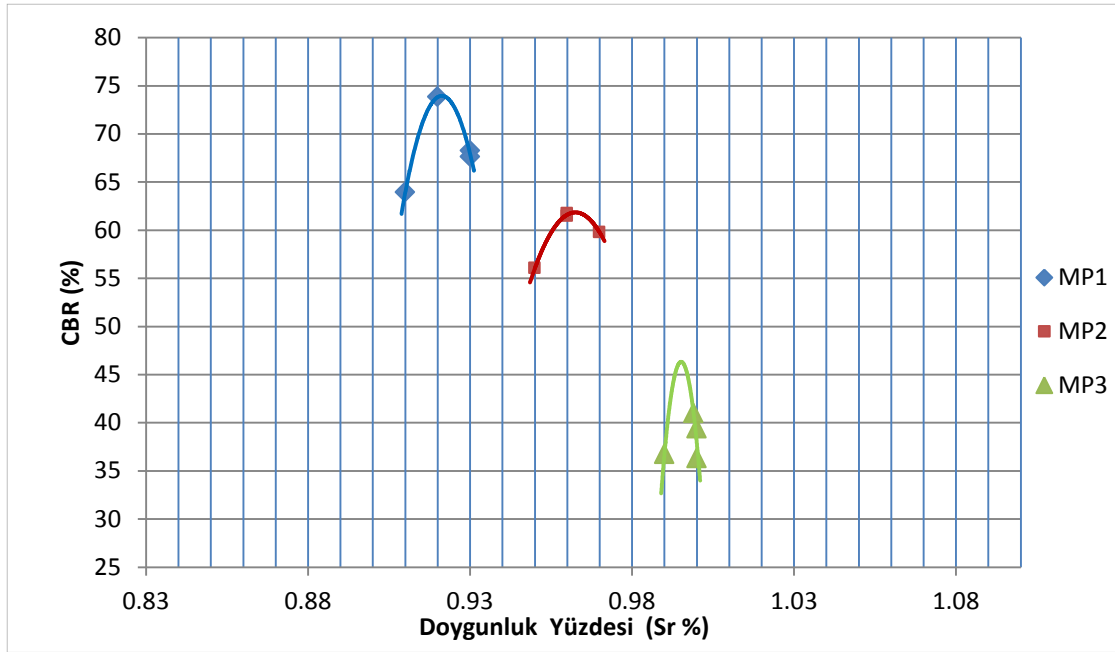


Şekil 4.13. MP3 numaralı numunelere ait basınç-penetrasyon eğrileri



Şekil 4.14. Modifiye Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel gösterimi

Modifiye Proctor sıklığındaki numunelerin su içeriğine bağlı olarak CBR değerlerinin değişiminin dağılımı Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Dağılımda optimum su içeriğindeki numunelerin (MP1) CBR değerlerinin %65-%70, doygunluk yüzdesinin (Sr) %94 civarındaki numunelerin (MP2) CBR değerleri %55-%60 ve doygunluk yüzdesinin (Sr) %99 civarında olduğu numunelerin (MP3) CBR değerlerinin %35-%40 arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4.15’de modifiye Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.15 Modifiye Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişiminin grafiksel dağılımı

4.4. Üç Eksenli (UU) Basınç Deneyi ve Elde Edilen Bulgular

CBR deneyi yapılan numunelerden alınan üç eksenli basınç deneyi numuneleri ile farklı su içeriklerine ve CBR değerlerine sahip zeminlerin kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Metot 3.3.3’de belirtildiği gibi alınan deney numuneleri üç eksenli basınç deneyi cihazında konsolidasyonsuz drenajsız (UU) deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

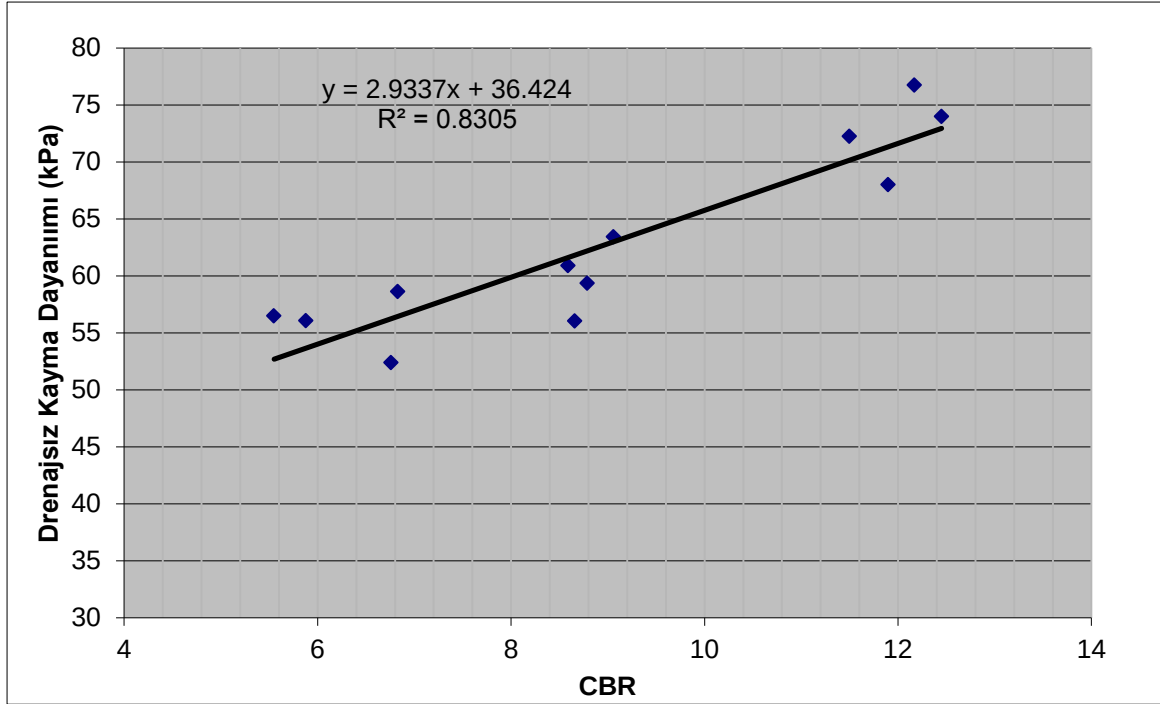
Çizelge 4.6. Standart Proctor numunelerine ait CBR ve üç eksenli basınç deney sonuçları

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa) (Ortalama)	İçsel Sürtünme Açısı ϕ	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (Ortalama)
SP1-1	W_{opt} %30,5	31	12,17	%12	76,73	72,86	25,80	26,86
SP1-2		31,5	11,5		72,25		28,00	
SP1-3		31,3	11,9		68		24,33	
SP1-4		30,8	12,45		74		29,30	
SP2-1	$W_{opt} + \%10$ %34	33	8,79	%9	59,36	59,68	19,95	17,31
SP2-2		33,2	8,66		56,04		16,02	
SP2-3		33	9,06		63,43		15,87	
SP2-4		32,8	8,59		60,92		17,38	
SP3-1	$W_{opt} + \%20$ %36	35,8	6,83	%6	58,62	56,08	12,09	11,95
SP3-2		35,8	6,76		52,39		12,82	
SP3-3		35,4	5,55		56,51		11,23	
SP3-4		35,4	5,88		56,8		11,65	

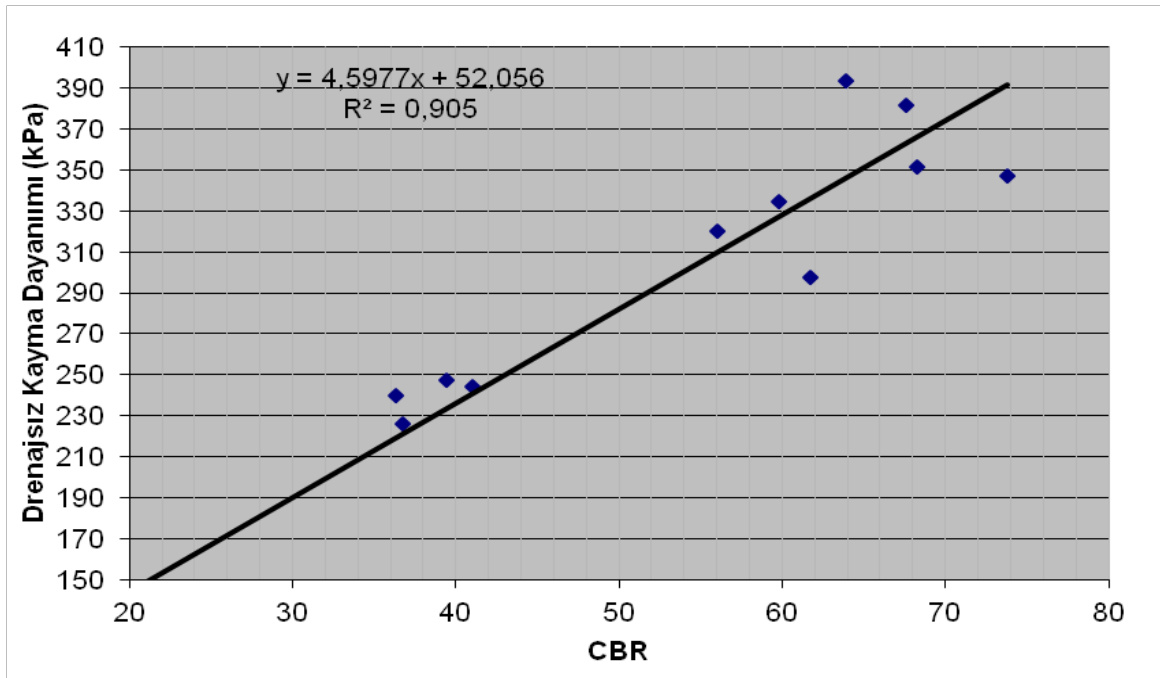
Çizelge 4.7. Modifiye Proctor numunelerine ait CBR ve üç eksenli basınç deney sonuçları

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa) (Ortalama)	İçsel Sürtünme Açısı ϕ	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (Ortalama)
MP1-1	W_{opt} 21%	21	73,78	%68	347	337,51	49,37	37,05
MP1-2		21,4	68,24		351,49		33,98	
MP1-3		21,8	63,93		393,44		31,31	
MP1-4		22	67,63		382		33,53	
MP2-1	$W_{opt} + \%10$ 24%	23,8	56,04	%60	320	317,31	34,37	32,83
MP2-2		23,5	59,77		334,34		31,93	
MP2-3		23,4	61,48					
MP2-4		23,1	61,75		297,6		32,19	
MP3-1	$W_{opt} + \%20$ 27%	26	39,04	%39	247,4	239,63	29,28	27,02
MP3-2		26,3	39,4		240,11		27,13	
MP3-3		25,8	40,99		244,25		28,26	
MP3-4		26,1	36,75		226,26		23,38	

Standart ve modifiye Proctor sıklılığındaki zemin numunelerinin CBR değeri ve Drenajsız kayma dayanımını gösteren korelasyon grafiği Şekil 4.16 ve 4.17’de gösterilmiştir.



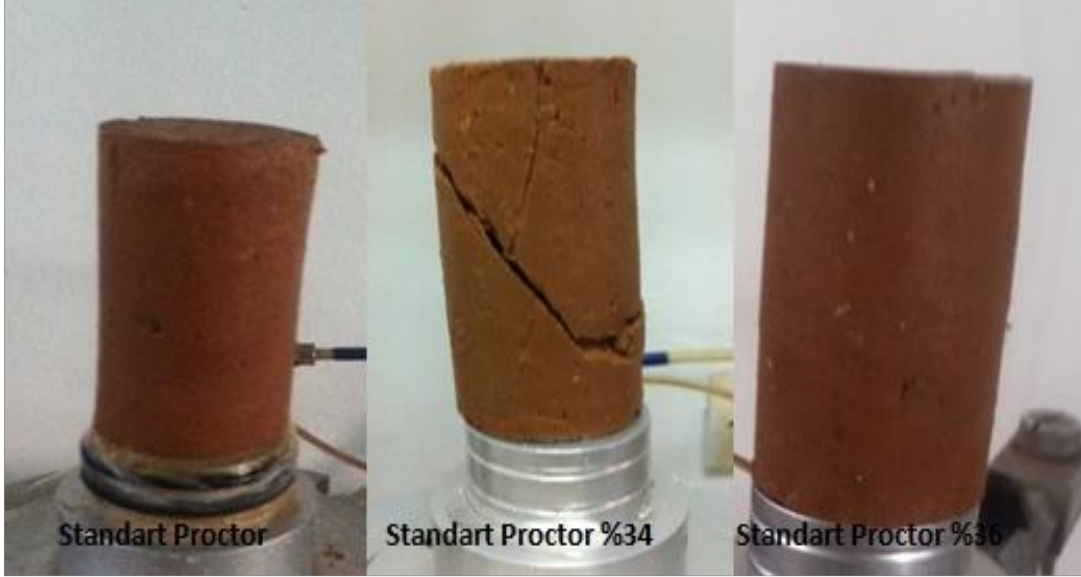
Şekil 4.16. Kohezyon değeri ile standart Proctor sıkılığındaki numunelerin CBR değerlerinin korelasyon grafiği



Şekil 4.17. Kohezyon değeri ile modifiye Proctor sıkılığındaki numunelerin CBR değerlerinin korelasyon grafiği

Resim 4.1’de standart Proctor sıkılığında ve özellikle yüksek su içeriklerindeki zeminlerde kayma düzlemi açık şekilde görülmemekte, buna karşın daha çok varilleşme

görülmektedir. Resim 4.2’de modifiye Proctor sıklığında sıkıştırılmış zemin örneklerine baktığımızda ise kayma düzlemlerinin keskin bir şekilde oluştuğunu görmekteyiz.

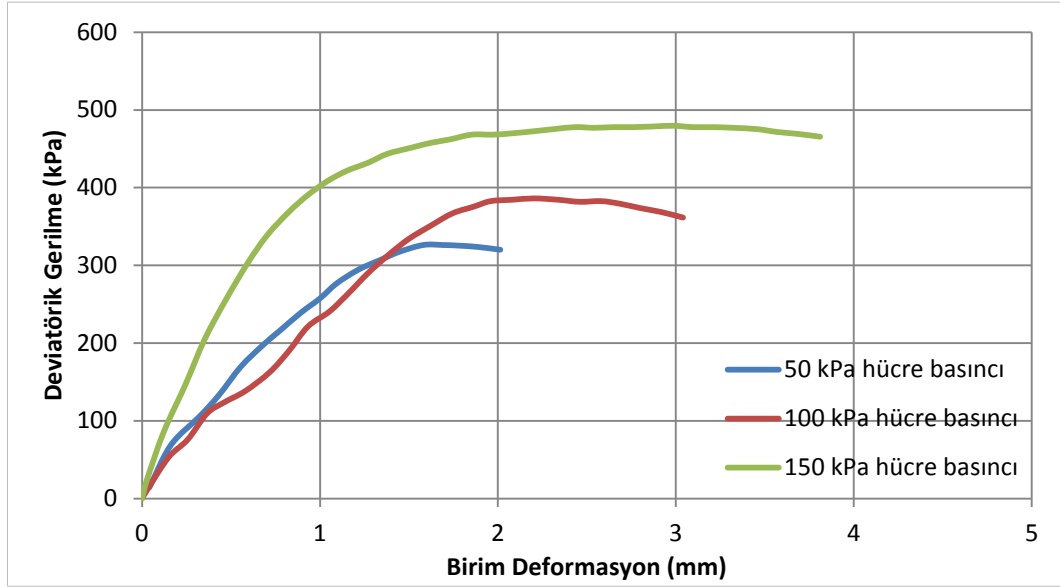


Resim 4.1. Standart Proctor sıklığındaki üç eksenli deney numuneleri

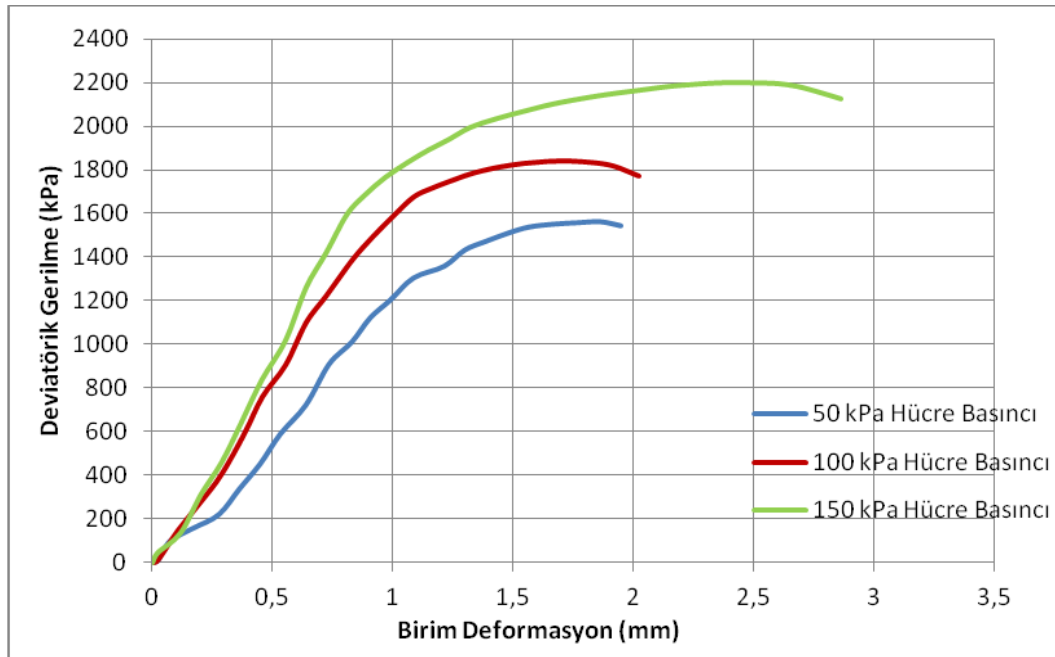


Resim 4.2. Modifiye Proctor sıklığındaki üç eksenli basınç deney numuneleri

Üç eksenli basınç deneyi yapılan numunelerin her birinin gerilme deformasyon grafiği tez içerisinde verilmemiştir. Örnek olması açısından SP1-3 numaralı numunenin gerilme-deformasyon grafiği Şekil 4.18’de MP1-3 numaralı numunenin gerilme-deformasyon grafiği ise Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.18. SP1-3 numaralı numunenin gerilme-deformasyon grafiği



Şekil 4.19. MP1-3 numaralı numunenin gerilme-deformasyon grafiği

Numunelerin CBR değerlerindeki artış ile, kohezyonlarında ve içsel sürtünme açılarında (ϕ) anlamlı artışlar meydana gelmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, yüksek plastisiteli zemin numunesinin, CBR değerleri ile sözü edilen zeminin kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Ankara ili Çukurambar Semtinde yapılmakta olan bir inşaat kazısında alınan zemin numunesi üzerinde öncelikle tanımlama deneyleri yapılmış (elek analizi, hidrometre ve Atterberg limitleri) ve zeminin (USCS)'ye göre CH olarak sınıflandırılabilceği likit limitinin $LL=80$, $PL=36$, özgül ağırlığının ise 2,65 olduğu saptamıştır.

Ankara kenti toprak zeminlerinde Kasapoğlunun yaptığı deneylerde zeminlerin özgül ağırlığının akarsu ve göl çökelleri için 2,47-2,76 arasında, alüvyonların 2,50-2,76 arasında, likit limit değerlerinin 20,50-97,50 arasında, plastik limit değerlerinin ise 5,00-58,00 arasında değiştiğini saptamıştır [1]. Bu sonuçlarla tezdeki veriler karşılaştırıldığında sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir.

Numunelerin optimum su içeriklerini ve bu içeriklere karşılık gelen doygunluk yüzdelerini bulmak için zemine standart Proctor ve modifiye Proctor deneyi yapılmış, her iki farklı enerji oranına karşılık gelen optimum su içerikleri ve bu içeriklere karşılık gelen kuru birim hacim ağırlıklar saptanmıştır. Zeminin standart Proctor sıkılığında optimum su içeriğinin %30,5, modifiye Proctor sıkılığında ise optimum su içeriğinin %20,5 civarlarında olduğu tespit edilmiştir.

CBR deneyleri öncelikle ıslak ve kuru CBR olmak üzere iki aşamada yapılması planlanmış fakat daha sonra zeminin standartlarda belirtildiği sürede suya doygun hale gelmediği görülmüştür. Bu yüzden numuneleri doygun hale getirmek için optimum su içeriklerinin üzerindeki su içeriklerine çıkılarak sıkıştırma deneyleri yapılmış ve doygunluk sınırına yakın değerlere göre deneyler yapılmıştır.

CBR deneyleri standart Proctor sıkılığında yaklaşık %30,5, %34, %36 su içeriğinde, modifiye Proctor sıkılığında %21, %24 ve %27 su içeriğinde her biri 4 set olmak şartı ile toplam 24 numune üzerinde yapılmıştır. Standart Proctor sıkılığında (Bkz Çizelge 4.6), %30,5 su içeriğinde (CBR % 12,2-11,5-12-12,4) ortalama %12, %34 su içeriğinde (CBR

% 8,8-8,7-9,1-8,6) ortalama %8,8 ve %36 su içeriğinde ise (CBR % 6,8-6,8-5,6-5,9)ortalama %6 CBR değeri elde edilmiştir. Modifiye Proctor Sıkılığında ise bu değerler (Bkz Çizelge 4.7), %21 su içeriğinde (CBR % 73,8-68,2-64-67,7) ortalama %68, %24 su içeriğinde (CBR % 56-59,8-61,5-61,8) ortalama %60 ve %27 su içeriğinde (CBR % 39-39,4-41-36,8) ortalama %39 CBR değeri elde edilmiştir.

Modifiye Proctor sıkıştırma enerjisi standart Proctor sıkışma enerjisinden yaklaşık 4,6 kat daha fazla olduğundan dolayı daha fazla sıkışma elde edilecektir. Zemin ortam sıkılığının artışına göre sonuçlar CBR değerleri yönünden incelendiğinde de CBR sonuçları bu değerlere yaklaşık bir oranla artış göstermiştir.

Üç eksenli basınç deneyi için CBR kalıplarında deneye tabi tutulan zemin numunelerinden her biri en az 3 tane olmak üzere hidrolik numune alıcı ile deney numuneleri alınmış ve 70 numune üzerinde deneyler yapılmıştır.

