

ZEMİNLERİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİNİN ÇOK YÖNLÜ OLARAK
ARAŞTIRILMASI

Ömür ÇİMEN

Yüksek Lisans Tezi
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

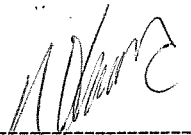
ISPARTA-1996

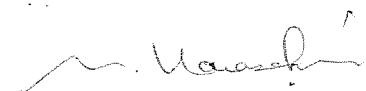
T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİNLERİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN ÇOK
YÖNLÜ OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ömür ÇİMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


Yrd. Doç. Dr. S. Nilay KESKİN
(Danışman)


Doç. Dr. M. KARASHAHİN


Yrd. Doç. Dr. M. TÜRKMEN

ÖZET

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine her geçen gün daha da çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, güncel bir problem olan zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi konusu ele alınmış ve kil numunelerine değişik oranlarda pomza (volkanik kül, süngertaşı) ilave edilerek mühendislik özelliklerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Çalışmada, Isparta Organize Sanayi Bölgesi civarından alınan CL (düşük plastisiteli kil) sınıfı ve İstanbul'dan getirilen CH (yüksek plastisiteli kil) sınıfı zemin numuneleri kullanılmıştır. Numuneler üzerinde elek ve hidrometre analizleri, kıvam limitleri, kompaksiyon, konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Örselenmemiş kil zemin numunesi almamız mümkün olamamış ve alınan numuneler arazideki şartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler üzerinde konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Katkı malzemesi olarak kullanılan pomzanın minerolojik yapısı polarizan mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca, ödometre deneyine tabi tutulan pomzanın strüktürel yapısı incelenmiştir. Pomzanın tabii birim hacim ağırlığı, tabii su muhtevası, dane birim hacim ağırlığı ve permeabilitesi belirlenmiştir.

Örselenmiş kil zemin numunelerine; kompaksiyon, ödometre ve serbest basınç deneyleri için No 4 elek altı, kıvam limitleri için No 40 elek altı pomza ilavesi yapılarak, pomzanın zeminin özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Düşük plastisiteli kil zeminlere %10, %20, %30 ve %40 pomza ilave edilmiş, yüksek plastisiteli kil zemine ise %10, %15, %20, %30, %40 ve %50 pomza ilave edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, pomzanın CL sınıfı zeminlerde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılamayacağı, CH sınıfı zeminlerde ise stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceği ve bunun için ideal olarak karıştırılması gereken oran belirlenmiştir.

Pomza, Isparta yöresinde yoğun olarak bulunmaktadır. Yapı malzemelerinde kullanılmakta olan pomzanın, CH sınıfı zeminlerde %20-30 oranında karıştırıldığında, uygun bir stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.

II

ABSTRACT

There are much demand which are got better the engineering properties of soils. In this study, it was considered and how the engineering properties of pumice (volcanic ash) changed was investigated by which the various rations of the pumice was added to samples of clay.

In this study, had been used the samples of soil which CL class was taken from Isparta Organize Sanayi Bölgesi and which CH class was brought from İstanbul on the samples had been made the analyses of sieve and hydrometer, the limits of liquid, plastic and rotre, the experiments of compaction, consolidation, swell and free pressure. The structure of minarologic of pumice used as mix material has been observed the polarizan microscope. Furthermore, the texture structure of the pumice had been investigated with the experiment of odometer. The natural unit volume weight, the natural water content, the grain unit volume weight and permeability of pumice had been determined.

To the clay samples of soil to handle roughly, have been added the pumice passing from the No 40 sieve for the limits of liquid, plastic and rotre and No 4 sieve for experiments of free pressure,swell and odometer. It has been added the ratio of %10-20-30-40 of the pumice to low plasticity soils and the ratio of % 10-15-20-30-40-50 of the pumice to high plasticity soils. In respect of the result of experiments, they had been determined the ratio of pumice which wouldn't be used as a stabilization material on the soils of CL class, but they had been determined the ratio of pumice which would be used as a stabilization material on the soil of CH class. For this, it had been determined and ideal ratio to mix.

There are exist the pumice on the near the Isparta. The pumice used as a structural material is and available stabilization material when was mixed the ratio of %20-30 on the soils of CH class.

III

ÖNSÖZ

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi konusu sık sık karşımıza çıkmaktadır. Nüfus yoğunluğunun artması ile gevşek, taşıma gücü düşük, aşırı şişme ve büzülme gösteren zeminler üzerinde yapılaşma da artmaktadır. Bu tür zeminlerin geoteknik özellikleri araştırılıp uygun iyileştirme yöntemleri uygulandıktan sonra yapılaşmaya gidilmelidir.