Üç eksenli basınç deneyinde standart Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zemin numunelerinin CBR değer ortalaması %12 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı, 76,78-68 kPa arasında ortalama 72 kPa, CBR değer ortalaması %8,8 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı 62,43-56,04 kPa arasında ortalama 60 kPa ve CBR değer ortalaması %6,2 olan numuneler 58,62-52,39 kPa arasında ortalama 55 kPa drenajsız kayma dayanımı değeri vermiştir.

Modifiye Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zemin numunelerinin CBR değerlerinin ortalaması 68 civarında olanların drenajsız kayma dayanımı 393-347 kPa arasında, ortalama 368 kPa, CBR değer ortalaması 59 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı 382-320 kPa arasında ortalama 317 kPa ve CBR değer ortalaması 38 olan zeminler 247-226 kPa arasında ortalama 239 kPa drenajsız kayma dayanımı vermiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2 de Look'un Handbook of Geotechnical Investigation and Desing Tables kitabında verdiği, daha önce yapılan deneylerden elde edilen verilere göre değerlendirildiğinde, Look'da drenajsız kayma dayanımlarının CBR sonuçları artışı ile arttığı görülmektedir. Look killeri sertlik değerine göre ayırmış bu değerlerden elde edilen CBR sonuçlarından da elde edilecek ortalama drenajsız kayma dayanımı hakkında yaklaşık tahminlerde bulunmuştur. Bu değerlendirmeye göre CBR

değerinin 4-10 arasında olması durumunda drenajsız kayma dayanımının 50-100 kPa, 10-20 arasında olması durumunda 100-200 kPa ve CBR > 20 olması durumunda da drenajsız kayma dayanımı > 200 kPa gibi değerlerde olabileceğini öngörülmüştür. Yaptığımız çalışmalardan elde ettiğimiz CBR değerleri ile Look (2007) karşılaştırıldığında, standart Proctor sıkılığında ortalama CBR değeri %6-%12 arasında değişen zeminler katı sınıfa girmekte ve drenajsız kayma dayanımları 55-72 kPa arasında değişmektedir. Modifiye Proctor sıkılığında sıkıştırılan CBR değeri %38-%68 olan zeminler sert sınıfa girmekte ve drenajsız kayma dayanımları 239-368 kPa arasında değiştiği görülmekte olup elde edilen sonuçların çok farklı olmadığı görülmüştür.

Çizelge 5.1. Look'a göre CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki yaklaşık korelasyon ve tez sonuçları arasındaki ilişki

Zeminin Kıvamı		Yumuşak	Sıkı	Katı	Çok katı	Sert	
Yaklaşık CBR (%)	Örselenmemiş	-	1-2	2-4	4-10	>10	
	Örselenmiş	1-2	2-4	4-10	10-20	>20	
Look'a göre Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)		12-25	25-50	50-100	100-200	>200	
Tez Çalışması							
CBR Değerleri (ort)		6,2	8,8	12	38	59	68
Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)		55	60	72	239	317	368

Carter ve Bentley kohezyonlu zeminlerde drenajsız kayma dayanımı (C_u) ile CBR değerleri arasında ilişkiyi belirlemek için yaptığı deneylere göre $CBR = 0,09 \times C_u$ (kN/m^2) bağıntısını önermiştir. Yapılan tez çalışmasında standart Proctor enerji oranında değişik su muhtevalarında yapılan üç eksenli basınç testleri ve CBR deney sonuçlarına görede $CBR = 0,161 \sim 0,189 \times C_u$ (kN/m^2) bağıntısı elde edilmiştir.

Carter ve Bentley aynı çalışmada AASHTO ve USCS zemin sınıflandırma sistemlerinin, zemin türlerine göre yaklaşık CBR değerlerini (Şekil 2.'2) vermiştir. AASHTO sınıflandırması, A-6 ve 7 türü zeminler için CBR değerinin %2-%8 arasında, USCS sınıflandırması ise CH türü zeminler için yaklaşık CBR değerinin %2-%14 arasında olabileceğini önermiştir. Tez çalışmasında sınıfının CH (A-7-6) olduğu belirlenen zeminin CBR sonuçların standart Proctor sıkılığında %6-%12 arasında olduğu belirlenmiştir.

Deney sonuçları özet tablosu Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney sonuçları

Deney Adı	Su İçeriği	Sr (%)	CBR% (Ort.)	Cu (Ort..kPa)	ϕ (Ort.)	Bulunan Katsayı
SP1	%30,5	90	12	72,86	26,86	0,167
SP2	%34	94	9	59,68	17,31	0,162
SP3	%36	97	6	56,08	11,95	0,111
MP1	%21	92	68	337,518	37,05	0,185
MP2	%24	96	60	317,31	32,83	0,189
MP3	%27	99	39	239,63	27,02	0,161

6. SONUÇLAR

Yapılan CBR ve üç eksenli basınç deneyleri ile bulunan drenajsız kayma dayanımı değerleri ortalamasına bakıldığı zaman, deney yapılan kil numunesi ile arasında genel olarak standart proctor sıklılığındaki zeminlerde;

$$\text{CBR} = C_u \times 0,111 \sim 0,167$$

Aralığında değiştiği görülmüştür. Modifiye proctor enerjisinde sıkıştırılmış zemin numunesinde bu katsayı;

$$\text{CBR} = C_u \times 0,161 \sim 0,189$$

civarında bulunmuştur. Bulunan bu katsayılar, her zeminin kendine özgü bir değerinin olduğunu ve su içeriği değişikliği ile bu değer değişim göstermekte olduğunu göstermektedir.

Katsayı seçiminde doygunluk yüzdesinin artışına bağlı olarak katsayılarında büyüdüğü göz önüne alınmalıdır. Optimum su içeriğinde katsayı 0,111 civarında olurken, optimum su içeriğinin üzerindeki su içeriklerinde katsayının 0,167'ye kadar değişim göstermektedir.

Bu tez çalışması başlangıçta planlanırken numuneler normal şartların dışında, suda bekletilerek tam doygun durumdaki su içeriklerinde CBR değerleri ile üç eksenli kayma dayanımları ölçülmek istenmiştir. Numuneler 10 gün suda beklemesine rağmen içeriğindeki yüksek plastisiteli kilden dolayı tam doygun duruma getirilemediği için su içerikleri arttırılarak %100 doygun duruma getirilmeye çalışılmıştır. Bu tür zeminleri suda bekleterek doygun duruma getirmek isteyen başka çalışmacılara numuneleri farklı şekillerde (geri basınç altında bekletme gibi) doygun duruma getirerek deney yapmaları önerilir.

Ayrıca CBR deneyleri ile diğer kayma dayanımı deney sonuçları ve deformasyon parametreleri (elastisite modülü, hacimsel sıkışma indisi gibi) ile de değerlendirilmesinin konuya daha fazla katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

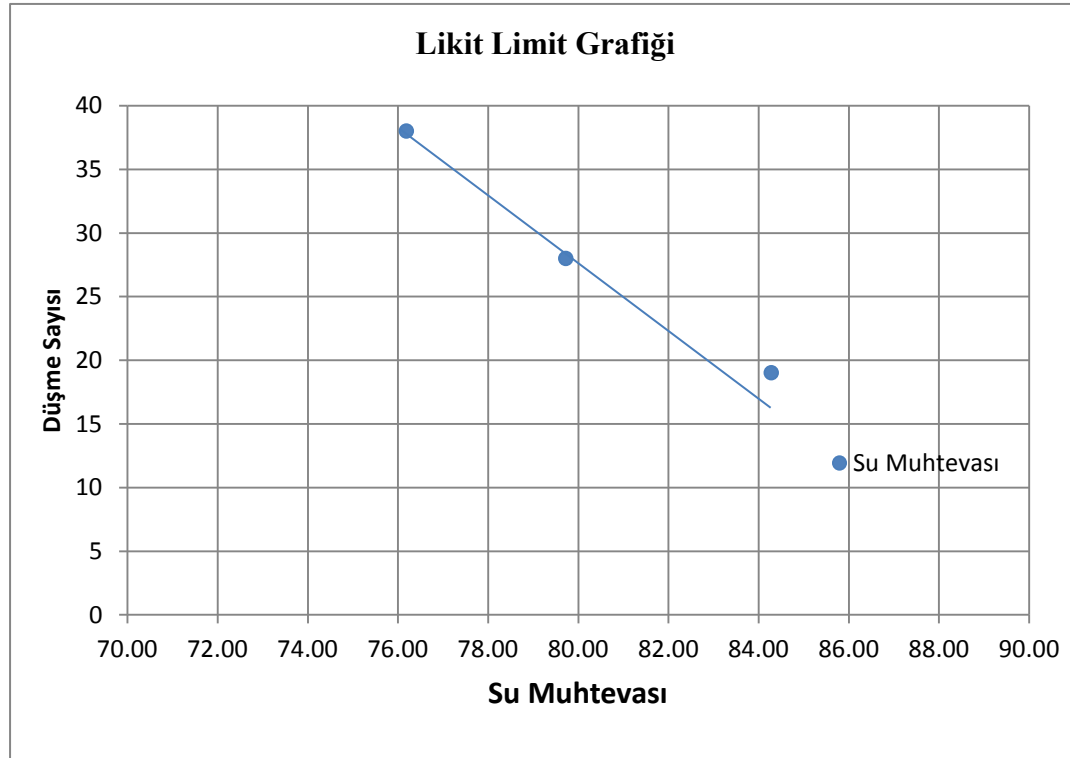
KAYNAKLAR

1. Kasapoğlu, E. (2000). *Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Depremselliği*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 84-127.
2. Look, B. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Desing Tables*. Netherlands: Taylor&Francis, 157.
3. Carter, M., Bentley, S. (2016). *Correlasions of Soil Properties* (Second edition). London: Pentech Press Publishers, 147.
4. Süt, İ. (2006). *Kohezyonlu Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesinin CBR Değeri Üzerine Etkisinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-109.
5. Jenkins, P. (1998). The strenght of well graded cohesive fills *Ground Engineering*, 25, 38-41.
6. Çokça, E., Tilgen, H., (2010, May). Shear Strenght-Suction Relationship of Compacted Ankara Clay *Applied Clay Science*, 400-404
7. Aytekin, M., (2000). *Deneysel Zemin Mekaniği*, Ankara: Teknik Yayınevi, 206-240.
8. Karayolları Genel Müdürlüğü. (2003). *Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı*. Ankara: KGM, 77-114.
9. Tunç, A., (2002). *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları* İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım, 187-210.
10. Yılmaz, I., Yıldırım, I., Keskin, İ., (2009) *Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Problemler*, Ankara: Teknik Yayınevi, 61-99.
11. Genç, D., (2008). *Zemin Mekaniği ve Temeller*, Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara: TMMBO 349-770.
12. Bowles J. E., (1992). *Engineering Properties of Soil and Their Measurements*, Newyork: Mc Graw-Hill Book Company, 93-219.
13. Uzuner, B., (2005). *Temel Zemin Mekaniği*, Trabzon: Derya Kitapevi, 163.
14. Yılmaz, U., (2006). *Ankara Kilinin (Çankaya-Ankara) Sıkışma-Kabarma Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 27.
15. Akyürek, B., (1997). *1/1000000 ölçekli ve açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi*, Ankara: MTA Yayını Ankara-F15 paftası
16. Holtz, R., Kovacs, W., Sheahan, T., (2010). *Geotechnical Engineering* (Second.Edition), New Jersey: Prentice Hall, 208.

EKLER

EK-1. Atterberg Limitleri

ATTERBERG SINIRLARI DENEY FORMU					
Proje: Semih Şenkan Yuk.Lis.Numunesi			Deneyi Yapan: Semih Şenkan		
Numune No: 1			Deney Tarihi:05.03.2013		
Deney Türü	Likit Limit (LL)			Plastik Limit (PL)	
Kap No:	34	32	43	14	29
Düşme Sayısı	38	28	19		
Kap Kütlesi (g)	22.50	23.10	22.40	18.6	18.2
Kap+Yaş Zemin Kütlesi (g)	29.90	36.40	35.30	25.4	26.9
Kap+Kuru Zemin Kütlesi (g)	26.70	30.50	29.40	23.5	24.5
Suyun Kütlesi (g)	3.20	5.90	5.90	1.90	2.40
Kuru Zemin Kütlesi (g)	4.20	7.40	7.00	4.90	6.30
Su İçeriği (%)	76.19	79.73	84.29	38.78	38.10



Şekil 1.1. Likit limit deney formu

EK-2. Özgöl ağırlık deney sonucu

ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ	
Proje: Semih Şenkan Yuk.Lisans	Deneyi Yapan: Semih Şenkan
Bölge: Çukurambar	Tarih: 06.03.2013
Deneyde kullanılan örneğin en büyük tane çapı	

	4,75 mm (No.4)
---	----------------

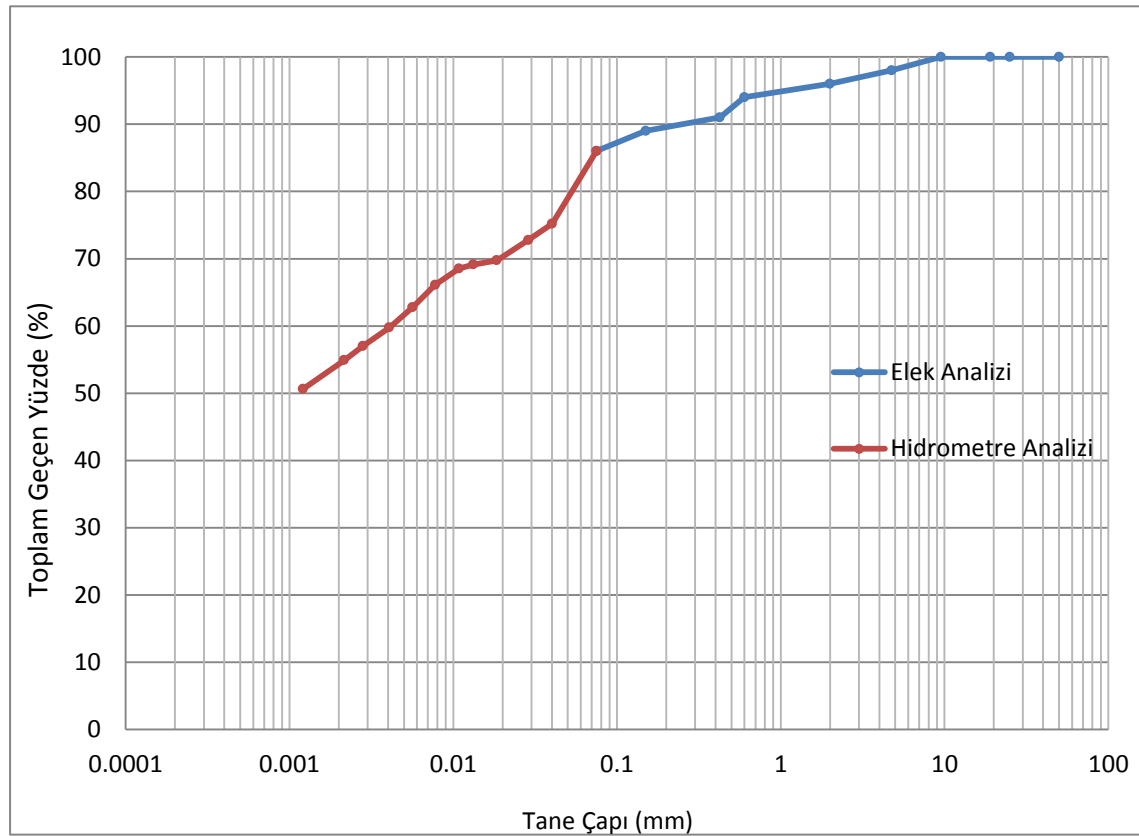
	2,00 mm (No.10)
---	-----------------

Deneyde kullanılan yoğunluk şişesinin hacmi: 100ml				
Şişe Numarası	106	91	93	112
Şişe Ağırlığı (kapak ile birlikte) (M _p) g	45.2	46.2	59.3	49.9
Şişe + su ağırlığı (M _{pw}) g	141.4	146.5	155	151
Su sıcaklığı (T _i)	27	26.5	26.5	26.5
DENEY SAYISI	1	2	3	4
Örnek ağırlığı , (etüv kuru) (M _s) g	25	25	25	25
Şişe + örnek + su ağırlığı (M _{pws}) g	157.9	162.1	170.6	166.5
Örnek + su karışımının sıcaklığı (T _x) °C	29	29	30	29
Şişe + su ağırlığı (T _x °C'de)* (M _{pw})* g	141.45	146.57	155.09	166.58
Sıcaklık düzeltme katsayısı (K)	0.99774	0.99774	0.99744	0.99774
Özgül Ağırlık	2.940	2.653	2.653	2.650
G _s =(M _s / (M _s +M _{pw} (T _x °C'de)-M _{pws})) x K				
ZEMİNİN ÖZGÜL AĞIRLIĞI (G _S)	2.652			

Şekil 2.1. Özgöl ağırlık deney formu

EK-3. Elek analizi ve hidrometre deney sonuçları

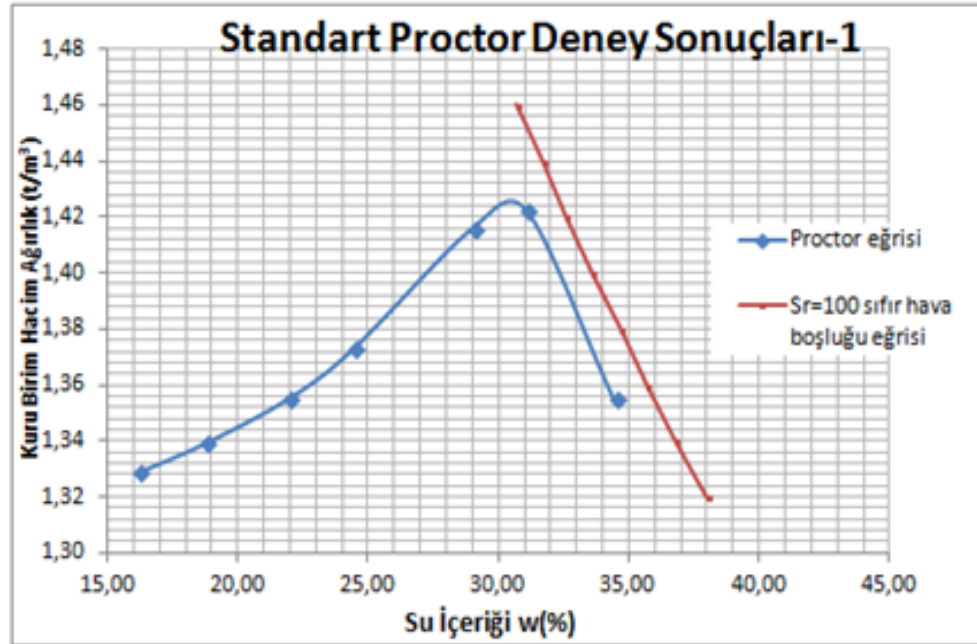
Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan Ağırlık (g)	Toplam Geçen Ağırlık (g)	Toplam Geçen Yüzde (%)
2 in (50.00)	0	960	100
1 in (25.00)	0	960	100
3/4 in (19.00)	0	960	100
3/8 in (9.50)	15.6	960	100
No:4 (4.75)	19.3	944	98
No:10 (2.00)	20.2	925	96
No:30 (0.600)	32.4	905	94
No:40 (4.25)	13.7	873	91
No:100 (0.150)	34.4	859	89
No:200 (0.075)	21.7	824	86



Şekil 3.1. Elek analizi deney formu

EK-4. Standart ve Modifiye proctor deney sonuçları

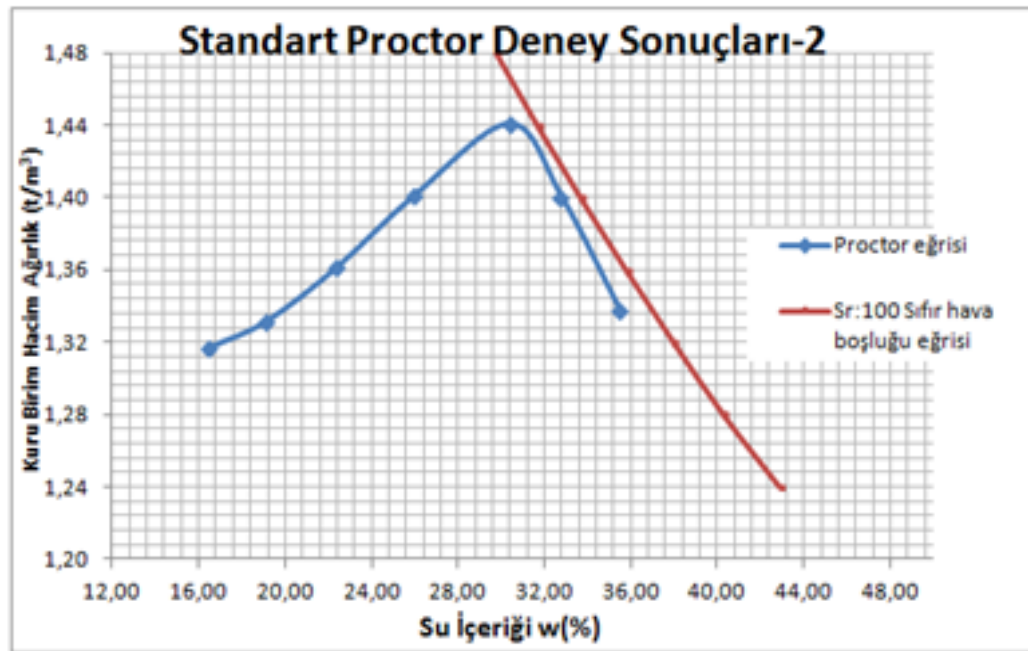
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş				
	2.49	3	56				
Kuru Birim Ağırlığın Saptanması							
Kalıp çapı (cm):	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Kalıp yüksekliği (cm):	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4
Kalıp ağırlığı (g):	5980	5980	5980	5980	5980	5980	5980
Kalıp hacmi (cm ³):	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124
Kalıp + Yaş numune (g):	9260	9370	9500	9620	9890	9990	9850
Numune (g)	3280	3390	3520	3640	3910	4010	3870
Yaş birim hacim ağırlık $\gamma_{d,s}$	1.54	1.60	1.66	1.71	1.84	1.89	1.82
Kuru birim hacim ağırlık $\gamma_{d,d}$	1.33	1.34	1.36	1.38	1.43	1.44	1.36
Su içeriğinin Saptanması							
Kap No:	40	16	5	42	49	6	67
Kap ağırlığı(g):	76.60	75.00	89.20	81.60	89.70	90.70	74.00
Kap + Yaş numune(g):	187.80	195.10	277.60	231.70	193.30	248.00	206.30
Kap + Kuru numune (g):	172.30	176.10	243.70	202.20	170.00	210.70	172.40
Su içeriği (g):	16.20	18.79	21.94	24.46	29.02	31.08	34.45
(1-n):	0.502	0.507	0.513	0.520	0.538	0.543	0.511
$\bar{n}$	0.498	0.493	0.487	0.480	0.462	0.457	0.489
Sr:	43.181	51.216	61.213	70.111	89.698	98.068	95.549