Bu çalışmada, zemin iyileştirme yöntemleri ele alınmış, pomzanın geoteknik özellikleri belirlenmiş ve kil zemin numunelerine değişik oranlarda pomza katılarak, bu zeminlerin geoteknik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Bu çalışmaya beni teşvik eden, çalışma sırasında tecrübe ve ilgisini esirgemeyen Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. S. Nilay KESKİN'e, pomzanın mikroskobik incelenmesinde yardımcı olan Hocam Sayın Prof. Dr. Ali BİLGİN'e ve manevi olarak beni destekleyen eşim Sayın İnş. Yük. Müh. Mesut ÇİMEN'e teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
SİMGELER LİSTESİ	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
RESİMLER LİSTESİ	VIII
ÇİZELGELER LİSTESİ	IX
EKLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Literatürün Gözden Geçirilmesi	3
2.2. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri	10
2.2.1. Zeminlerin sıkıştırılması (Kompaksiyon)	10
2.2.1.1. Laboratuvarda yapılan kompaksiyon deneyleri	11
2.2.1.2. Arazide yapılan kompaksiyon	12
2.2.1.2.1. Kompaksiyon makineleri	13
2.2.1.3. Kompaksiyonu etkileyen faktörler	13
2.2.1.4. Kompaksiyonun zemin özelliklerine etkisi	14
2.2.2. Katkı malzemeleri kullanılması ile zemin stabilizasyonu	15
2.2.2.1. Kireçle stabilizasyon	15
2.2.2.2. Kireç - baca külü stabilizasyonu	16
2.2.2.3. Çimento ile yapılan stabilizasyon	16
2.2.2.4. Asfalt ile stabilizasyon	16
2.2.3. Zemin tabakalarının özelliklerini yerinde iyileştirme yöntemleri	17
2.2.3.1. Ön yükleme yöntemleri	17
2.2.3.2. Drenaj yöntemleri	17
2.2.3.3. Enjeksiyon yöntemleri	18
2.2.3.4. Derin sıkıştırma	18
2.2.3.5. Isıl işlemler	19
2.2.3.6. Zeminin güçlendirilmesi	19
2.2.3.7. Geotekstiller veya geosentetikler	20
3. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
3.1. Seçilen Numunelerin Özellikleri	23
3.2. Deneysel Çalışmalar	23
3.2.1. Laboratuvar sınıflandırma deneyleri	24
3.2.2. Pomza üzerinde yapılan deneyler	26
3.2.3. Kıvam limitleri deneyleri	27
3.2.4. Kompaksiyon deneyleri	28
3.2.5. Konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneyleri	28
4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR	32
4.1. Zemin Numunelerin Tanımlanması	32
4.1.1. Kil Numunelerinin tanımlanması	32

4.1.2. Pomzanın tanımlanması	32
4.2. Pomza Katkılı Olarak Yapılan Kıvam Limitleri deneyleri	36
4.3. Kompaksiyon Deneylerinin Sonuçları	36
4.4. Konsolidasyon, Şişme ve Serbest Basınç Deneyinin Sonuçları	39
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	41
KAYNAKLAR	45
EKLER	47
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER LİSTESİ

WL, LL	Likit limit
W _p	Plastik limit
W _R	Rötre limit
PI	Plastisite indisi
m _v	Hacimsel sıkışma indisi
M _C	Hacimsel sıkışma modülü
C _c	Sıkışma indisi
C _s	Kabarma indisi
ΔP	Uygulanan basınç
H	Tabaka kalınlığı
S _{öd.}	Ödometre deneyi sonuçlarına göre bulunan oturma miktarı
μ	Düzeltilme faktörü
S	Oturma miktarı
e ₁	İlk yük kademesindeki boşluk oranı
e ₂	Son yük kademesindeki boşluk oranı
P ₁	İlk yük
P ₂	Son yük
γ _{k max}	Maksimum kuru birim hacim ağırlık
W _{opt}	Optimum su muhtevası
γ _s	Dane birim hacim ağırlık
k	permeabilite katsayısı
W ₁	Yaş numunenin ağırlığı
W ₂	Kuru numunenin ağırlığı
γ _w	Suyun birim hacim ağırlığı
V ₁	Yaş numunenin hacmi
V ₂	Kuru numunenin hacmi
e	Boşluk oranı
log P	Logaritmik basınç
q _u	Serbest basınç mukavemeti
P _ş	Şişme basıncı
A	Aktivite
P _{0,σ0}	Ön konsolidasyon basıncı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Stabilize edilmiş zemin numunelerindeki kür zamanı ile sıkışma mukavemeti ilişkisi (Kamon ve Nontananandh 1991)	4
Şekil 2.2. Stabilize edilmiş zemin numunelerindeki kırılma şiddeti ile sıkışma mukavemeti ilişkisi (Kamon ve Nontananandh 1991)	4
Şekil 2.3. Seed v.d. (1962) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi	6
Şekil 2.4. Van Der Merve (1964) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi	7
Şekil 2.5. Şişme yüzdesinin logaritmik zaman ile değişimi (Day 1991)	7
Şekil 2.6. Şişme yüzdesinin çakıl yüzdesi ile farklı sürsarj yükleri altındaki değişimi (Day 1991)	8
Şekil 2.7. Uygulanan enerjinin kompaksiyona etkisi	12
Şekil 2.8. Zemin çivileri uygulanması (Ergun 1994)	20
Şekil 2.9. Geotekstil uygulama alanları	21
Şekil 3.1. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait granülometri eğrisi	24
Şekil 3.2. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait granülometri eğrisi	24
Şekil 3.3. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait granülometri eğrisi	25
Şekil 3.4. İstanbul'dan getirilen numuneye ait granülometri eğrisi	25
Şekil 3.5. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait e - log P eğrisi	29
Şekil 3.6. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait e - log P eğrisi	30
Şekil 3.7. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait e - log P eğrisi	30
Şekil 3.8. İstanbul zemin numunesine ait e - log P eğrisi	31
Şekil 4.1. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları	37
Şekil 4.2. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları	37
Şekil 4.3. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları	38
Şekil 4.4. İstanbul zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları	38
Şekil 5.1. Likit limit, plastik limit ve plastisite indisinin pomza yüzdesine göre değişimi	41
Şekil 5.2. Şişme basıncının pomza yüzdesine göre değişimi	42
Şekil 5.3. Serbest basınç mukavemetinin pomza yüzdesine göre değişimi	43
Şekil 5.4. Hacimsel sıkışma katsayısının pomza yüzdesine göre değişimi	43