Şekil 4.1. Standart proctor deney formu

EK-4. (devam) Standart ve Modifiye proctor deney sonuçları

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş				
	2.49	3	56				
Kuru Birim Ağırlığın Saptanması							
Kalıp çapı (cm):	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Kalıp yüksekliği (cm):	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4
Kalıp ağırlığı (g):	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990
Kalıp hacmi (cm ³):	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124
Kalıp + Yaş numune (g):	9250	9360	9530	9740	9980	9940	9840
Numune (g)	3260	3370	3540	3750	3910	3990	3850
Yaş birim hacim ağırlık γ_{wv}	1,53	1,59	1,67	1,77	1,88	1,86	1,81
Kuru birim hacim ağırlık γ_{dv}	1,32	1,33	1,36	1,40	1,44	1,40	1,34
Su içeriğinin Saptanması							
Kap No:	7	26	35	31	48	6	67
Kap ağırlığı (g):	95,30	78,50	64,50	96,20	94,20	90,70	74,00
Kap + Yaş numune (g):	338,20	309,01	291,90	312,00	291,20	250,00	207,30
Kap + Kuru numune (g):	303,80	272,00	250,30	267,50	245,30	210,70	172,40
Su içeriği (g):	16,50	19,13	22,39	25,98	30,38	32,75	35,47
(1-n):	0,497	0,503	0,514	0,529	0,544	0,529	0,505
n:	0,503	0,497	0,486	0,471	0,456	0,471	0,495
Sr:	43,228	51,215	62,720	77,274	95,924	97,335	95,858

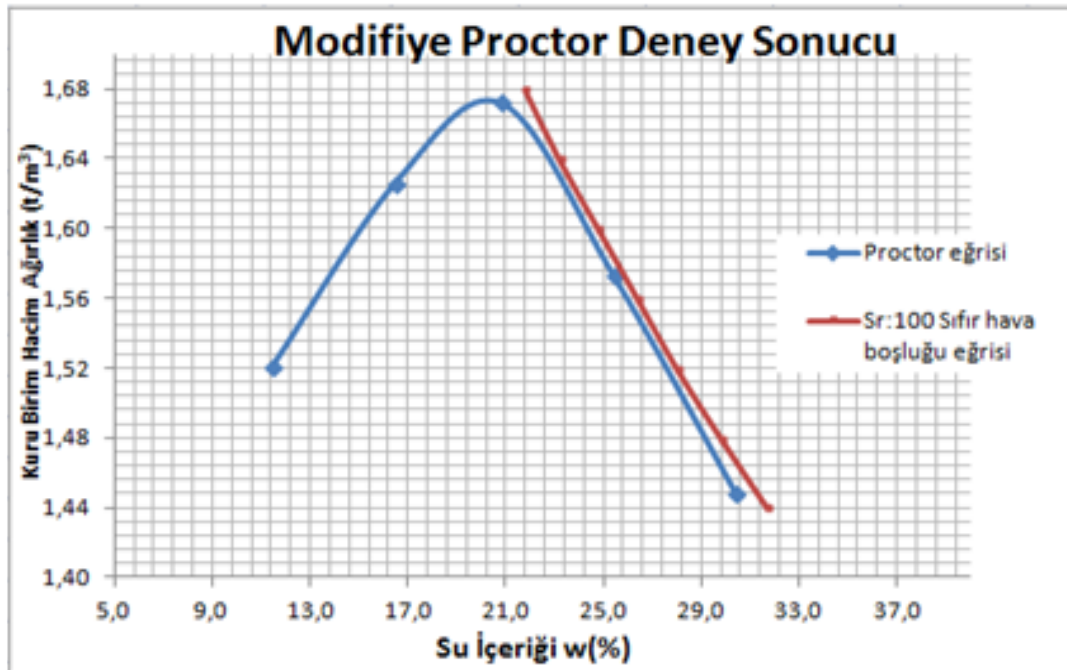


Şekil 4.2. Standart proctor deney formu

EK-4. (devam) Standart ve Modifiye proctor deney sonuçları

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş		
	4.54	5	56		
Kuru Birim Ağırlığın Saptanması					
Kalıp çapı (cm):	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Kalıp yüksekliği (cm):	116.4	116.4	116.4	116.4	116.4
Kalıp ağırlığı (g):	5970	5970	5970	5970	5970
Kalıp hacmi (cm ³):	2124	2124	2124	2124	2124
Kalıp + Yaş numune (g):	9250	9360	9530	9740	9980
Yaş birim hacim ağırlık γ_{wv} :	1,69	1,89	2,02	1,97	1,89
Kuru birim hacim ağırlık γ_{dv} :	1,52	1,63	1,67	1,57	1,45
Su içeriğinin Saptanması					
Kap No:	2.00	31.00	45.00	7.00	65.00
Kap ağırlığı(g):	98.30	96.20	95.80	95.40	79.50
Kap + Yaş numune(g):	241,20	237,10	259,50	275,40	347,80
Kap + Kuru numune (g):	226,50	217,20	231,30	238,90	285,30
Su içeriği (g):	11,47	16,45	20,81	25,44	30,37

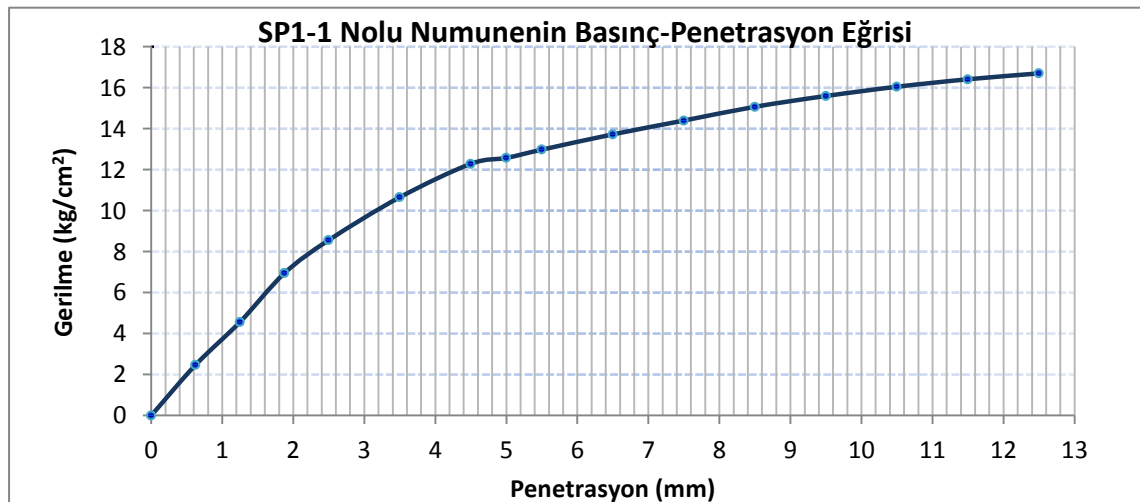
(1-n):	0,574	0,613	0,631	0,593	0,546
n:	0,426	0,387	0,369	0,407	0,454
Sr:	40,909	69,133	94,262	98,396	96,972



Şekil 4.3. Modifiye proctor deney formu

EK-5. CBR deney sonuçları

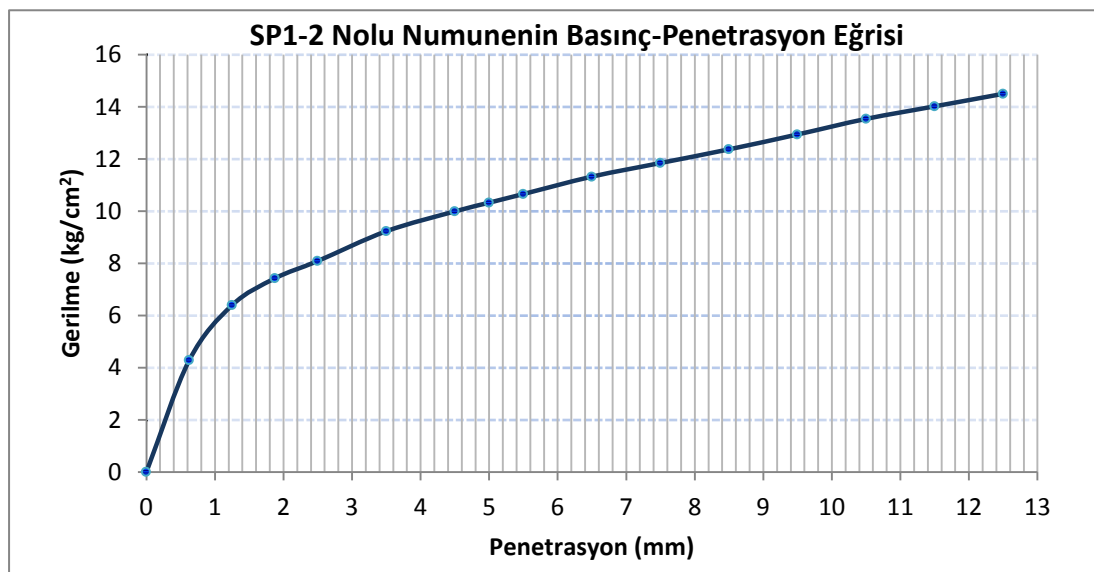
SP1-1 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:		31				
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)		1,52				
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})		32				
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		30,5	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi (cm ³)			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			9900				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			5680				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4220				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,99				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,52				
Su İçeriği w= %			31				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0,025	0,625	70		26	2,47		12,23
0,05	1,25			48	4,57		
0,075	1,875			73	6,94		
0,1	2,5			90	8,56		
0,14	3,5	105		111	10,65		11,97
0,18	4,5			128	12,29		
0,20	5			131	12,57		
0,22	5,5			135,2	12,98		
0,26	6,5			143	13,73		
0,30	7,5			150	14,40		
0,33	8,5			157	15,07		



Şekil 5.1. SP1-1 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

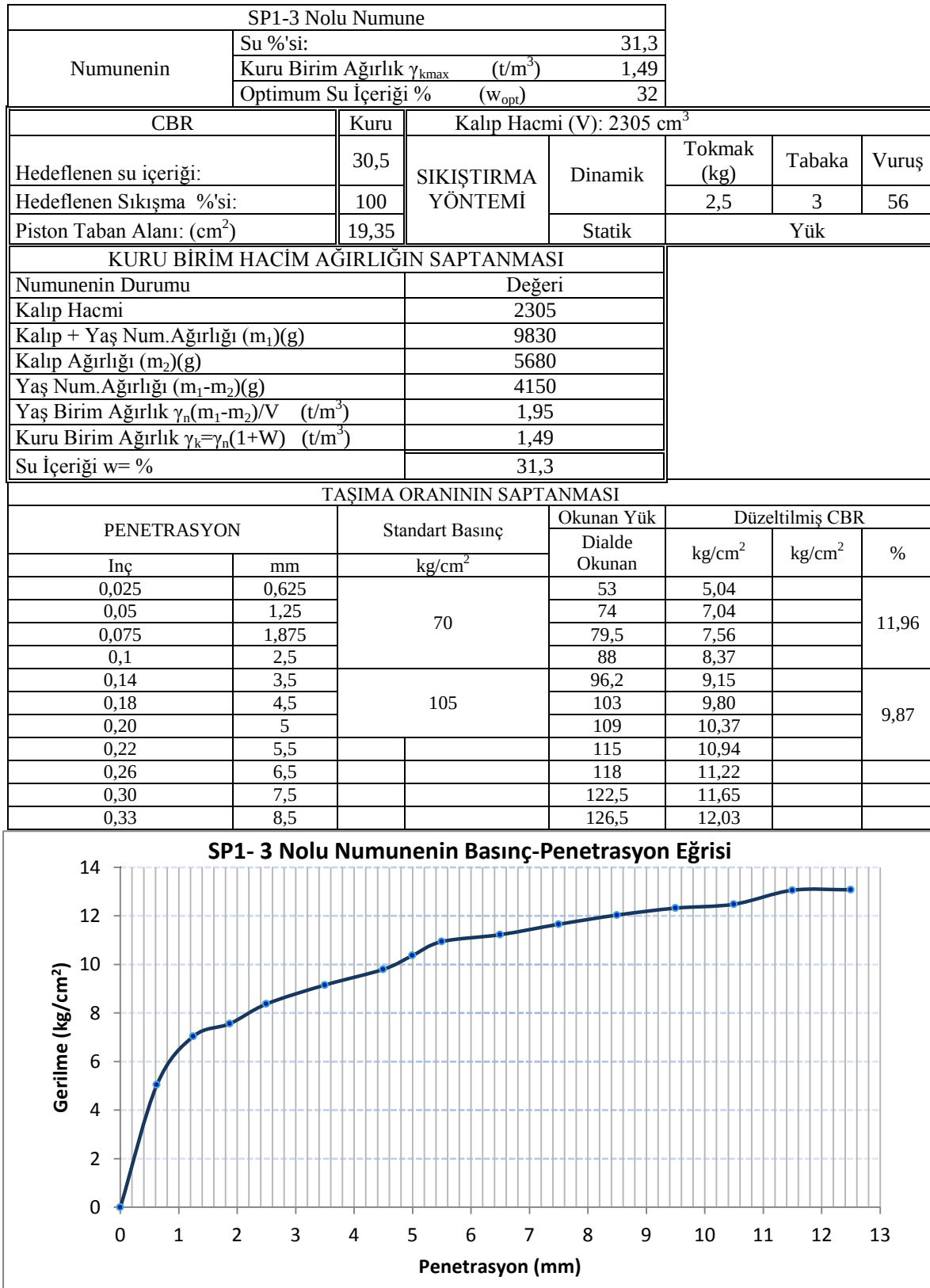
EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

SP1-2 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					31,5	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,49	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		30,5	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak(kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100		Statik	2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35			Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m_1)(g)			9850				
Kalıp Ağırlığı (m_2)(g)			5680				
Yaş Num.Ağırlığı (m_1-m_2)(g)			4170				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,96				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,49				
Su İçeriği w= %			31,5				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0,025	0,625	70		45	4,28		11,55
0,05	1,25			67,2	6,39		
0,075	1,875			78	7,42		
0,1	2,5			85	8,08		
0,14	3,5	105		97	9,23		9,83
0,18	4,5			105	9,99		
0,20	5			108,5	10,32		
0,22	5,5			112	10,65		
0,26	6,5			119	11,32		
0,30	7,5			124,5	11,84		
0,33	8,5			130	12,36		
0,37	9,5			136	12,94		



Şekil 5.2. SP1-2 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

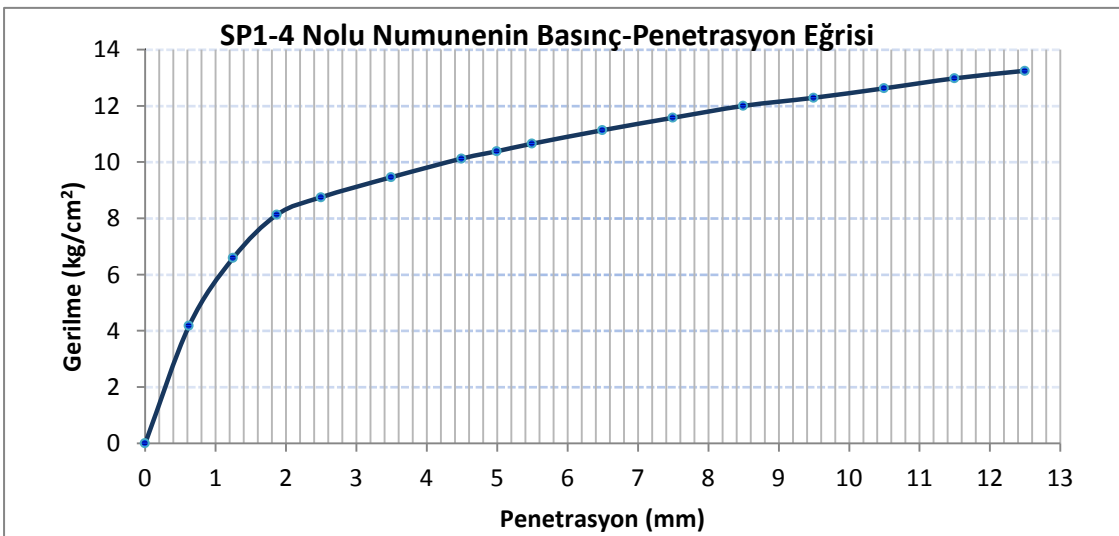
EK-5. (devam) CBR deney sonuçları



Şekil 5.3. SP1-3 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

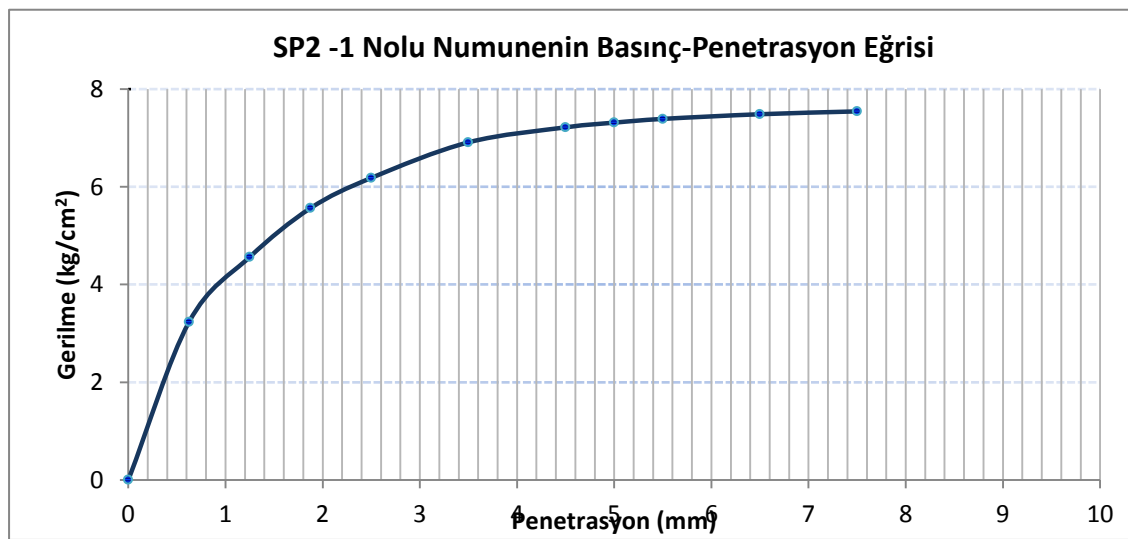
SP1-4 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					30,8	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,52	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		30,5	SİKİŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m_1)(g)			9920				
Kalıp Ağırlığı (m_2)(g)			5690				
Yaş Num.Ağırlığı (m_1 - m_2)(g)			4230				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1$ - m_2)/V (t/m ³)			1,99				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,52				
Su İçeriği w= %			30,8				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0,025	0,625	70		44	4,18		12,50
0,05	1,25			69,3	6,59		
0,075	1,875			85,5	8,13		
0,1	2,5			92	8,75		
0,14	3,5	105		99,5	9,46		9,89
0,18	4,5			105,5	10,13		
0,20	5			108,2	10,38		
0,22	5,5			111	10,65		
0,26	6,5			116	11,13		
0,30	7,5			120,6	11,58		
0,33	8,5			125	12,00		



Şekil 5.4. SP1-4 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

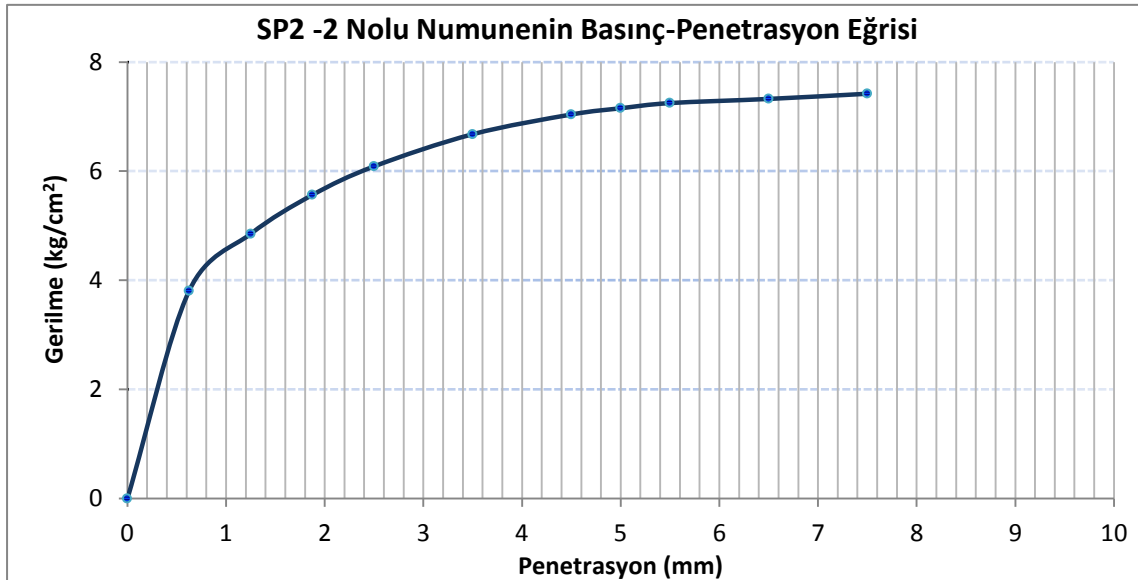
SP2 -1 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					33	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,50	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		34	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m_1)(g)			11570				
Kalıp Ağırlığı (m_2)(g)			7330				
Yaş Num.Ağırlığı (m_1-m_2)(g)			4240				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			2,00				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,50				
Su İçeriği w= %			33				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ² %	
0,025	0,625	70		34	3,23	8,83	
0,05	1,25			48	4,57		
0,075	1,875			58,5	5,56		
0,1	2,5			65	6,18		
0,14	3,5	105		72	6,91	6,97	
0,18	4,5			75,2	7,22		
0,20	5			76,2	7,31		
0,22	5,5			77	7,39		
0,26	6,5			78	7,49		
0,30	7,5			78,6	7,54		