VIII

RESİMLER LİSTESİ

Resim 4.1. Pomza içerisindeki opak mineraller	33
Resim 4.2. Pomza içerisindeki boşluk	33
Resim 4.3. Pomza içerisindeki sanidin fenokristalleri	34
Resim 4.4. Pomza içerisindeki biyotid fenokristalleri	34
Resim 4.5. Pomza içerisindeki piroksen fenokristalleri	35
Resim 4.6. Pomza içerisindeki zonlu feldispat kristali	35

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Kıvam limitleri ve emme basıncına göre şişme potansiyeli	6
Çizelge 2.2. Zemin türüne göre μ faktörleri	9
Çizelge 2.3. Optimum su muhtevasının kuru ve ıslak tarafında sıkıştırılan zeminlerin özelliklerinin karşılaştırılması (Özaydın 1989)	15
Çizelge 3.1. Kullanılan kil zemin numunelerin özellikleri	26
Çizelge 3.2. Kullanılan pomzanın özellikleri	26
Çizelge 4.1. Pomza katkılı kıvam limitleri deney sonuçları	36
Çizelge 4.2. Pomzanın CH sınıfı zemin numunesine etkisi	39
Çizelge 4.3. Pomzanın CL sınıfı zemin numunesine etkisi	40
Çizelge 5.1. Pomzanın hacimsel sıkışma katsayısının yük kademesi ile değişimi	44

EKLER LİSTESİ

EK 1

Şekil 1.1. Kuru yüklenen ve 4 kg/cm ² yük kademesinde su verilen pomzanın konsolidasyon eğrisi	49
Şekil 1.2. Kuru yüklenen ve 2 kg/cm ² yük kademesinde su verilen pomzanın konsolidasyon eğrisi	49
Şekil 1.3. Tamamen su ile doldurulduktan sonra yüklenen pomzanın konsolidasyon eğrisi (1. seri)	50
Şekil 1.4. Tamamen su ile doldurulduktan sonra yüklenen pomzanın konsolidasyon eğrisi (2. seri)	50

EK 2

Şekil 2.1. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	52
Şekil 2.2. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	52
Şekil 2.3. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	53
Şekil 2.4. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	53
Şekil 2.5. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	54
Şekil 2.6. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	54
Şekil 2.7. İstanbul zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	55
Şekil 2.8. İstanbul zemin numunesine ait %15 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	55
Şekil 2.9. İstanbul zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	56
Şekil 2.10. İstanbul zemin numunesine ait %30 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	56
Şekil 2.11. İstanbul zemin numunesine ait %40 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	57
Şekil 2.12. İstanbul zemin numunesine ait %50 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi	57'

1. GİRİŞ

Zeminler, gerek üzerlerinde inşaa edilen yapıların temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak ve gerekse pek çok durumda inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Zeminlerin mühendislik özellikleri zeminin cinsinin yanında arazi koşullarına da bağlı olarak geniş bir aralık içerisinde değişebilmektedir. Bu sebeple özellikle yapıların temel zeminleri her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilir. Böyle durumlarda, arazideki zemin tabakalarının özelliklerinin iyileştirilmeye çalışılması gerekmektedir. Zemin özelliklerinin iyileştirilmesine de stabilizasyon denilmektedir.

Nüfus yoğunluğu her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak zayıf ve gevşek zeminler üzerinde de yapılaşma hızla artmaktadır. Bu tip zeminlerde zeminin özelliklerinin belirlenip, gerekli stabilizasyon yapılmadan yapılaşmaya gidilmesi çok büyük problemler doğurmaktadır. Taşıma gücü düşük olan zemin problemleri dışında, özellikle karayolu, hava alanı gibi hafif ağırlıklı yapılarda olmak üzere şişme olayı da büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bizler, doğabilecek bu problemleri önceden belirleyip gerekli önlemleri almalı ve ona uygun zemin stabilizasyonlarını yapmalıyız.

Bu çalışmada, güncel bir problem olan zemin stabilizasyonu ele alınmış ve özellikle Isparta yöresinde yoğun olarak bulunan pomzanın (volkanik kül, süngertaşı) zemin stabilizasyonunda kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Özellikle zeminlerde aşırı oturma ve şişme problemlerini azaltmadaki etkisi ve iyi bir sıkışmanın sağlanmasındaki katkısı incelenmiştir. Deneyler iki grup halinde yapılmıştır. Birinci grup deneylerde, Isparta Organize Sanayi Bölgesi civarından alınan CL (düşük plastisiteli kil) sınıfında zemin numuneleri kullanılmıştır. İkinci grup deneylerde ise, İstanbul'dan getirilen CH (yüksek plastisiteli kil) sınıfındaki zemin numunesi kullanılmıştır. Bütün deneylerde katkı malzemesi olarak pomza kullanılmıştır.

Katkı malzemesi olarak kullanılan pomzanın minerolojik özellikleri Polarizan Mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca, pomzanın tabii su muhtevası, tabii birim hacim ağırlığı, dane birim hacim ağırlığı ve permeabilite katsayısı belirlenmiştir. Pomza üzerinde konsolidasyon deneyleri yapılarak, pomzanın strüktür yapısı incelenmiştir.

Kullanılan kil numuneler üzerinde sınıflandırma deneyleri, kompaksiyon, konsolidasyon, serbest şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Numunelerin serbest basınç mukavemetleri cep penetrometresi ile de belirlenmiş ve serbest basınç deneyinden elde edilen sonuçla karşılaştırılmıştır.

Kil numuneler üzerinde yapılan şişme, konsolidasyon ve serbest basınç deneylerinde örselenmemiş numune alma imkanımız olmadığından örselenmiş numuneler kullanılmıştır. Deneyler sırasında, numuneler hazırlanırken, arazideki şartlara uygun olacak şekilde hazırlanmaya çalışılmıştır.