Şekil 5.5. SP2-1 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

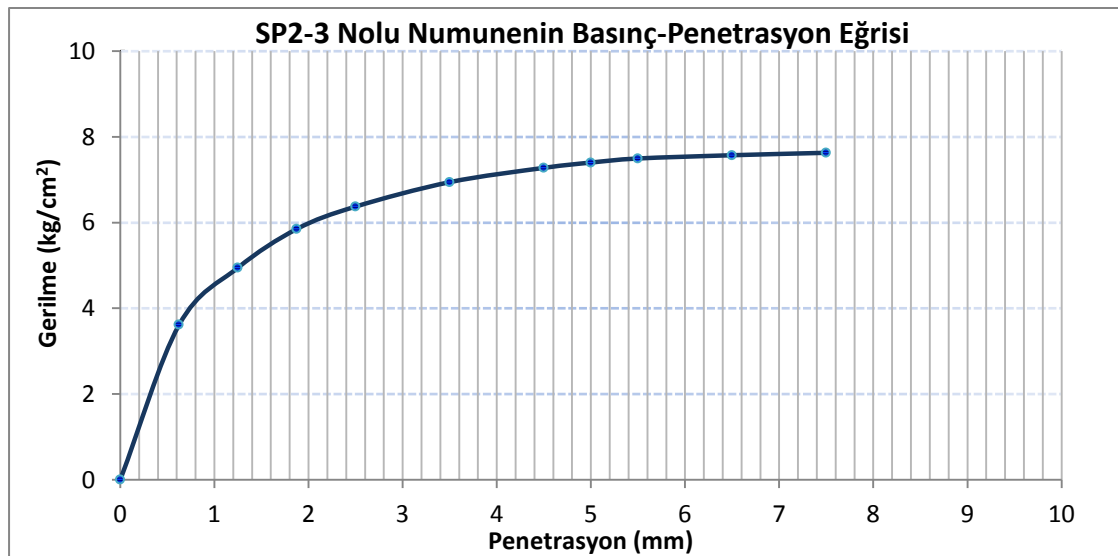
SP2 -2 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					33,2	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,48	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		34	SİKİŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11580					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7380					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4200					
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)		1,98					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1,48					
Su İçeriği w= %		33,2					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0,025	0,625	70		40	3,80		8,70
0,05	1,25			51	4,85		
0,075	1,875			58,5	5,56		
0,1	2,5			64	6,09		
0,14	3,5	105		70,2	6,68		6,81
0,18	4,5			74	7,04		
0,20	5			75,2	7,15		
0,22	5,5			76,2	7,25		
0,26	6,5			77	7,32		
0,30	7,5			78	7,42		
0,33	8,5			78,8	7,49		



Şekil 5.6. SP2-2 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

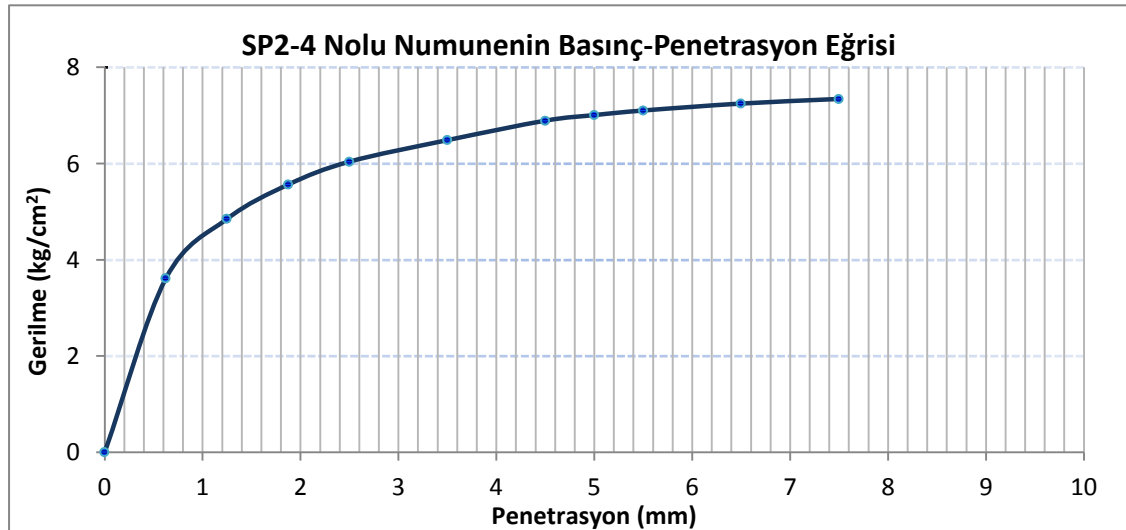
SP2-3 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					33	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,49	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		34	SİKİŞTİRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			11620				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			7420				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4200				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,98				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,49				
Su İçeriği w= %			33				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç	Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR			
			Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%	
Inç	mm	kg/cm ²					
0,025	0,625	70	38	3,61		9,10	
0,05	1,25		52	4,95			
0,075	1,875		61,5	5,85			
0,1	2,5		67	6,37			
0,14	3,5	105	73	6,94		7,05	
0,18	4,5		76,5	7,28			
0,20	5		77,8	7,40			
0,22	5,5		78,8	7,49			
0,26	6,5		79,6	7,57			
0,30	7,5		80,2	7,63			



Şekil 5.7. SP2-3 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

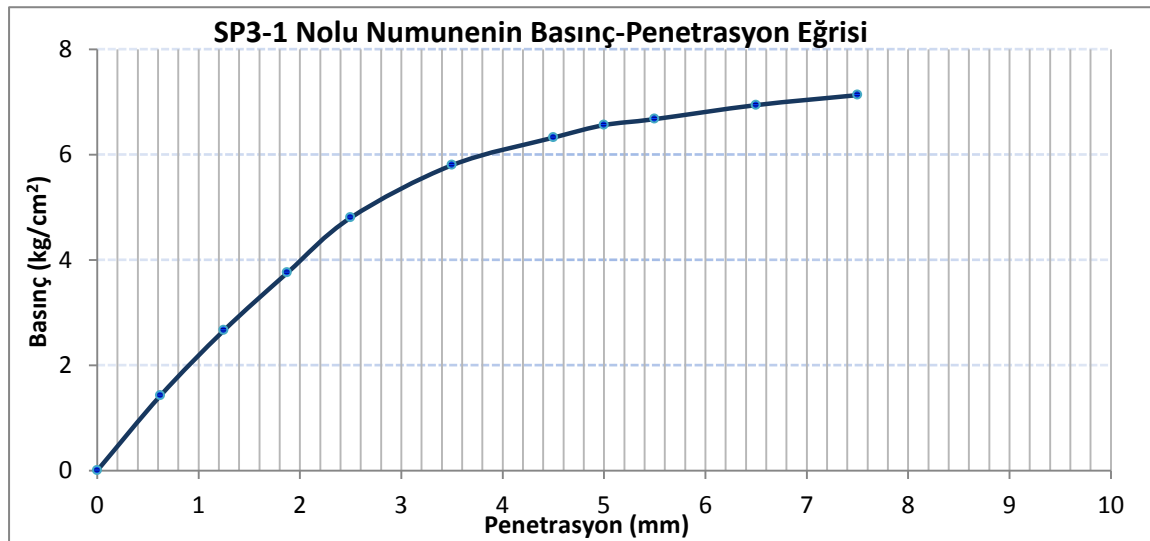
SP2-4 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					33,1	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,48	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		34	SİKİŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100		Statik	2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Yük			
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			11540				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			7360				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4180				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,97				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,48				
Su İçeriği w= %			32,8				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0,025	0,625	70		38	3,61		8,63
0,05	1,25			51	4,85		
0,075	1,875			58,5	5,56		
0,1	2,5			63,5	6,04		
0,14	3,5	105		68,2	6,49		6,67
0,18	4,5			71,8	6,89		
0,20	5			73	7,01		
0,22	5,5			74	7,10		
0,26	6,5			75,5	7,25		
0,30	7,5			76,5	7,34		



Şekil 5.8. SP2-4 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

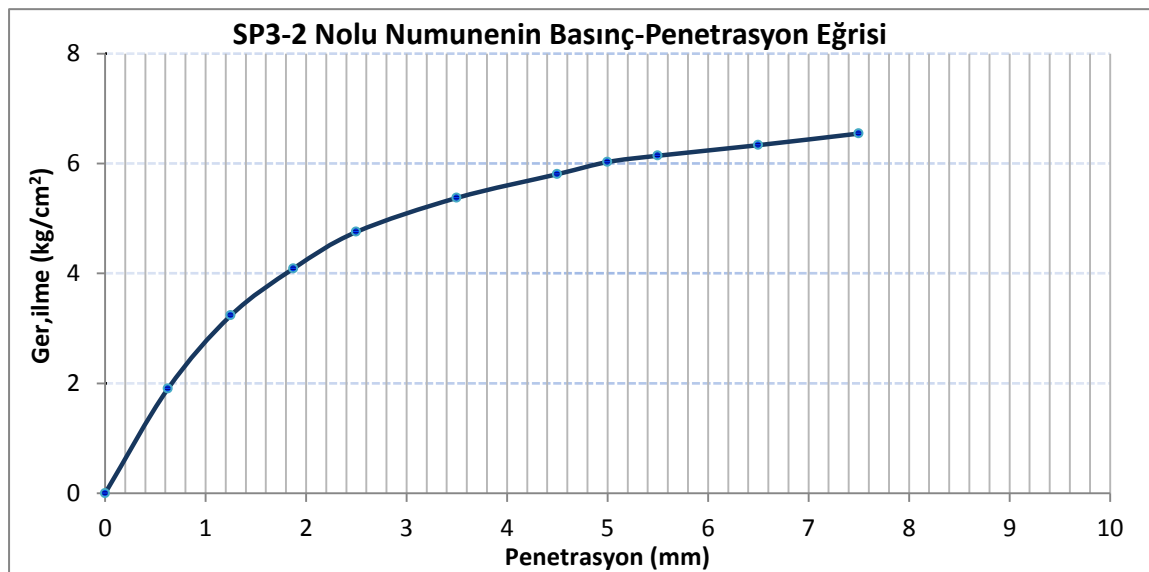
SP3-1 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:		35,8				
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)		1,46				
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})		32				
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		36	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			9900				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			5680				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4220				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,99				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,46				
Su İçeriği w= %			35,8				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0,025	0,625	70		15	1,43		6,86
0,05	1,25			28	2,66		
0,075	1,875			39,5	3,76		
0,1	2,5			50,5	4,80		
0,14	3,5	105		61	5,80		6,25
0,18	4,5			66,5	6,33		
0,20	5			69	6,56		
0,22	5,5			70,2	6,68		
0,26	6,5			73	6,94		
0,30	7,5			75	7,13		
0,33	8,5			74	7,04		



Şekil 5.9. SP3-1 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

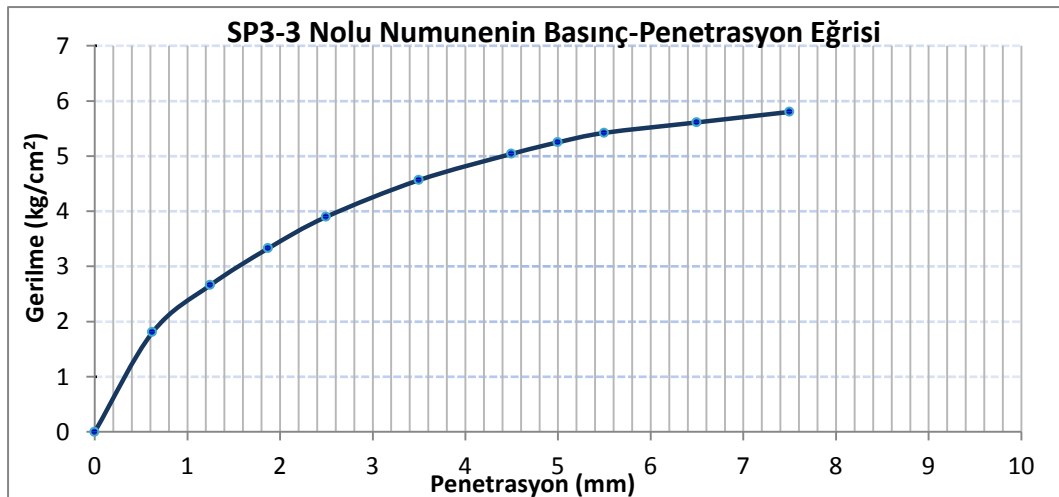
SP3-2 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:				35,8		
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)				1,45		
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})				32		
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		36	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			9870				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			5690				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4180				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,97				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,45				
Su İçeriği w= %			35,8				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0,025	0,625	70		20	1,90		6,79
0,05	1,25			34	3,23		
0,075	1,875			43	4,09		
0,1	2,5			50	4,76		
0,14	3,5	105		56	5,37		5,74
0,18	4,5			60,5	5,81		
0,20	5			62,8	6,03		
0,22	5,5				64	6,14	
0,26	6,5			66	6,33		
0,30	7,5			68,2	6,55		



Şekil 5.10. SP3-2 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

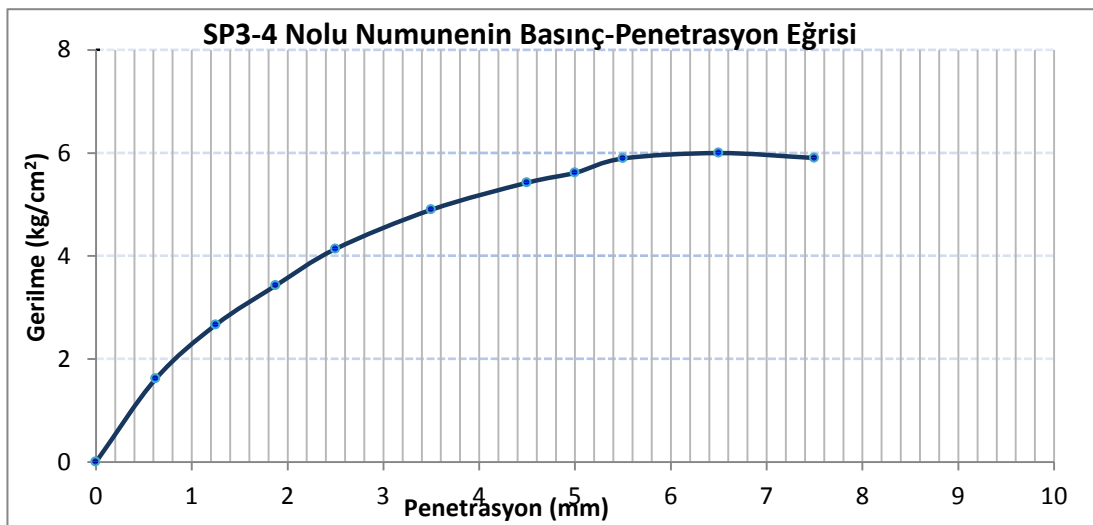
SP3-3 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:						35,4
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)						1,46
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})						32
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		36	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			9880				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			5690				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4190				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			1,97				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1,46				
Su İçeriği w= %			35,4				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0,025	0,625	70		19	1,81		5,57
0,05	1,25			28	2,66		
0,075	1,875			35	3,33		
0,1	2,5			41	3,90		
0,14	3,5	105		48	4,57		5,00
0,18	4,5			53	5,04		
0,20	5			55,2	5,25		
0,22	5,5				57	5,42	
0,26	6,5			59	5,61		



Şekil 5.11. SP3-3 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

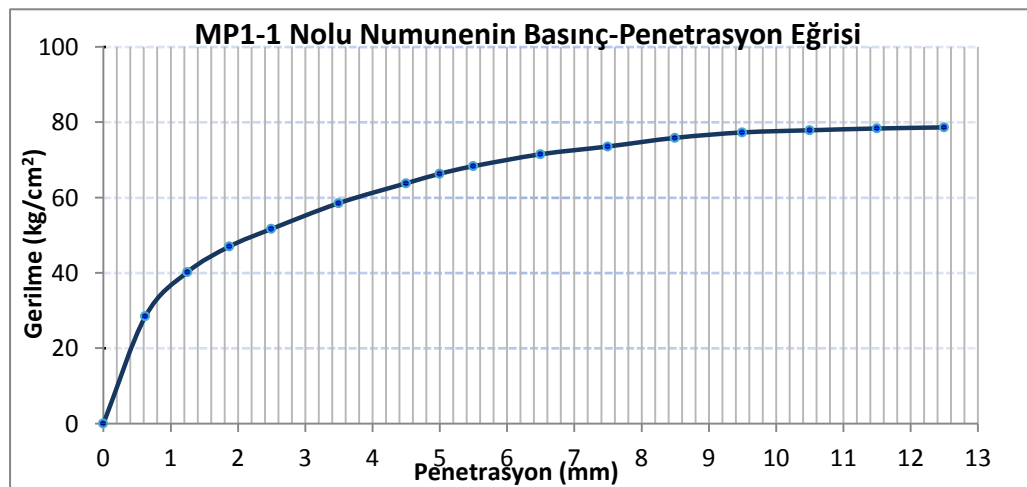
SP3-4 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					35,4	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1,40	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					32	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		36	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			2,5	3	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19,35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		9720					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		5690					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4030					
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)		1,90					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1,40					
Su İçeriği w= %		35,4					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²		17 28 36 43,5	1,62		5,91
0,025	0,625	70			2,66		
0,05	1,25				3,42		
0,075	1,875				4,14		
0,1	2,5			51,5 56,5 58,5	4,90		5,35
0,14	3,5	5,42					
0,18	4,5	5,61					
0,20	5	61,4	5,89				
0,22	5,5			62,5	6,00		
0,26	6,5			61,5	5,90		
0,30	7,5						



Şekil 5.12. SP3-4 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

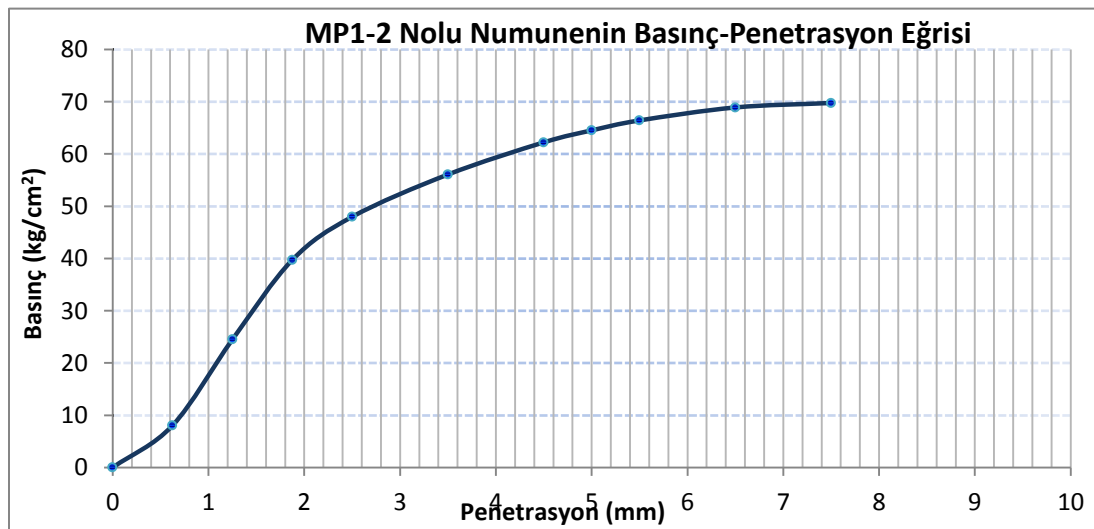
MP1-1 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					21	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.80	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		20,5	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		12030					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7400					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4630					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.18					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.80					
Su İçeriği w= %		21					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0.03	0.625	70		300	28.53		73.83
0.05	1.25			423	40.23		
0.08	1.875			490	47.03		
0.10	2.5			538	51.68		
0.14	3.5	105		612	58.53		63.15
0.18	4.5			667	63.79		
0.20	5			691	66.31		
0.22	5.5				712	68.32	
0.26	6.5			745	71.49		
0.30	7.5			770	73.56		
0.33	8.5			794	75.85		



Şekil 5.13. MP1-1 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

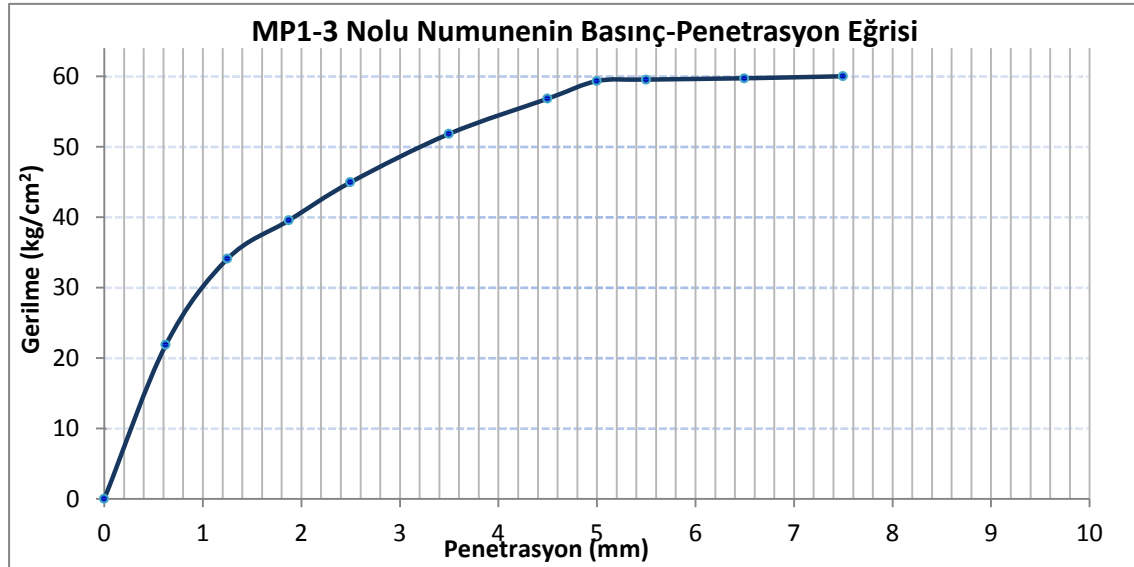
MP1-2 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					22	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.79	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		20,5	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			12010				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			7380				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4630				
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)			2.18				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1.79				
Su İçeriği w= %			21.4				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.03	0.625	70		84	8.06		68.54
0.05	1.25			267	25.65		
0.08	1.875			414	39.73		
0.10	2.5			500	47.98		
0.14	3.5	105		587	56.08		61.44
0.18	4.5			652	62.22		
0.20	5			676	64.51		
0.22	5.5			696	66.42		
0.26	6.5			722	68.90		
0.30	7.5			731	69.76		