Mühendislik özellikleri belirlenen pomza, yine mühendislik özellikleri belirlenen kil numunelerine belirli oranlarda katılarak, bu özelliklerin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu amaçla, kıvam limitleri, kompaksiyon, konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Bütün deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır.

Pomza (sünger taşı, volkanik kül), volkanizma faaliyetleri sonucunda asidik veya bazik mağmanın püskürmesi sırasında kızgın erimiş lavların havada su ile karşılaşması ve ani olarak soğuması, bununla beraber içerisindeki su buharının genleşerek serbest kalması sonucunda oluşan, gözenekli ve hafif bir malzemedir.

Pomza, yurdumuzun pekçok bölgesinde yoğun olarak bulunmaktadır. Özellikle Isparta yöresinde, sönmüş bir volkan olan Gölcük Dağı çevresinde yoğun pomza tabakaları mevcuttur. Pomza, yıllardır hafifliği, yüksek ısı ve ses yalıtımı, ateşe karşı dayanımı, doğal koşullardan etkilenmeyişi, iyi bir sıva tutucu olması gibi özelliklere sahip olduğu için yapı elemanlarında sıkça kullanılmaktadır. Şimdiye kadar, pomzanın zeminin mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmamıştır. Bu sebeple, kil numunelerine değişik oranlarda pomza ilave edilerek, mühendislik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Bu çalışma, 5 bölüm halinde ele alınmıştır. Konu ile ilgili yapılan literatür taramaları 2. Bölüm'de verilmiştir. 3. Bölüm'de deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Numunelerin hazırlanışı, deneylerin yapılışı ve dikkat edilen hususlar bu bölümde anlatılmıştır. 4. Bölüm'de deneylerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır. 5. Bölüm'de ise sonuçlar ve değerlendirmeler yer almaktadır.

2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

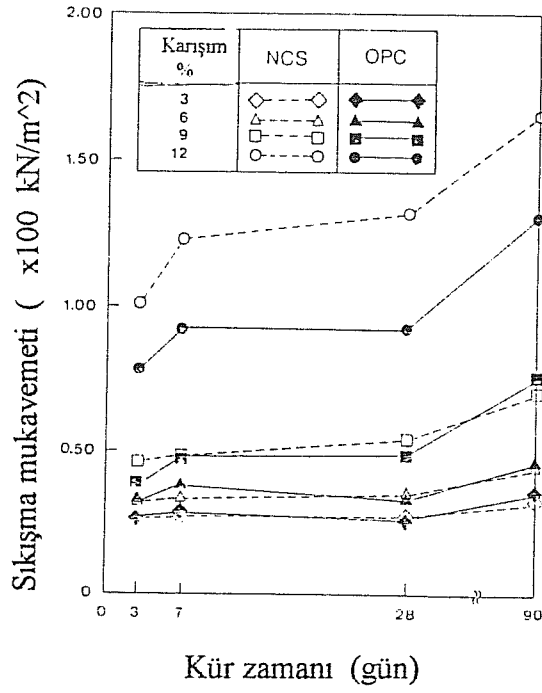
2.1. Literatürün Gözden Geçirilmesi

Zemin stabilizasyonunda; Nurse (1964), Montgomery ve Arkadaşları (1981) çimentoyu; Girdley ve Sack (1984), Duda (1987), Tay (1987), Dhir ve Arkadaşları (1988) yaptıkları çalışmalarda, ezilmiş beton tozu ve bazı endüstriyel atıkları kullanmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Kujula (1986), Kamon ve Arkadaşları (1988) ise bazı ağır metalleri kullanmışlardır. Leonards ve Bailey (1982), Kamon ve Arkadaşları (1988), Nontananandh (1991) ise çalışmalarında endüstriyel atıkların yapı zemin dolgusunda ve yolların alt temel tabakalarında iyi bir stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bu araştırmacılar, endüstriyel atık malzemelerin kullanılmasıyla yapıların maliyetlerinde önemli kazançlar elde edileceğini belirtmişlerdir.

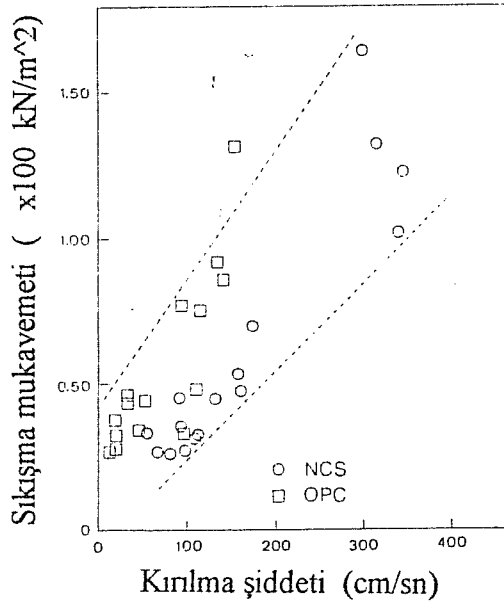
Endüstriyel atıkların biraraya getirilmesi ile oluşturulan stabilize malzemeler ilk kez Shida ve Arkadaşları (1987) tarafından kullanılmıştır. Kamon ve Nontananandh (1991), çalışmalarında endüstriyel atıkları kullanarak portland çimentosuna benzer kendi kendine çimentolaşma karakteristiğine sahip yeni bir ürün elde etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri bu malzemenin zayıf zemin stabilizasyonunda kullanılıp kullanılamayacağını araştırmışlardır.