Şekil 5.14. MP1-2 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

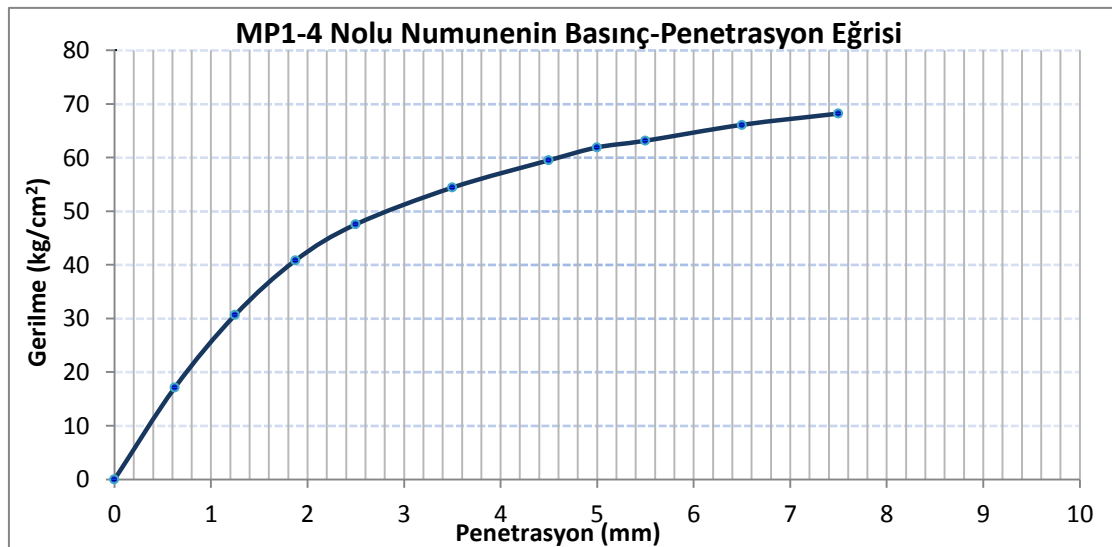
MP1-3 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:						21.8
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)						1.75
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})						21
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		20,5	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11900					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7380					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4520					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.13					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.75					
Su İçeriği w= %		21.8					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0.03	0.625	70		230	21.88		64.21
0.05	1.25			355	34.07		
0.08	1.875			412	39.54		
0.10	2.5			470	44.95		
0.14	3.5	105		540	51.82		56.48
0.18	4.5			592	56.81		
0.20	5			618	59.30		
0.22	5.5				623	59.51	
0.26	6.5			625	59.71		
0.30	7.5			628	59.99		
0.33	8.5			630	60.18		



Şekil 5.15. MP1-3 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

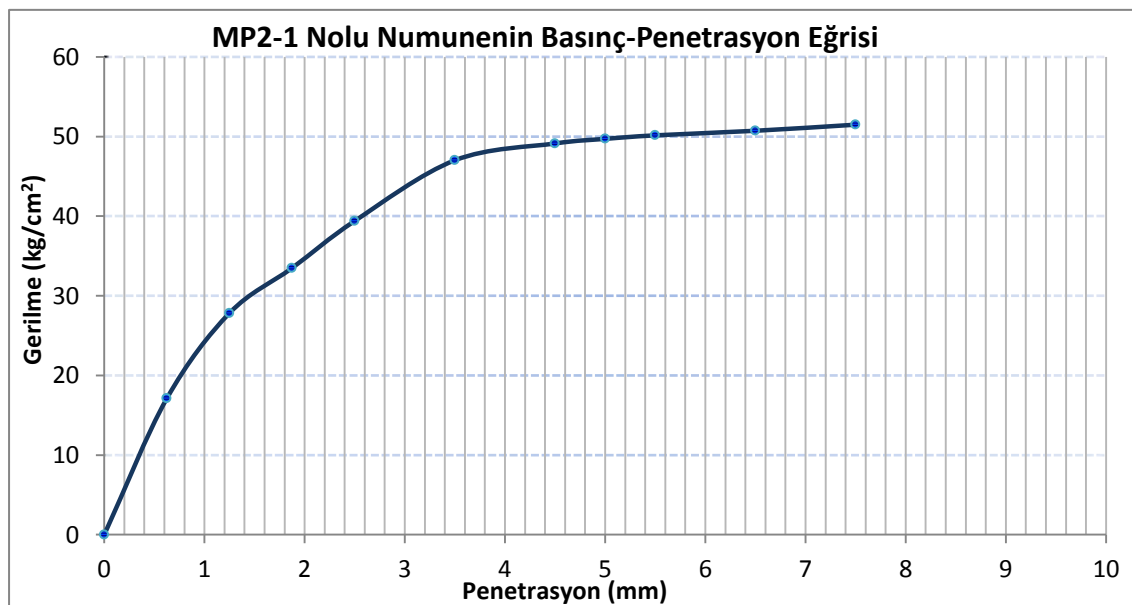
MP1-4 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					22	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.78	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		20,5	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11970					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7370					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4600					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.17					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.78					
Su İçeriği w= %		22					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²		180 319.2 425 495 567	17.12 30.66 40.83 47.55 54.41		67.93
0.03	0.625	70					
0.05	1.25						
0.08	1.875						
0.10	2.5						
0.14	3.5	105		620 645 661 692	59.50 61.90 63.15 66.11		58.95
0.18	4.5						
0.20	5						
0.22	5.5						
0.26	6.5			714	68.21		
0.30	7.5			724	69.16		
0.33	8.5						



Şekil 5.16. MP1-4 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

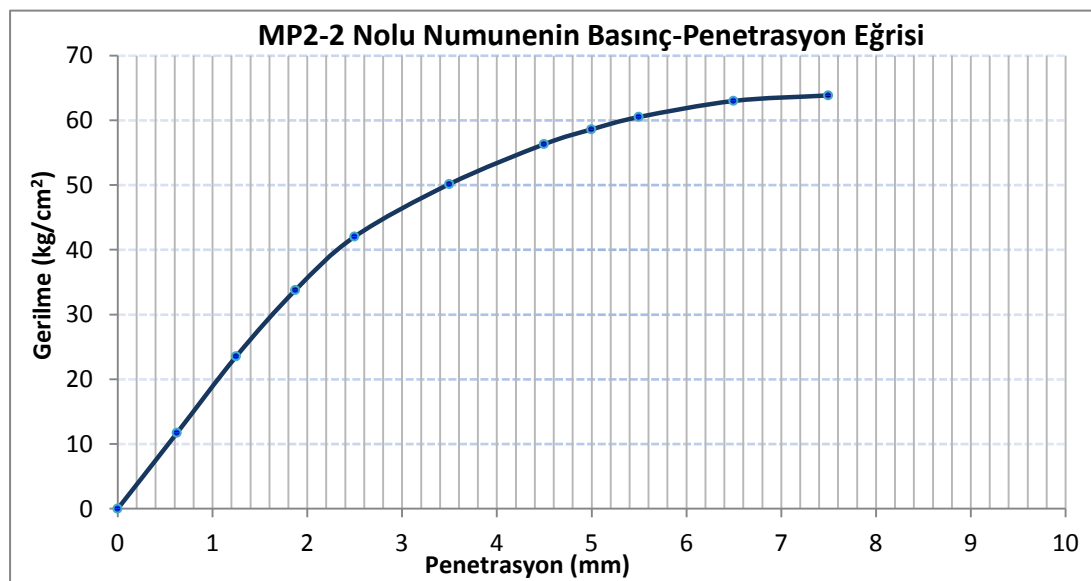
MP2-1 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					23.8	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.74	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		24	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11950					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7380					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4570					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.15					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.74					
Su İçeriği w= %		23.8					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0.03	0.625	70		180	17.12		56.29
0.05	1.25			290	27.83		
0.08	1.875			349	33.50		
0.10	2.5			412	39.40		
0.14	3.5	105		490	47.02		47.34
0.18	4.5			512	49.13		
0.20	5			518	49.71		
0.22	5.5				525	50.15	
0.26	6.5			531	50.73		
0.30	7.5			539	51.49		
0.33	8.5			546	52.16		



Şekil 5.17. MP2-1 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

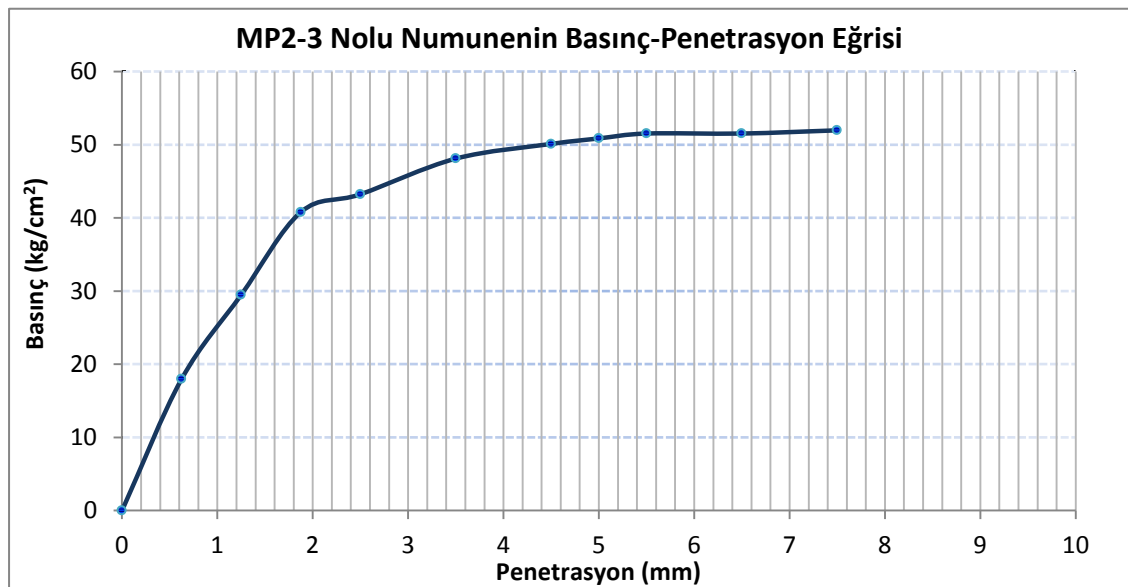
MP2-2 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					23.5	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.76	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		24	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			11990				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			7380				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4610				
Yaş Birim Ağırlık $\gamma_n(m_1-m_2)/V$ (t/m ³)			2.17				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1.76				
Su İçeriği w= %			23.5				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²					
0.03	0.625	70		122	11.71		60.04
0.05	1.25			245	23.54		
0.08	1.875			352	33.78		
0.10	2.5			438	42.03		
0.14	3.5	105		525	50.15		55.81
0.18	4.5			590	56.31		
0.20	5			614	58.60		
0.22	5.5				634	60.50	
0.26	6.5			660	62.99		



Şekil 5.18. MP2-2 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

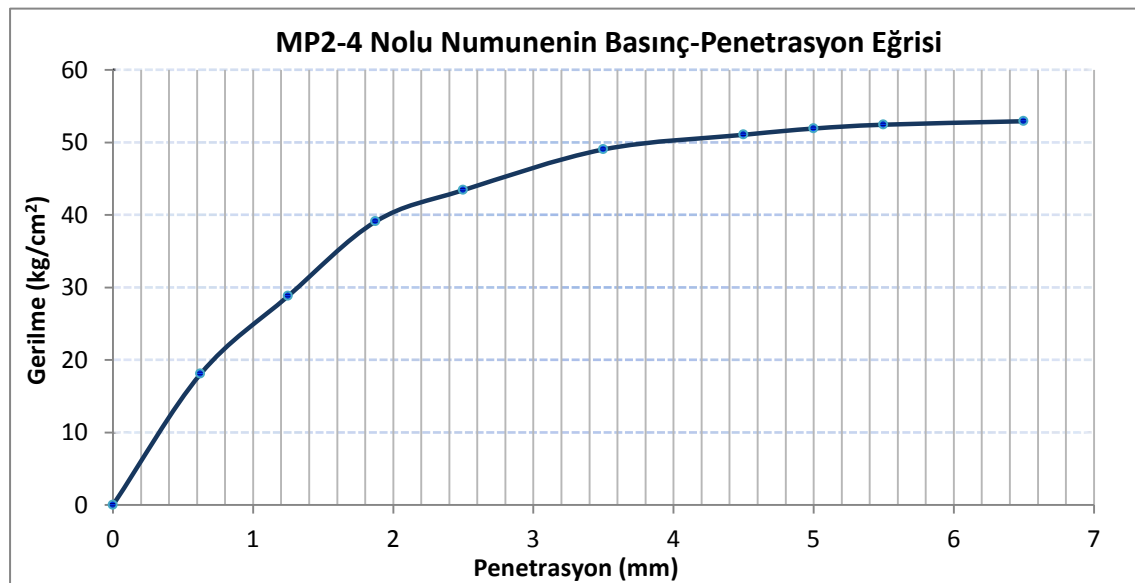
MP2-3 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					23.4	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.74	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		24	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11950					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7380					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4570					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.15					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.74					
Su İçeriği w= %		23.4					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²		189 310 425 450	17.98		61.76
0.03	0.625	70			29.48		
0.05	1.25				40.79		
0.08	1.875				43.23		
0.10	2.5	105		503	48.10		48.44
0.14	3.5			524	50.11		
0.18	4.5			530	50.86		
0.20	5			537	51.53		
0.22	5.5			541	51.53		
0.26	6.5			544	51.97		
0.30	7.5						



Şekil 5.19. MP2-3 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

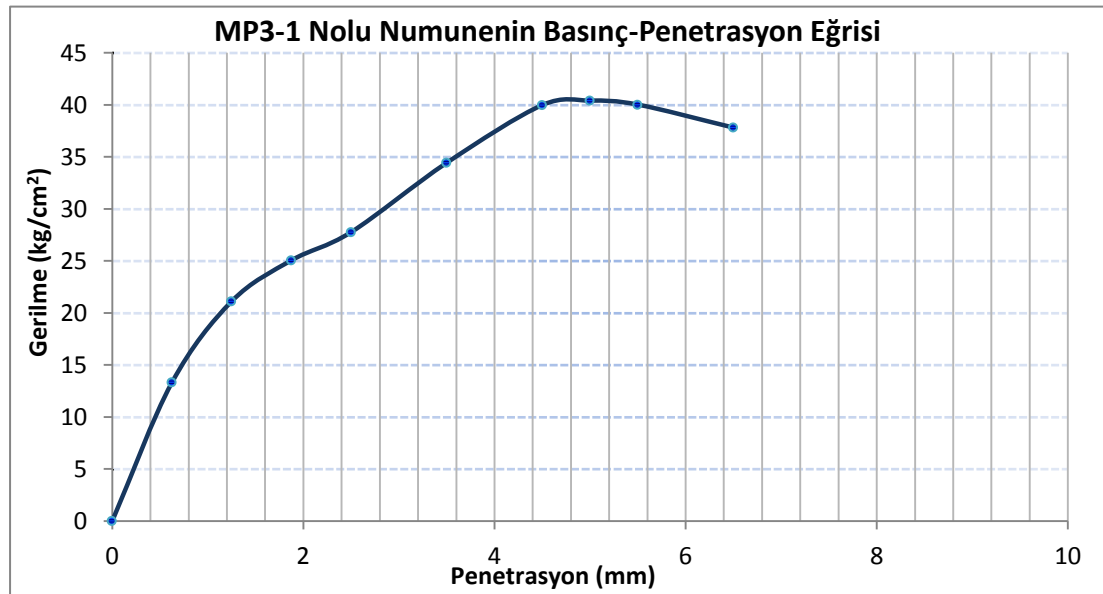
MP2-4 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					23.1	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.77	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		24	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100		4.5	5	56	
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)			12000				
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)			7380				
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)			4620				
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)			2.18				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1.77				
Su İçeriği w= %			23.1				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.03	0.625	70		190	18.07		62.03
0.05	1.25			300	28.82		
0.08	1.875			407	39.10		
0.10	2.5			452	43.42		
0.14	3.5	105		511	49.04		49.44
0.18	4.5			532	51.05		
0.20	5			541	51.92		
0.22	5.5				549	52.45	
0.26	6.5			554	52.92		



Şekil 5.20. MP2-4 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

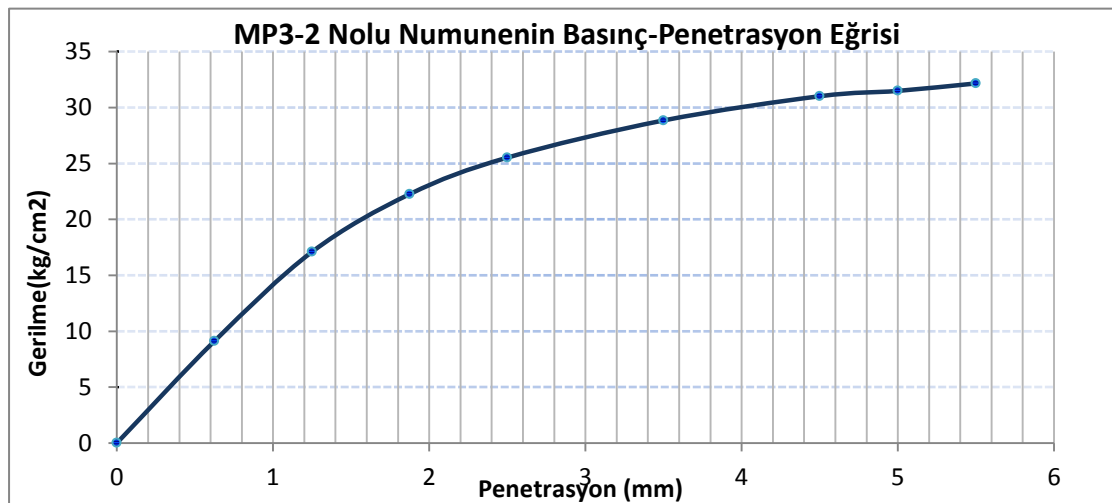
MP3-1 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					26	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.72	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		27	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m_1)(g)			11970				
Kalıp Ağırlığı (m_2)(g)			7370				
Yaş Num.Ağırlığı (m_1 - m_2)(g)			4600				
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m_1 - m_2)/V (t/m ³)			2.17				
Kuru Birim Ağırlık γ_k = γ_n (1+W) (t/m ³)			1.72				
Su İçeriği w= %			26				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	%	
0.03	0.625	70		140	13.32	39.66	
0.05	1.25			222	21.12		
0.08	1.875			261	25.05		
0.10	2.5			289	27.76		
0.14	3.5	105		360	34.43	38.48	
0.18	4.5			418	39.97		
0.20	5			421	40.40		
0.22	5.5			417	40.02		
0.26	6.5			394	37.81		



Şekil 5.21. MP3-1 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

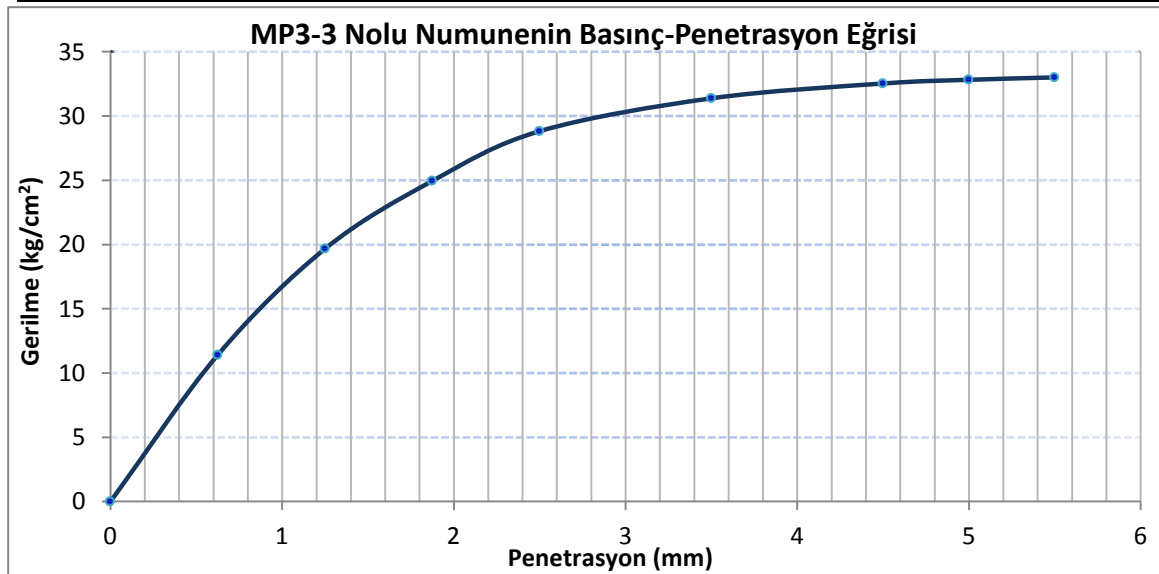
MP3-2 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					26	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.71	
	Optimum Su İçeriği % (w _{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		27	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11980					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7400					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4580					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.16					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.71					
Su İçeriği w= %		26					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç	Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR			
			Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%	
Inç	mm	kg/cm ²	70	95	9.12	36.47	
0.03	0.625	105		178	17.10		
0.05	1.25			232	22.26		
0.08	1.875			266	25.53		
0.10	2.5			302	28.85		
0.14	3.5	105	325	31.02	29.99		
0.18	4.5		330	31.49			
0.20	5		337	32.16			
0.22	5.5						