Kamon ve Nontananandh (1991), farklı endüstriyel atıkları karıştırarak yeni bir stabilize malzeme üretmişlerdir. Bu malzemeyi üretmek için, lastik fabrikasının, şeker fabrikasının, bira fabrikasının ve çelik fabrikasının katı atıklarının kullanmışlardır. Bu atık malzemeleri, belli oranlarda kireç ile karıştırarak oksidasyon şartlarında yakmışlardır. Oksidasyon neticesinde elde ettikleri bu malzemeyi zemin stabilizasyonunda kullanmışlardır. Ayrıca, portland çimentosunu da kullanarak bu iki sonucu karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda, bu iki halde de sıkışma mukavemetlerinin arttığını göstermişlerdir. Bu sonuçlar, Şekil 2.1'de görülmektedir. Şekil 2.1'de görülen NCS, üretilen yeni malzemeyi, OPC ise, portland çimentosu karıştırılarak elde edilen malzemeyi ifade etmektedir. Her iki durumda da katkı miktarının artması ile zeminde, kür zamanına da bağlı olarak daha yüksek bir sıkışma mukavemeti elde edilmiştir. Her iki karışımda da katkı oranının %6'dan az olduğu durumlarda sıkışma mukavemetinin pek fazla değişmediğini bulmuşlardır. Buna karşın karışım oranı %12 olduğunda Kamon ve Nontananandh'in ürettikleri yeni stabilize malzeme (NCS) ile karıştırılmış zeminin mukavemeti portland çimentolu (OPC) karışımın mukavemetinden daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.1. Stabilize edilmiş zemin numunelerindeki kür zamanı ile sıkışma mukavemeti ilişkisi (Kamon ve Nontananandh 1991)

Kamon ve Nontananandh'ın yaptıkları çalışmalar sonucu ürettikleri yeni stabilize malzeme ile karıştırılmış zeminin ve portland çimentosu ile karıştırılmış zeminin sıkışma mukavemetleri ile kırılma oranları arasında Şekil 2.2'de görülen grafiği çizmişlerdir.



Şekil 2.2. Stabilize edilmiş zemin numunelerindeki kırılma şiddeti ile sıkışma mukavemeti ilişkisi (Kamon ve Nontananandh 1991)

Şekil 2.2'den de görüleceği üzere, aynı mukavemetteki iki ayrı zemin numunesinden portland çimentolu zemin numunesi daha çabuk kırılmaktadır. Buna karşın NCS ile karıştırılmış zemin numunesinin daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarında, zemin numunesi tabii su muhtevasında hazırlanarak, 5 cm çaplı ve 10 cm yüksekliğinde silindir kalıplara 3 tabaka halinde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Hazırladıkları bu numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapmışlardır. Ayrıca, çalışmalarında X-Ray Difraksiyon (XRD) analizleri ve Scanning Elektron Mikroskop (SEM) kullanmışlardır.

Kamon ve Nontananandh (1991) yaptıkları bu çalışma ile, endüstriyel atıkların kireç ile birleştirilebileceğini ortaya koymuşlardır. Bu şekilde ürettikleri stabilizer malzemenin, portland çimentosuna benzer özellik gösterdiğini bulmuşlardır. Üretilen bu malzemenin, gevşek ve organik zeminlerde alt temel stabilizasyonunda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, bu yeni malzeme, endüstriyel malzemelerden elde edildiği için; atıkların tasfiyesinde yeni bir alternatifin sağlandığını ve doğal kaynakların korunmuş olacağını belirtmişlerdir.

Özellikle aşırı konsolide olan killi zeminlerin su emerek hacimlerinin artmasına şişme denilmektedir. Şişme sonucunda ortaya çıkan hacim değişikliği pek çok probleme sebep olmaktadır. Killi zeminler üzerinde inşa edilen az katlı hafif yapılarda, karayolu ve havaalanı kaplamalarında, sulama kanallarında, boru hatlarında şişme problemi ile çok sık karşılaşmaktadır. Şişme sadece düşey yönde değil yanıl yönde de olabilmekte ve dolayısıyla istinat yapılarında da önemli hasarlar meydana gelebilmektedir (Keskin 1993).

Şişme potansiyeli, tabii halde bulunan veya laboratuvarında belirli şartlar altında sıkıştırılarak hazırlanmış olan bir zemin numunesinde, belli bir yük altında suya doygun hale gelinceye kadar oluşan şişme miktarının numunenin başlangıçtaki hacmine oranıdır. Şişme basıncı ise, şişme potansiyeline sahip olan killi bir zeminde su muhtevasının artması durumunda oluşacak hacim artışına engel olabilecek basınçtır. Yoğurulmuş bir kilin şişme basıncı ise kompaksiyon birim hacim ağırlığındaki bir zeminin hacmini koruyabilmesi için gereken basınçtır (Keskin 1993).

Sıkıştırılmış zeminlerin şişme davranışı pek çok faktöre bağlıdır. Keskin (1991) yaptığı çalışmada bu zeminlerin kompaksiyon metodunun, su muhtevasının ve kuru birim hacim ağırlığının, sürsarj basıncının, tabaka kalınlığının ve geçen zamanın etkili olduğunu belirtmiştir. Şişme probleminin görüldüğü killi zeminlerde şişme basıncının ve şişme yüzdesinin önceden belirlenerek buna uygun çözümler getirildikten sonra yapılaşmaya geçilmelidir. Killi zeminlerin şişme özelliğini azaltmak için pek çok çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır.