Şekil 5.22. MP3-2 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

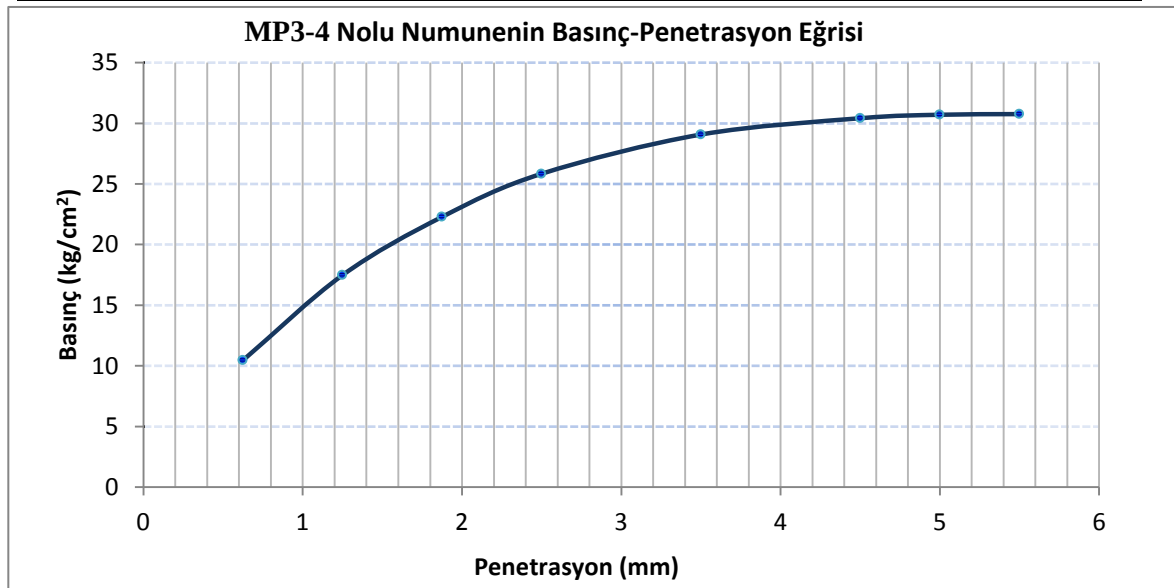
MP3-3 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					25.8	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.71	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		27	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu		Değeri					
Kalıp Hacmi		2305					
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m ₁)(g)		11950					
Kalıp Ağırlığı (m ₂)(g)		7370					
Yaş Num.Ağırlığı (m ₁ -m ₂)(g)		4580					
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m ₁ -m ₂)/V (t/m ³)		2.16					
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)		1.71					
Su İçeriği w= %		25.8					
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
				Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ²	%
Inç	mm	kg/cm ²		120 205 260 300	11.41		41.18
0.03	0.625	70			19.68		
0.05	1.25				24.95		
0.08	1.875				28.82		
0.10	2.5	105		327	31.38		31.26
0.14	3.5			339	32.53		
0.18	4.5			342	32.82		
0.20	5			345.5	33.01		
0.22	5.5						



Şekil 5.23. MP3-3 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

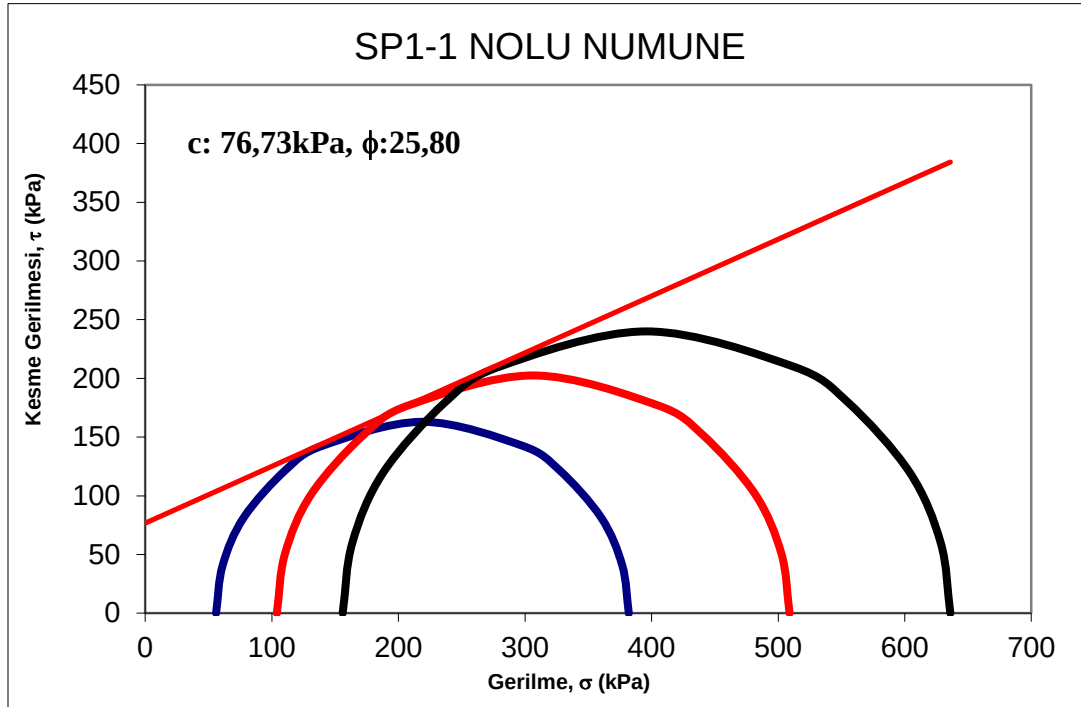
EK-5. (devam) CBR deney sonuçları

MP3-4 Nolu Numune							
Numunenin	Su %'si:					26.1	
	Kuru Birim Ağırlık γ_{kmax} (t/m ³)					1.70	
	Optimum Su İçeriği % (w_{opt})					21	
CBR		Kuru	Kalıp Hacmi (V): 2305 cm ³				
Hedeflenen su içeriği:		27	SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ	Dinamik	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş
Hedeflenen Sıkışma %'si:		100			4.5	5	56
Piston Taban Alanı: (cm ²)		19.35		Statik	Yük		
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI							
Numunenin Durumu			Değeri				
Kalıp Hacmi			2305				
Kalıp + Yaş Num.Ağırlığı (m_1)(g)			11950				
Kalıp Ağırlığı (m_2)(g)			7390				
Yaş Num.Ağırlığı (m_1 - m_2)(g)			4560				
Yaş Birim Ağırlık γ_n (m_1 - m_2)/V (t/m ³)			2.15				
Kuru Birim Ağırlık $\gamma_k=\gamma_n(1+W)$ (t/m ³)			1.70				
Su İçeriği w= %			26.1				
TAŞIMA ORANININ SAPTANMASI							
PENETRASYON		Standart Basınç		Okunan Yük	Düzeltilmiş CBR		
Inç	mm	kg/cm ²		Dialde Okunan	kg/cm ²	kg/cm ² %	
0.03	0.625	70		110	10.46	36.92	
0.05	1.25			182	17.48		
0.08	1.875			232	22.29		
0.10	2.5			269	25.84		
0.14	3.5	105		303	29.08	29.25	
0.18	4.5			317	30.42		
0.20	5			320	30.71		
0.22	5.5			322	30.76		

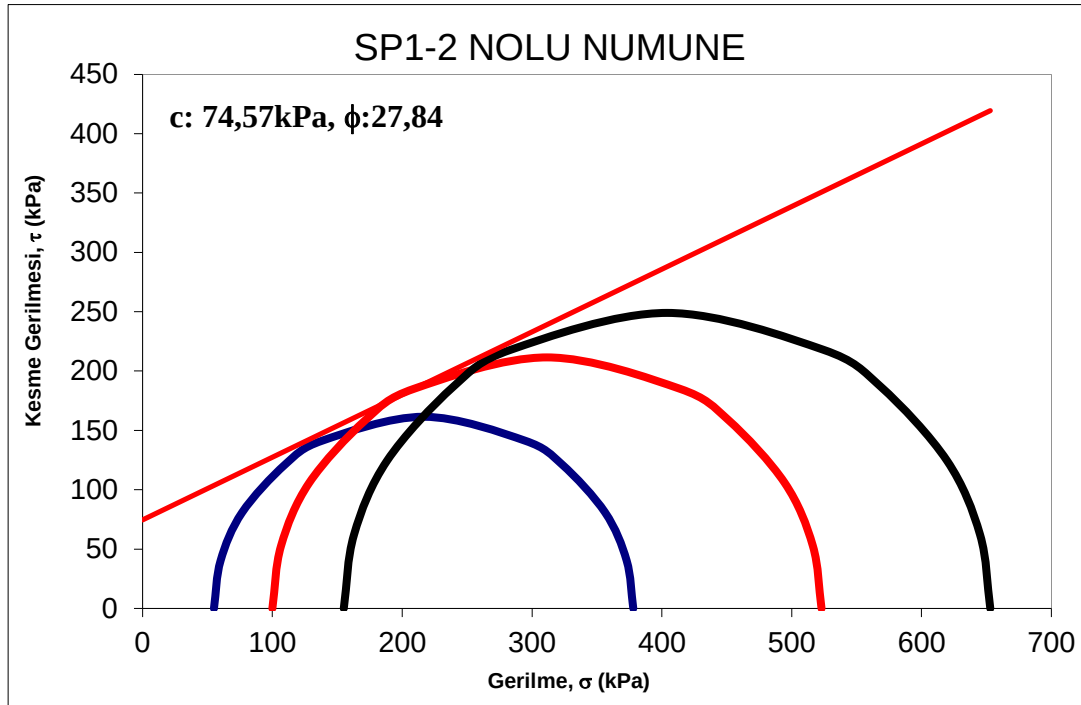


Şekil 5.24. MP3-4 nolu numunenin CBR sonuçları ve basınç-penetrasyon eğrisi

EK-6. Üç eksenli deney sonuçları

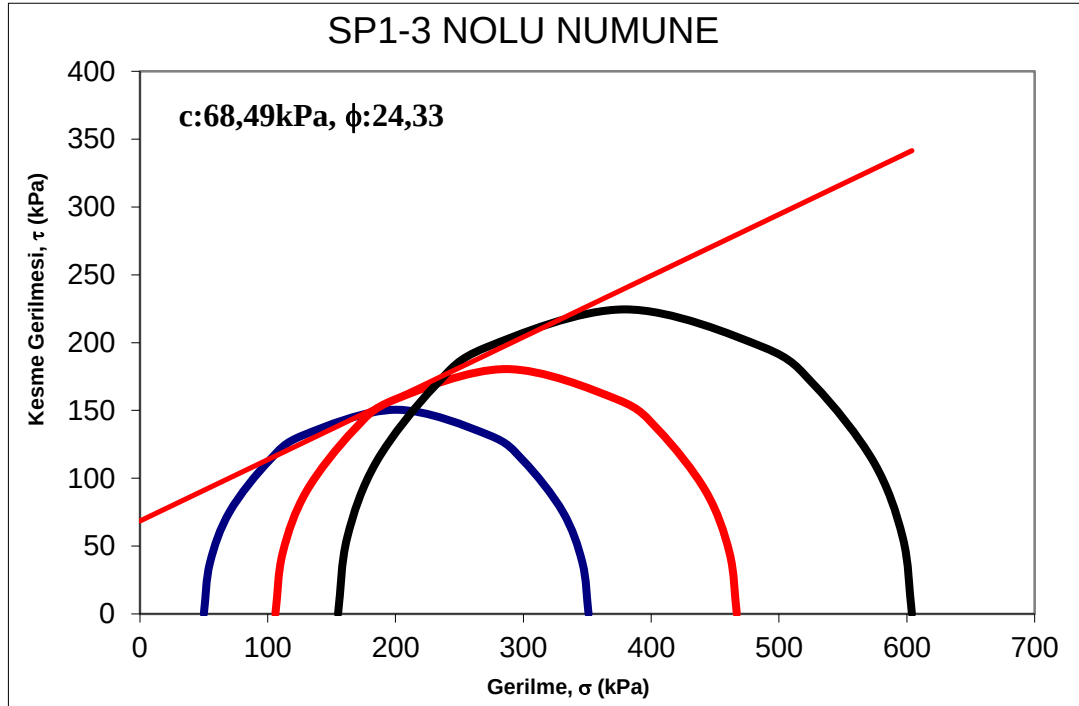


Şekil 6.1 SP1-1 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

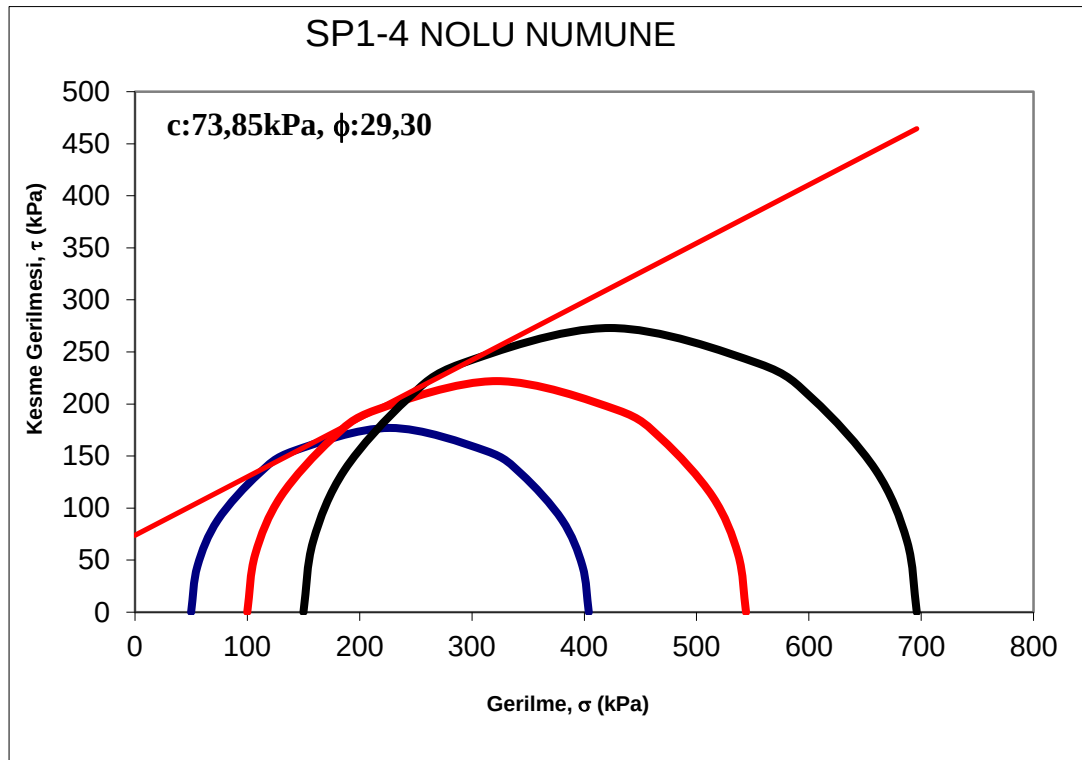


Şekil 6.2 SP1-2 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

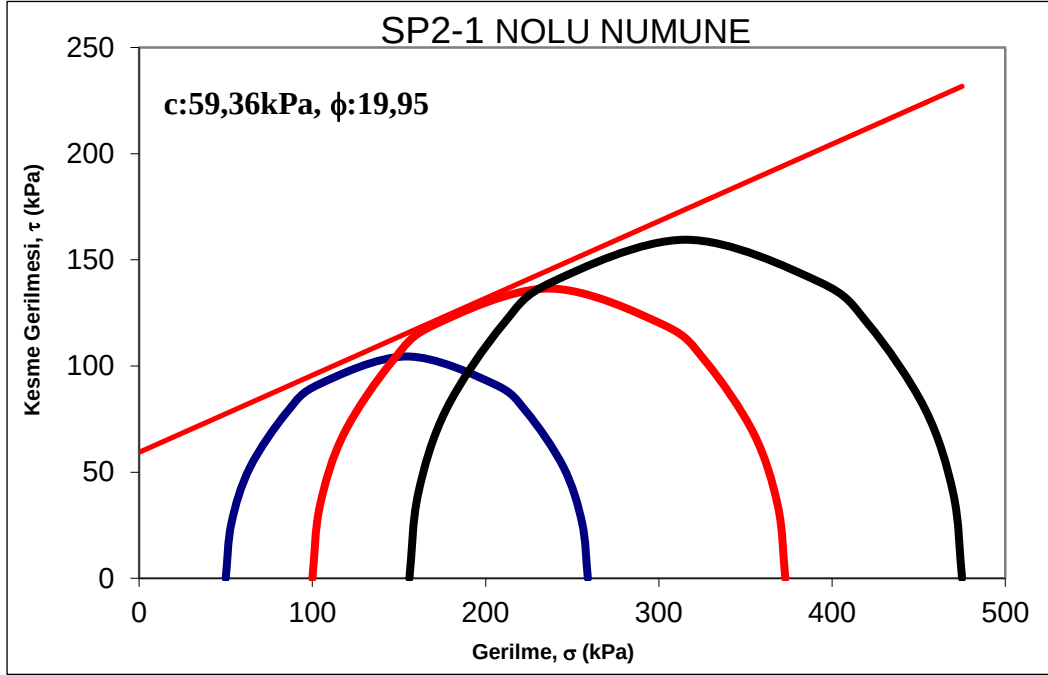


Şekil 6.3 SP1-3 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

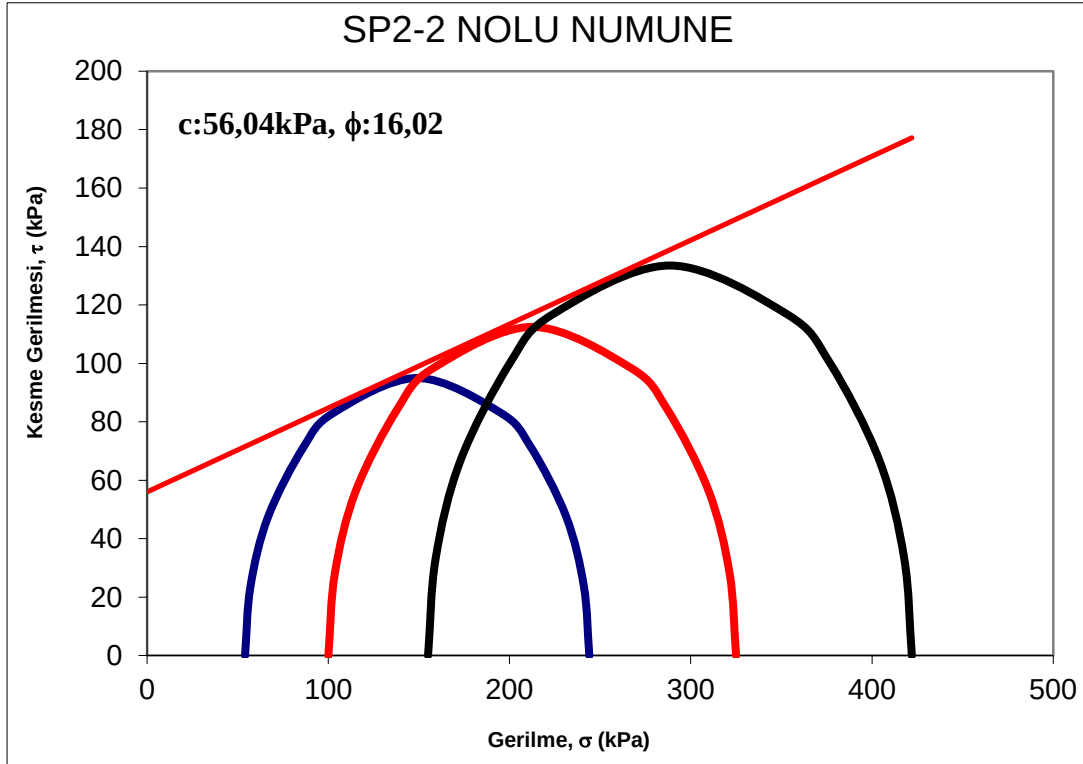


Şekil 6.4 SP1-4 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

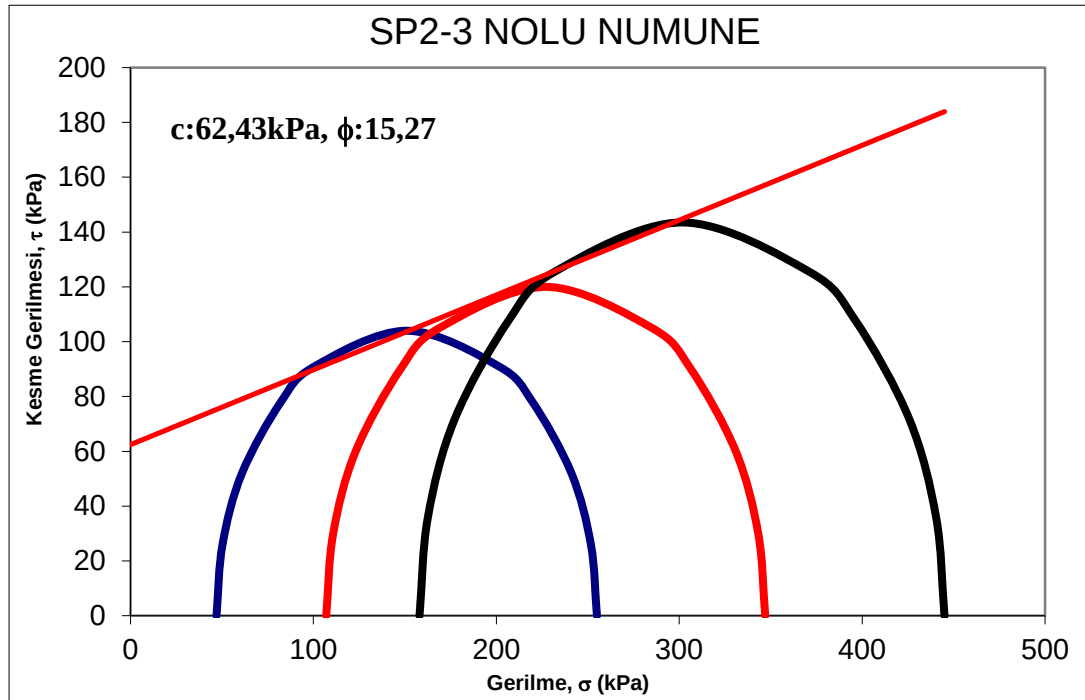


Şekil 6.5 SP2-1 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

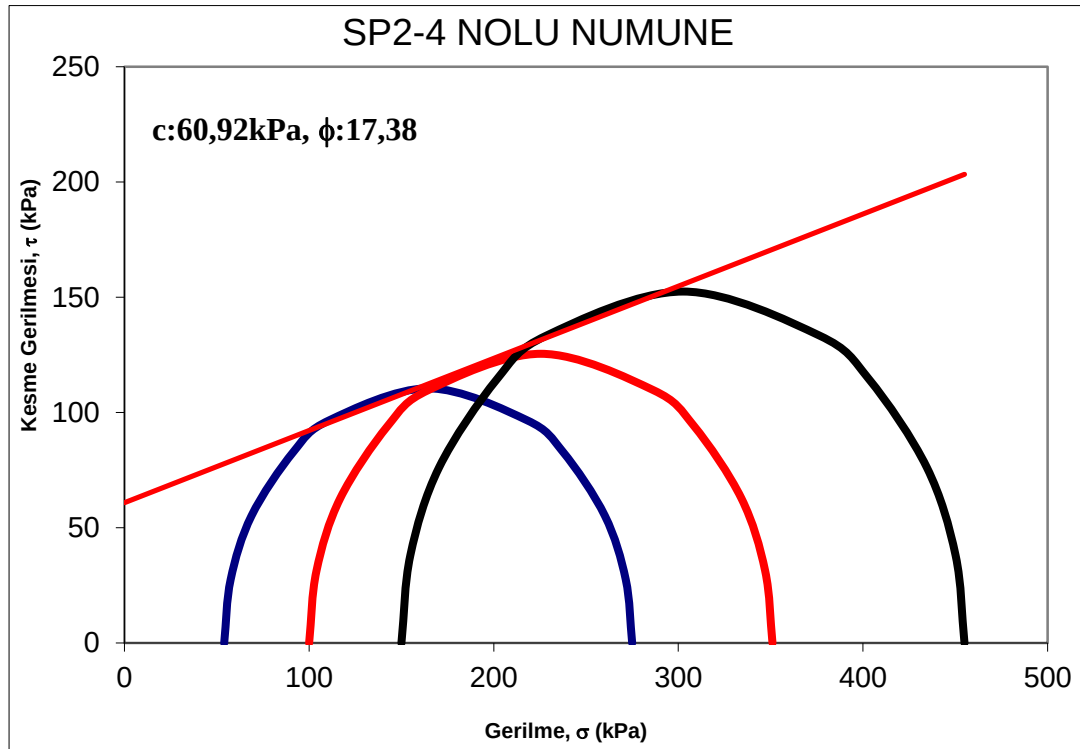


Şekil 6.6 SP2-2 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

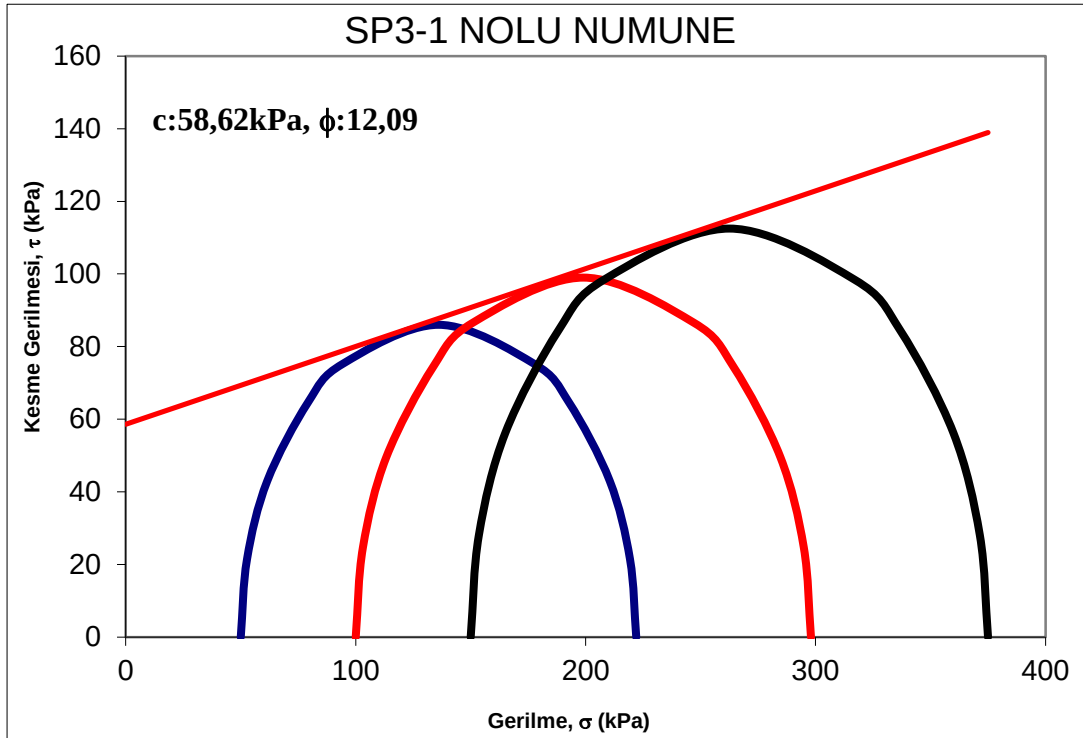


Şekil 6.7 SP2-3 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

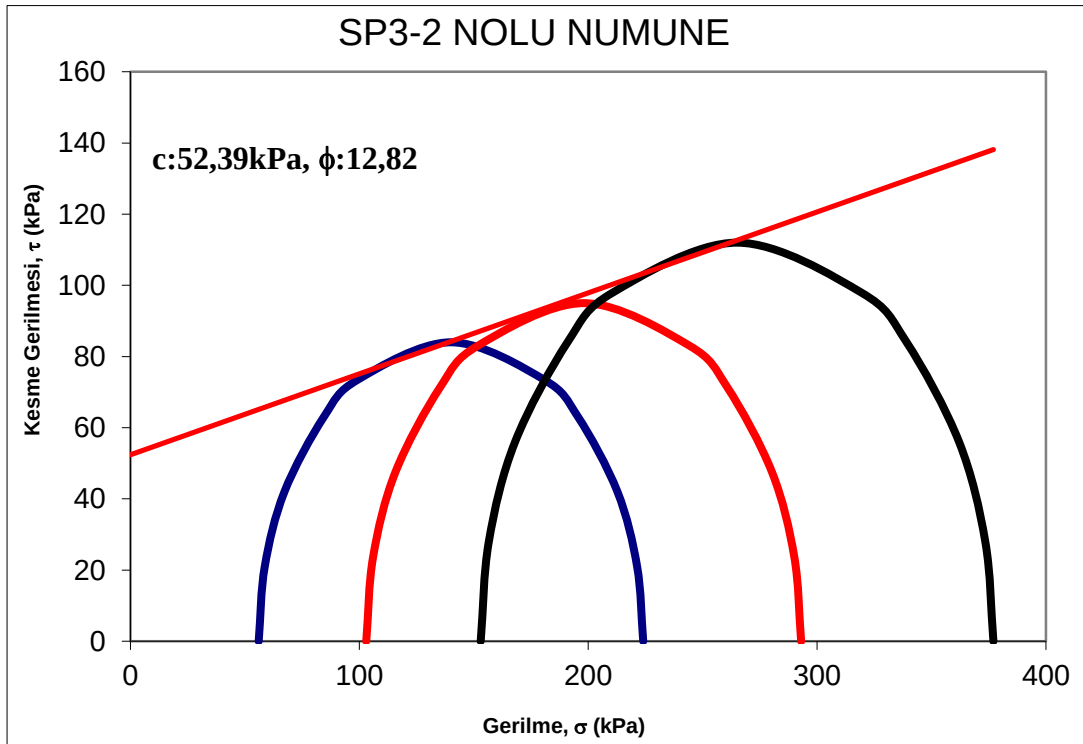


Şekil 6.8 SP2-4 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

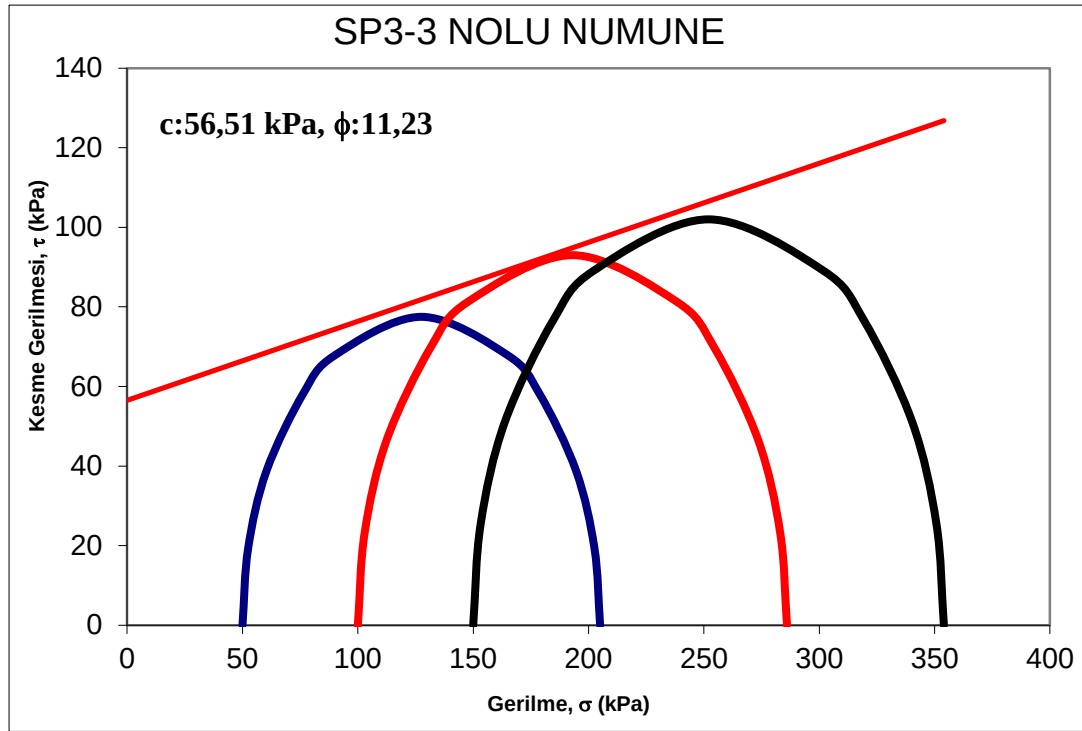


Şekil 6.9 SP3-1 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

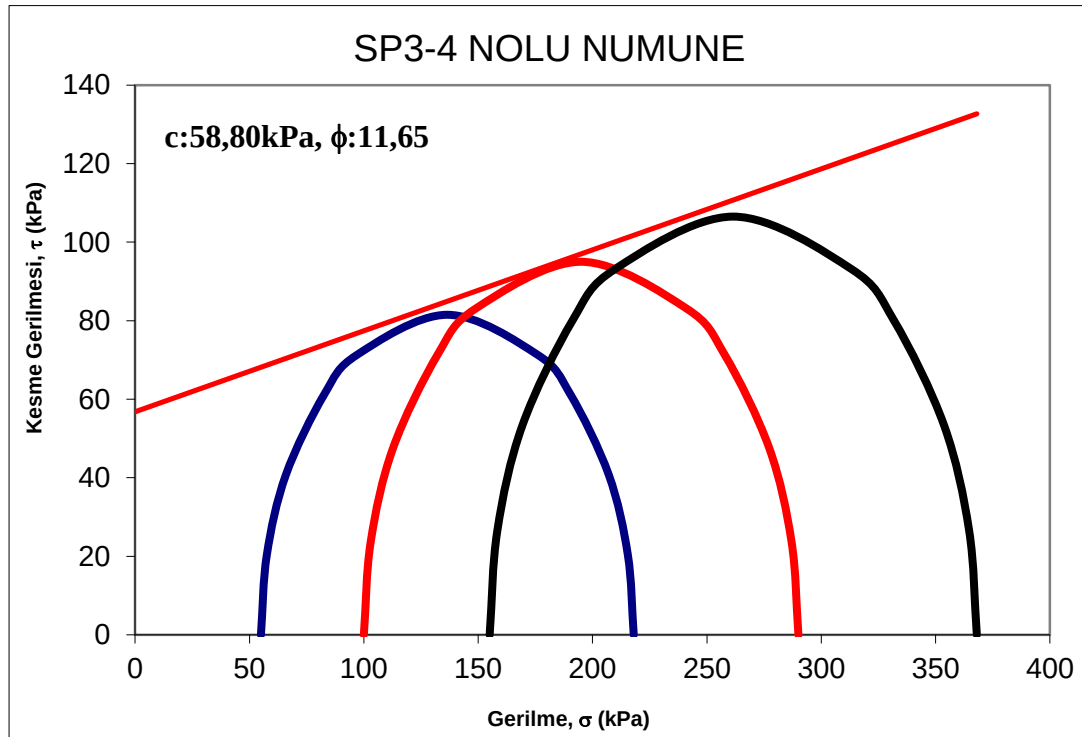


Şekil 6.10 SP3-2 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

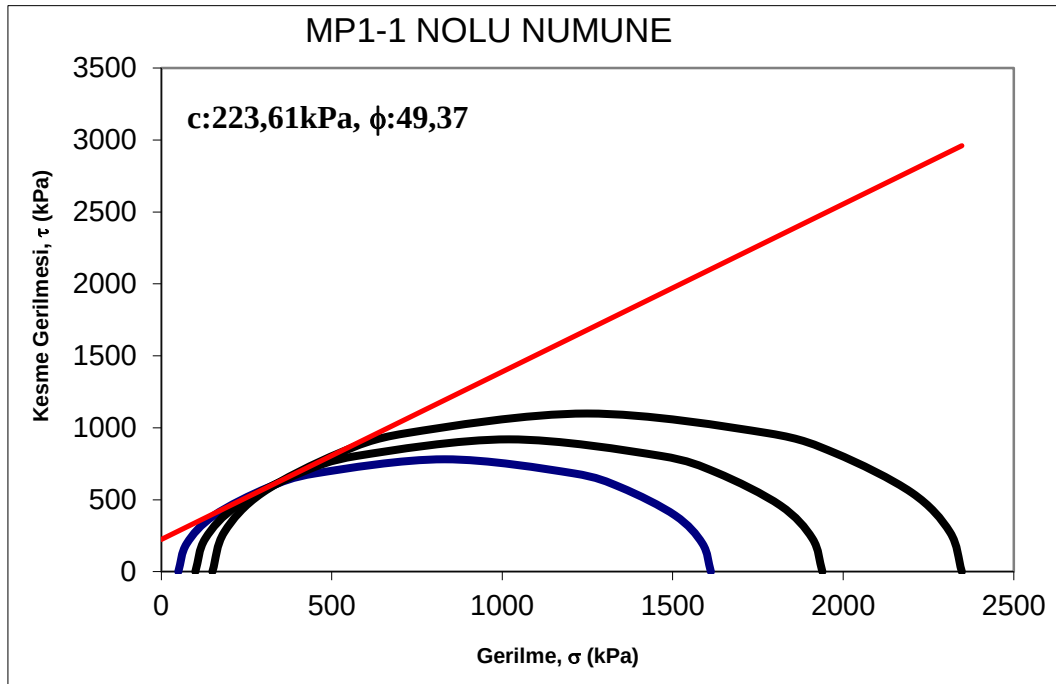


Şekil 6.11 SP3-3 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

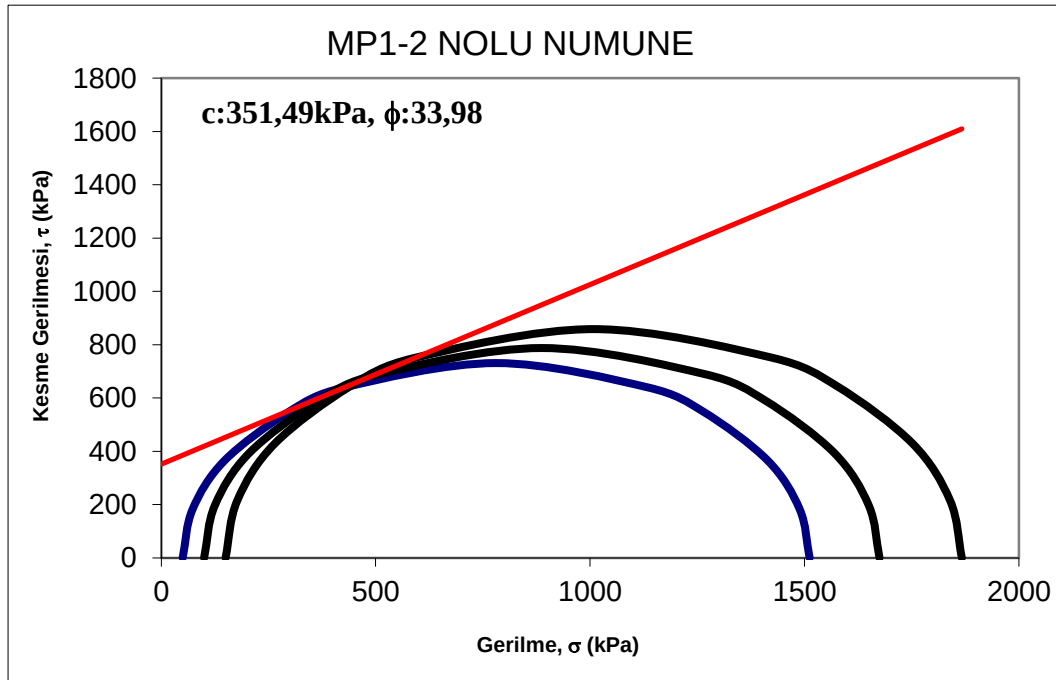


Şekil 6.12 SP3-4 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

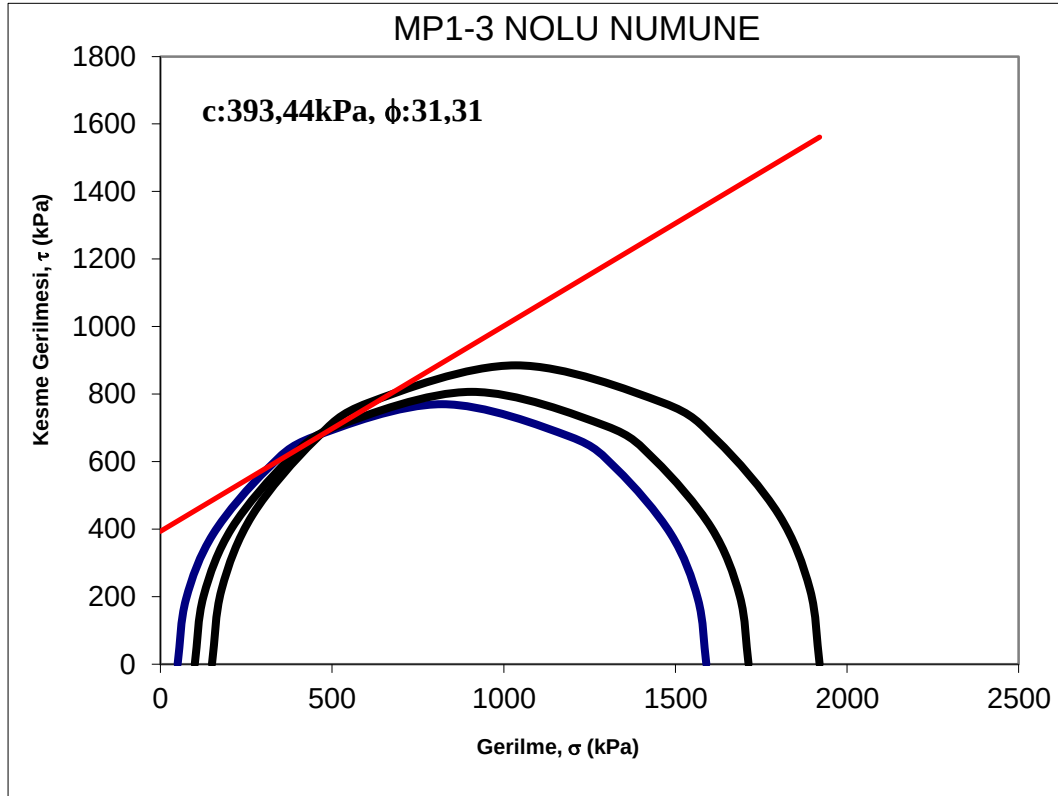


Şekil 6.13 MP1-1 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

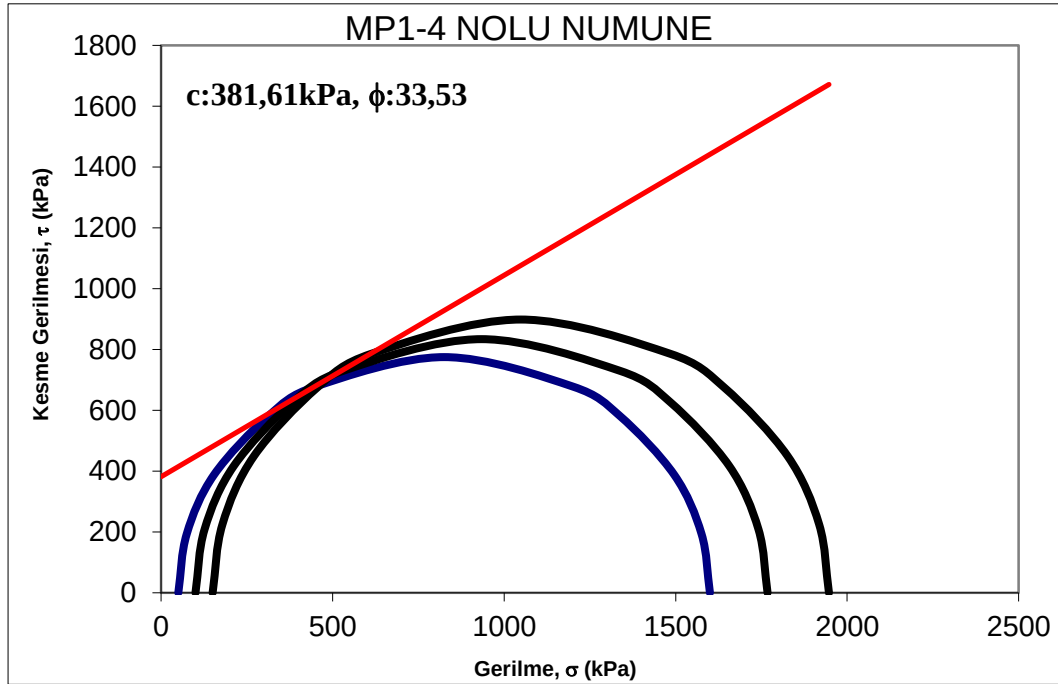


Şekil 6.14 MP1-2 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

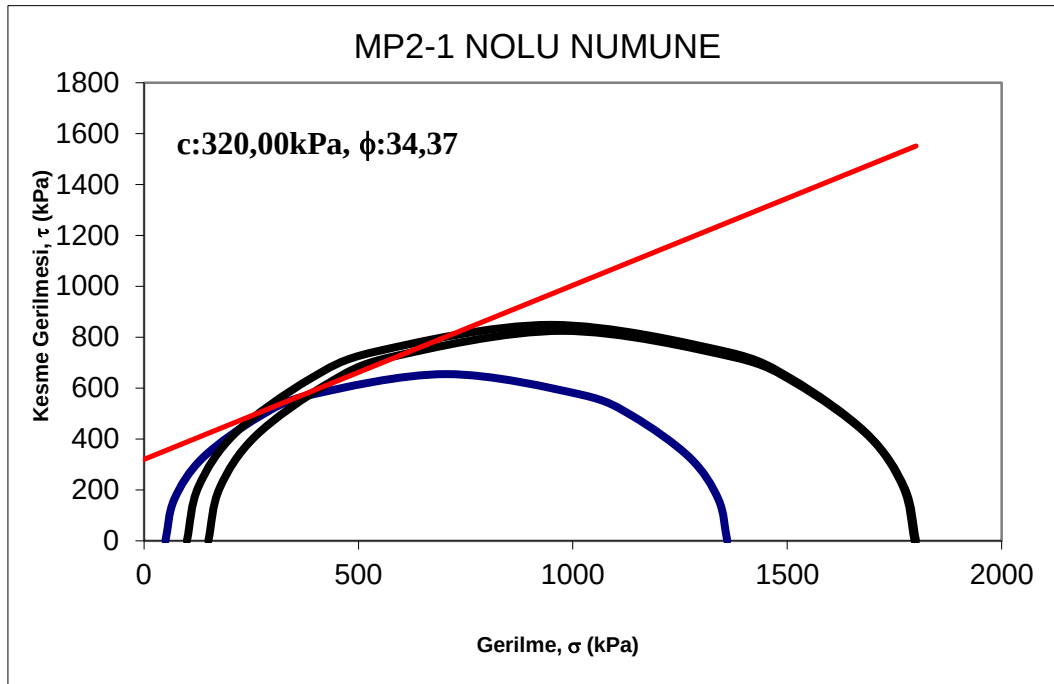


Şekil 6.15 MP1-3 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

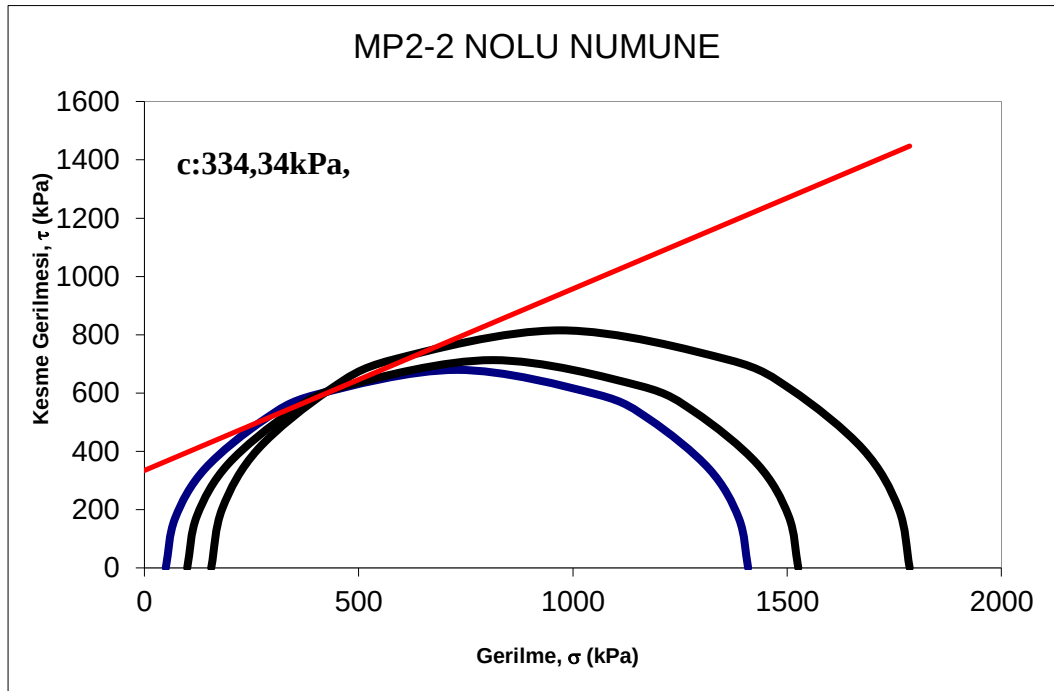


Şekil 6.16 MP1-4 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

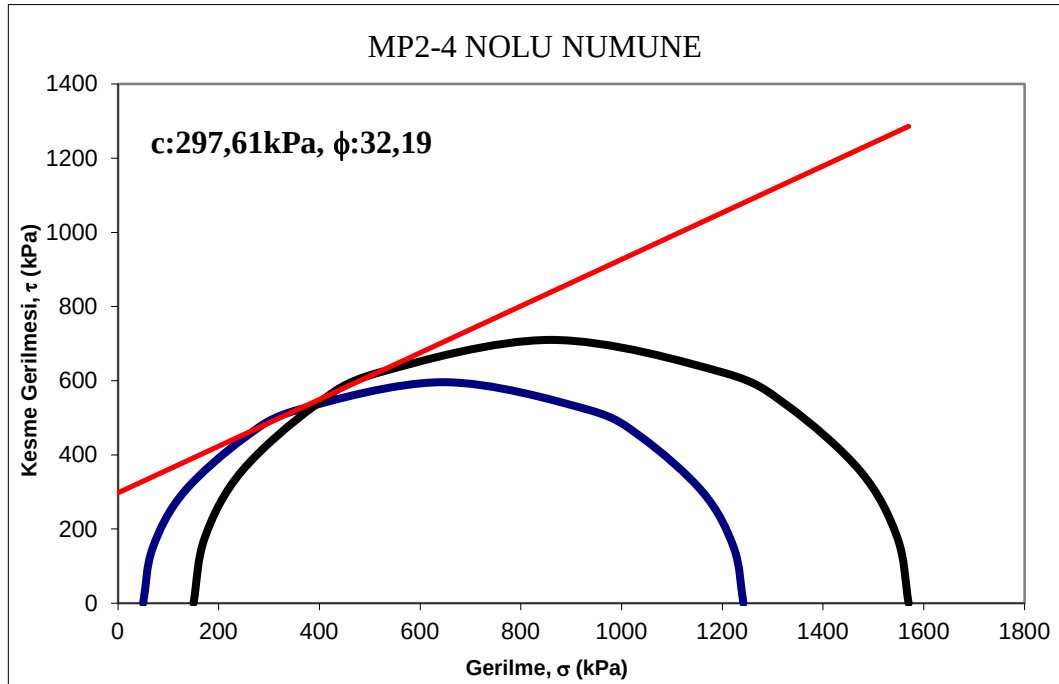


Şekil 6.17 MP2-1 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

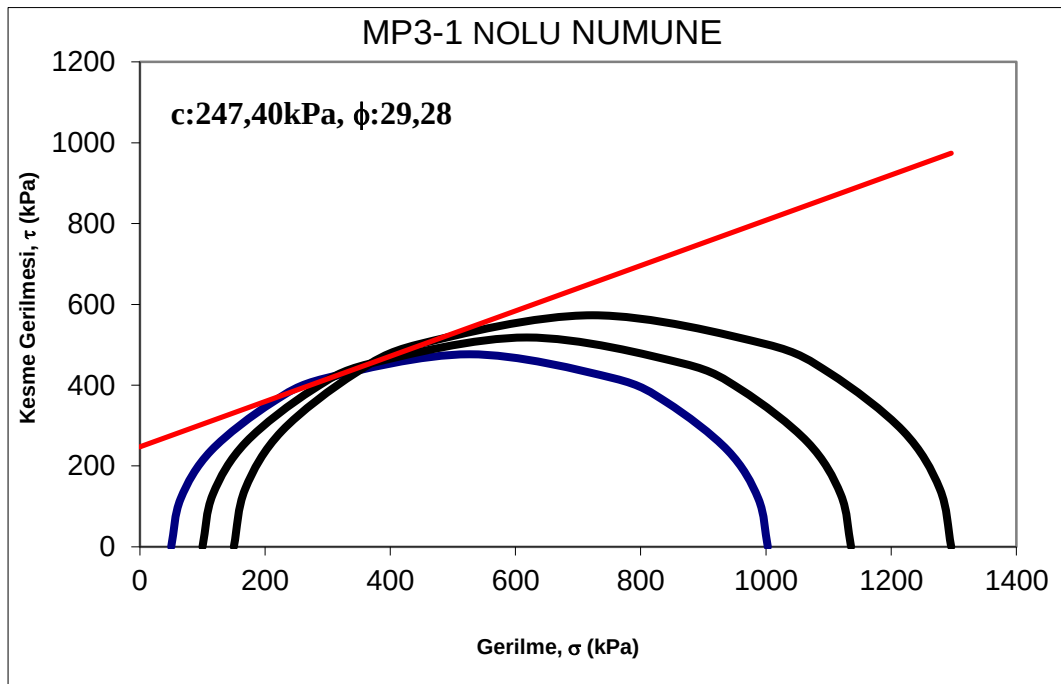


Şekil 6.18 MP2-2 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

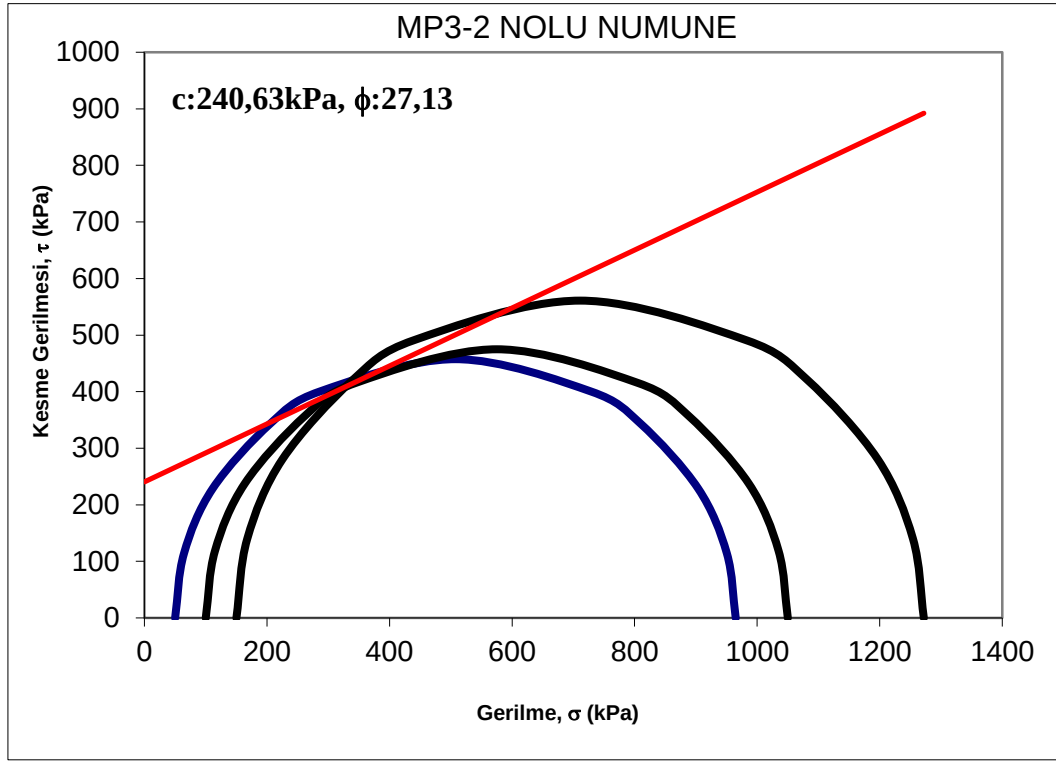


Şekil 6.19 MP2-4 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

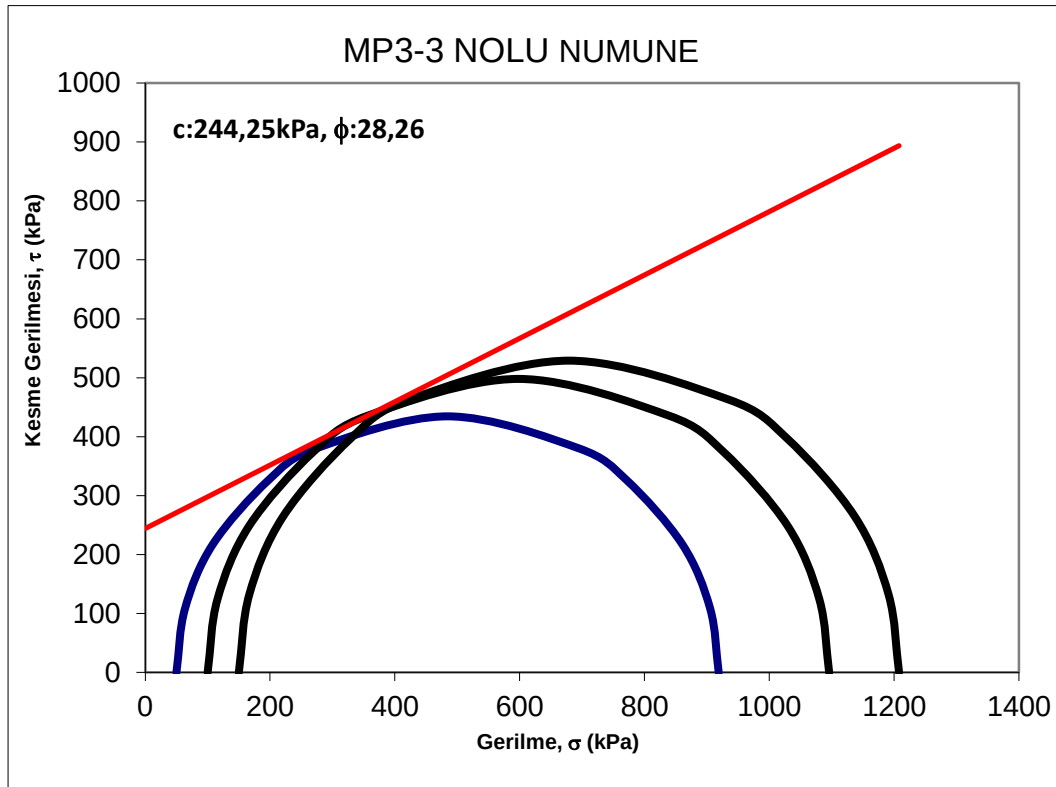


Şekil 6.20 MP3-1 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları

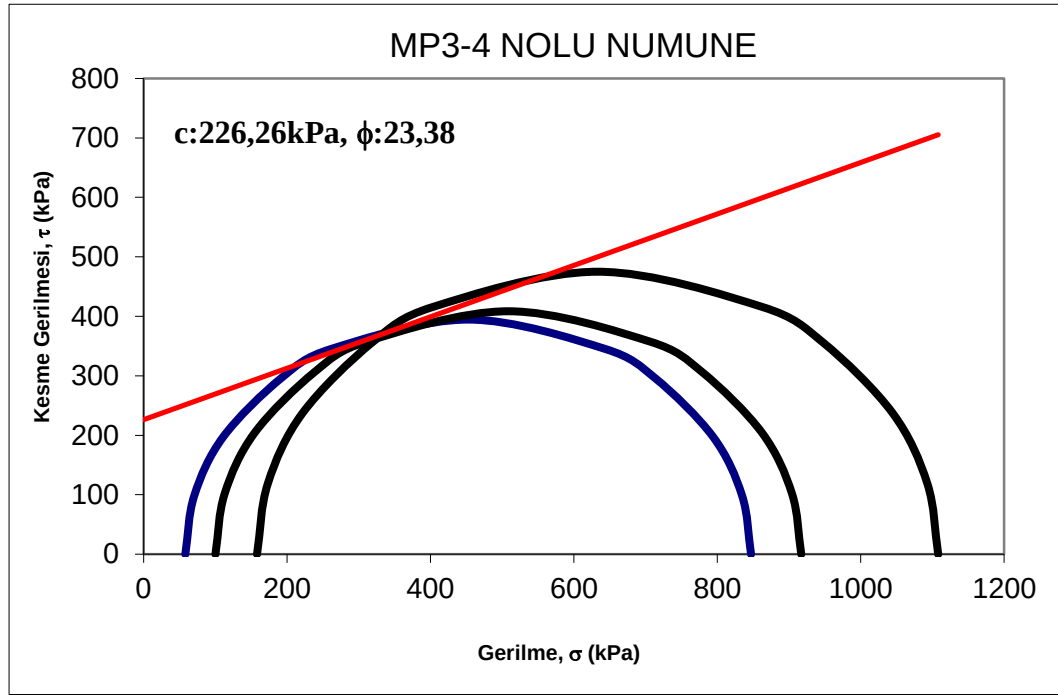


Şekil 6.20 MP3-2 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri



Şekil 6.21 MP3-3 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-6. (devam) Üç eksenli deney sonuçları



Şekil 6.22 MP3-4 Nolu numunenin üç eksenli basınç deneyinden elde edilen Mohr daireleri

EK-7. Deney sonuçları tablosu

Deney	Örselenmiş Numunenin Birim Hacim Ağırlığı (γ)	Max.kuru birim hacim ağırlık $\gamma_{k(max)}$	Su Muhtevası (w=%)	Sr (%)	Hücre Basıncı (kPa) σ_0	Deviatörük Gerilme (kPa) σ_1	Eksenel Yük (kPa) ($\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$)	CBR (%)	Cu	σ_0	Üç eksenli Numunesinin Su Muhtevası. (w=%)
SP1-1	1,832	1,398	31	0,91	56	326	382	12,17	76,73	25,8	30,5