Şişen zeminler, şişme potansiyellerine, kil yüzdelerine, aktivitelerine ve plastisite indisine göre gruplara ayrılmıştır. Çizelge 2.1 'de Snethen ve arkadaşları (1977)

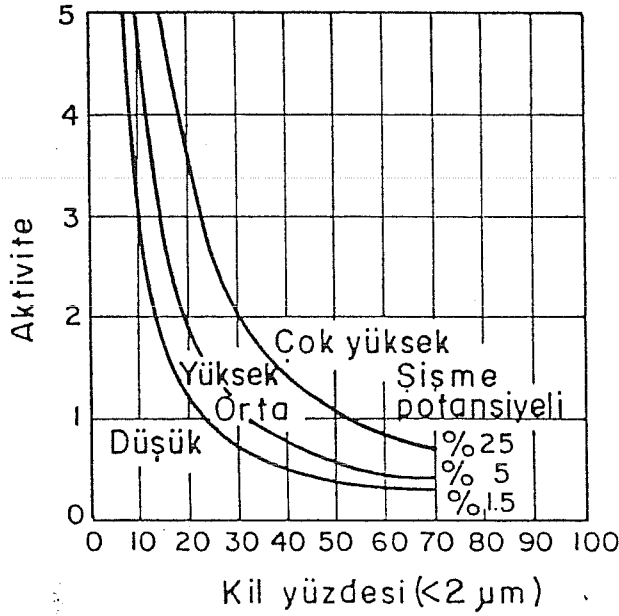
tarafından verilmiş olan kıvam limitleri ve emme basınçlarına göre şişme sınıfı görülmektedir.

Çizelge 2.1. Kıvam limitleri ve emme basıncına göre şişme potansiyeli
(Erol 1994)

LL %	PI %	Emme Basıncı kg/cm ²	Şişme* Potansiyeli %	Şişme Sınıfı
> 60	>35	> 4	> 1.5	Yüksek
50-60	25-35	1.5-4	0.5-1.5	Orta
< 50	< 25	< 1.5	< 0.5	Düşük

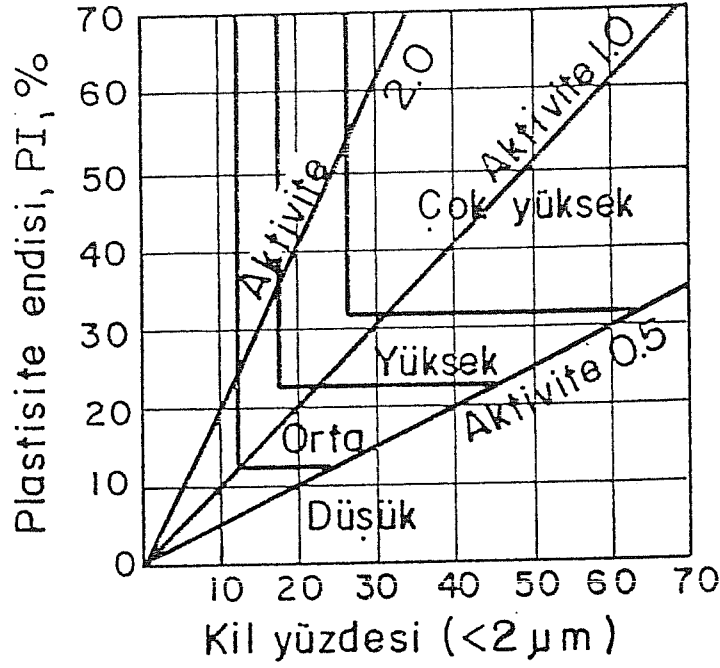
* Zemin sürsarj yükü altında düşey kabarma

Şekil 2.3 'de Seed ve arkadaşları (1962) tarafından önerilen ve kil yüzdesi ile aktiviteye bağlı olarak verilen sınıflandırma sistemi görülmektedir.



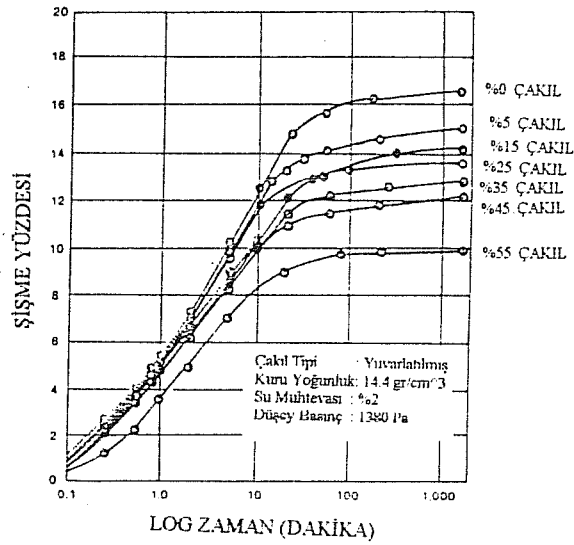
Şekil 2.3. Seed v.d. (1962) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi

Şekil 2.4 'de Van Der Merve (1964) tarafından verilen kil yüzdesi ve plastisite indisine göre tanımlanmış olan sınıflandırma sistemi görülmektedir.



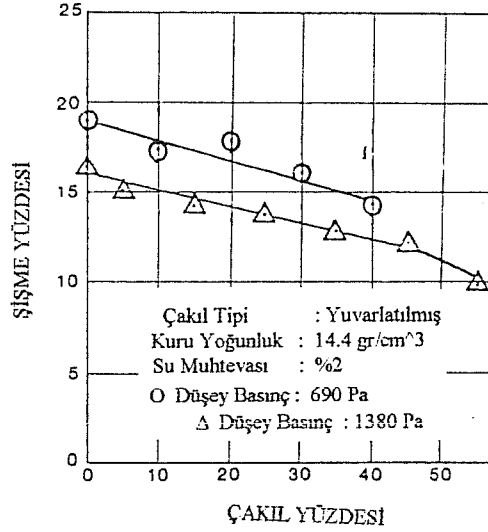
Şekil 2.4. Van Der Merve (1964) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi
(Erol 1994)

Day (1991) yaptığı bir çalışmada killi bir zemine çakıl ilave ederek şişme davranışını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Çalışmasında killi bir zemine %5-15-25-35-45-55 oranlarında çakıl karıştırarak şişme davranışının nasıl değiştiğini incelemiştir. Şekil 2.5 'de değişik oranlarda çakıl karıştırılmış kilin zamana bağlı şişme yüzdesi verilmiştir.