					104	384	488				30
					156	480	636				30,3
SP1-2	1,806	1,373	31,5	0,89	55	323	378	11,5	72,25	28	32
					100	423	523				31
					150	503	653				31
SP1-3	1,797	1,369	31,3	0,88	50	301	351	11,9	68	24,3	30,6
					100	365	465				31
					150	471	621				31,2
SP1-4	1,836	1,404	30,8	0,91	50	354	404	12,45	74	29,3	30,5
					100	444	544				31
					150	546	696				31
SP2-1	1,84	1,383	33	0,95	50	209	259	8,79	59,36	20	33,2
					100	273	373				35
					156	319	475				33
SP2-2	1,827	1,372	33,2	0,94	54	190	244	8,66	56,04	16	33,2
					100	225	325				33,8
					155	267	422				34
SP2-3	1,827	1,374	33	0,93	47	206	253	9,06	62,43	15,9	34,9
					107	240	347				33,5
					158	287	445				34,3
SP2-4	1,832	1,376	33,1	0,94	54	221	275	8,59	60,92	17,4	32,8
					100	251	351				33
					150	305	455				33,2
SP3-1	1,832	1,349	35,8	0,98	52	174	226	6,83	58,62	12,1	34,5
					102	201	303				34,5
					150	225	375				35,5
SP3-2	1,832	1,349	35,8	0,98	56	168	224	6,76	52,39	12,8	34,5
					103	190	293				34,4
					153	224	377				34
SP3-3	1,827	1,349	35,4	0,96	50	157	207	5,55	56,51	11,2	34,5
					100	186	286				34,6
					150	204	354				34,6
SP3-4	1,823	1,346	35,4	0,96	55	162	217	5,88	56,8	11,7	34
					98	197	295				34,5
					155	213	368				34,5

Çizelge 7.1. Standart Proctor deney sonuçları tablosu

EK-7. (devam) Deney sonuçları tablosu

MP1-1	2,01	1,661	21	0,92	50	1562	1612	73,83	347	36,2	20,8
					100	1839	1939				20,5
					150	2198	2348				21
MP1-2	1,997	1,637	22	0,93	50	1462	1512	68,24	351,4 9	34	22
					100	1575	1675				21,5
					150	1717	1867				22,2
MP1-3	1,984	1,629	21,8	0,91	50	1541	1591	63,93	393,4 4	31,3	21
					100	1613	1713				22
					150	1769	1919				21,6
MP1-4	1,997	1,637	22	0,93	50	1573	1550	67,63	382	33,5	22
					100	1668	1668				21,8
					150	1797	1947				21,5
MP2-1	1,984	1,603	23,8	0,95	50	1310	1360	56,04	320	34,4	23,6
					100	1697	1797				23,2
					150	1650	1800				23,2
MP2-2	2,001	1,62	23,5	0,97	50	1359	1409	59,77	334,3 4	31,9	22,7
					100	1556	1656				23,3
					150	1653	1803				23,3
MP2-3	1,997	1,618	23,4	0,96	Numune alınamadı			61,48	Numune alınamadı		
MP2-4	2,005	1,629	23,1	0,96	50	1242	1292	61,75	297,6	32,2	23
					100	1729	1829				22,7
					150	1570	1720				23,9
MP3-1	1,984	1,575	26	1	50	953	1003	39,4	247,4	29,3	27,4
					100	1136	1236				25,2
					150	1146	1296				26,4
MP3-2	1,984	1,575	26	1	50	915	965	36,3	240,1 1	27,5	26
					100	950	1050				26,2
					150	1122	1272				25,5
MP3-3	1,984	1,577	25,8	1	50	869	919	40,99	244,2 5	28,3	26
					100	996	1096				26
					150	1058	1208				26,3
MP3-4	1,979	1,569	26,1	0,99	58	789	847	36,75	226,2 6	23,4	27
					100	817	917				26,3
					158	950	1108				27

Çizelge 7.2.Modiye Proctor deney sonuçları tablosu

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞENKAN, Semih
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 14.06.1982, Eskişehir
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (532) 5047950
e-mail : senkansemih@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Yapı Eğitimi A.B.D	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /Tapı ğretmenliğı	2010
Lise	Yunusemre E.M.L Eskişehir	1999

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Yüzme, Bisiklet



GAZİ GELECEKTİR..