Şekil 2.5. Şişme yüzdesinin logaritmik zaman ile değişimi (Day 1991)

Şekil 2.5 'den de görüldüğü gibi çakıl yüzdesi arttıkça şişme yüzdesi azalmaktadır. Şekil 2.6 'da çakıl yüzdesi ile şişme yüzdesinin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Çakıl yüzdesi ile şişme yüzdesi arasında ters ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6. Şişme yüzdesinin çakıl yüzdesi ile farklı sürsarj yükleri altındaki değişimi (Day 1991)

Şekil 2.6 'da aynı çakıl yüzdesinde farklı sürsarj yükleri altında elde edilen şişme yüzdeleri de verilmektedir. %10 çakıl karışımli zeminde 689.5 Pa sürsarj yükü altında, 1379 Pa sürsarj yükü altındakinden daha yüksek şişme yüzdesi elde edilmektedir. Buradan da sürsarj basıncının artırılmasıyla şişme miktarının azaltılacağı anlaşılmaktadır. Day (1991) bu çalışmasında serbest şişme deneyleri yapmıştır. Hazırladığı her karışım için modifiye proktor deneyleri yapmıştır. Proktor deneylerinden bulduğu optimum su muhtevasında ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta numuneler hazırlayarak serbest şişmeye bırakmıştır. Day (1991) bu çalışmaları sonucunda, şişen killi zeminlerde şişme probleminin çözülebilmesi için çakılın kullanılabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Kohezyonlu zeminlerde uygulanan ödometre deneylerinden, zeminin m_v hacimsel sıkışma modülü, M_C sıkışma modülü, C_C sıkışma indisi, C_S kabarma indisi parametreleri elde edilebilmektedir. Bu parametrelerin derinlikle değişimleri dikkate alınarak temel altındaki oturma miktarları belirlenmektedir (Craig 1988).

$$S_{od.} = m_v \cdot \Delta P \cdot H \quad (2.1)$$

bağıntısı ödometre deneyi sonuçlarına göre bulunan oturmayı göstermektedir. Burada, ΔP uygulanan basınç, H tabaka kalınlığı'dır. Ancak, ödometre deneylerinde yanal deformasyonlar engellenmiştir. Gerçekte ise, zemin 3 boyutlu olarak deformasyon göstermektedir. 3 boyutlu deformasyon etkisi Skempton ve Bjerrum (1957) tarafından verilen düzeltme faktörü, μ ile hesaplanabilmektedir. Düzeltme faktörü değerleri aşağıda verilmektedir (Erol 1994).

Çizelge 2.2. Zemin türüne göre μ faktörleri

<u>Zemin Türü</u>	<u>μ Faktörü</u>
Yumuşak, hassas killer	1.0 - 1.2
Normal konsolide killer	0.6 - 1.0
Aşırı konsolide killer	0.4 - 0.7
Fazla aşırı konsolide killer	0.25 - 0.4

Ödometre deneylerinden elde edilen oturmalar şu şekilde düzeltilmektedir:

$$S = \mu \cdot S_{öd} \dots\dots\dots (2.2)$$

C_C sıkışma indisi (e-logP) konsolidasyon eğrisinin doğru kısmının denkleminde elde edilmektedir.

$$C_C = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{P_2}{P_1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Burada; e_1 ilk yük kademesindeki boşluk oranı, e_2 son yük kademesindeki boşluk oranı, P_1 ilk yük, P_2 son yük'tür.

Normal konsolide killerde, C_C için istatistiksel bir bağıntı şu şekildedir.

$$C_C = 0.009(W_L - 10) \dots\dots\dots (2.4)$$

Örselenmiş killi zeminler için ise,

$$C_C = 0.007(W_L - 10) \dots\dots\dots (2.5)$$

şeklinde verilmektedir (Kumbasar ve Kip 1992).

2.2. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri

Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi yani zemin stabilizasyonu için kullanılacak yöntemler iki ana grupta incelenebilir.

- 1) Toprak dolgularda kullanılacak zeminlerin malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve uygun dolgu hazırlama yöntemleri
 - a- Sıkıştırma (kompaksiyon) yöntemleri
 - b- Katkı malzemeleri kullanılması ile zemin özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemleri
- 2) Tabii zemin tabakalarının özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi yöntemleri
 - a- Ön yükleme
 - b- Drenaj
 - c- Enjeksiyon
 - d- Derin sıkıştırma
 - e- Isıl işlemler
 - f- Zeminin güçlendirilmesi
 - g- Geotekstiller veya geosentetikler

2.2.1. Zeminlerin sıkıştırılması (Kompaksiyon)

İnşaat mühendisliğinde değişik amaçlar için toprak dolgu inşasına çok sık başvurulmaktadır. Bunlardan bazıları; inşaat sahasının kotunu yükseltmek için yapılan dolgular, karayolları ve havaalanları kaplama altı dolguları, toprak barajlar, su bentleri, akarsu seddeleri gibi su yapıları için yapılan dolgulardır. Ayrıca, birçok durumda, elverişsiz zemin koşullarına sahip olan inşaat sahalarındaki tabii zeminin kazılıp atılması ve yerine daha iyi özelliklere sahip temelaltı dolgusu konulması veya mevcut zemin tabakalarının özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi gerekmektedir.

Toprak dolgularda kullanılacak malzeme, başka bir sahadan kazılarak elde edilen zemindir. Bu zeminin dolgu alanına gelişigüzel dökülmesi bazı sorunlara sebep olacaktır. Böyle durumlarda zeminin sıkıştırılarak yerleştirilmesi gereklidir. Buna göre, usulüne uygun olarak yapılmış toprak dolgular şu özelliklere sahiptir (Özaydın 1989).

- 1- Kendi ağırlığını ve uygulanan dış yükleri güvenlikle taşıyabilecek mukavemete sahip olmalıdır.
- 2- Yük altındaki oturma ve deformasyonları müsaade edilebilir seviyelerin altında olmalıdır.
- 3- Aşırı şişme ve büzülme göstermemelidir.

- 4- Mukavemet ve sıkışabilirlik özelliklerini kullanım ömrü boyunca koruyabilmelidir.
- 5- Fonksiyonuna uygun permeabilite ve drenaj özelliklerine sahip olmalıdır.

Bu özelliklere sahip bir toprak dolgu inşaa edebilmek için, kontrol edeceğimiz parametreler; kullanacağımız zeminin cinsi, su muhtevası ve sıklık derecesi olmalıdır. Zeminin sıkıştırılması, mekanik bir enerji ile zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarıdır. Zeminin sıkıştırılması sonucu birim hacim ağırlığı artmakta ve buna bağlı olarak mühendislik özellikleri de iyileştirilmiş olmaktadır.

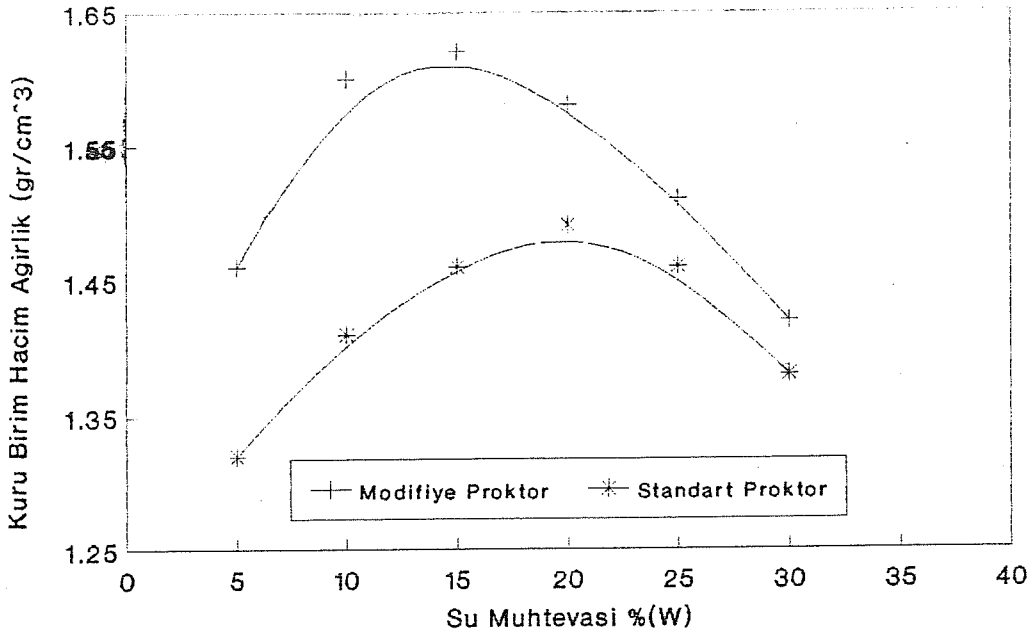
Zemin danelerinin sıkışması kompaksiyon enerjisi yanında, zemindeki su miktarına da bağlı olarak değişiklik gösterir. Zemin içindeki su miktarı arttıkça danelerin birbirine göre hareketi kolaylaşmakta, buna karşın birbirine yaklaşması zorlaşmaktadır. Buna göre, en iyi sıkışmanın elde edilebileceği su miktarının belirlenmesi ve bu şartlarda sıkıştırmanın yapılması gerekmektedir.

2.2.1.1. Laboratuvarda yapılan kompaksiyon deneyleri

Arazide iyi bir sıkışmanın elde edilebilmesi için, bu zemine ait optimum su muhtevasının ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar laboratuvarda Proktor (Kompaksiyon) deneyleri olarak bilinen deneyler ile belirlenebilmektedir.

Proktor deneylerinde zemin numuneleri, boyutları bilinen bir kalıp içerisinde, belirli sayıda tabakalar halinde ve üzerine ağırlığı bilinen bir ağırlığın sabit yükseklikten düşürülmesi ile sıkıştırılmaktadır. Başlıca iki çeşit Proktor deneyi vardır: Standart Proktor ve Modifiye Proktor deneyleri.

İki deneyde de zemin numuneleri 4 no'lu elekten elenir. Her kademedede su muhtevası artırılır. Deneyler sonunda kompaksiyon eğrileri çizilir ve bu eğrilerden zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenir. Standart proktor deneyinde zemin 3 tabaka halinde üzerine 2.5 kg ağırlığındaki bir kütlünün her tabakaya 30 cm yükseklikten 25 'er kere düşürülmesi ile yapılır. Modifiye proktor deneyinde ise zemin 5 tabaka halinde ve üzerine 4.5 kg ağırlığındaki bir kütlünün her tabakaya 45 cm yükseklikten 25 'er kere düşürülmesi ile sıkıştırılmaktadır. Her iki deney sonunda da zeminin en ideal olarak sıkıştırılabileceği su miktarı olan optimum su miktarı ve bu su muhtevasındaki kuru birim hacim ağırlığı belirlenmektedir.



Şekil 2.7. Uygulanan enerjinin kompaksiyona etkisi (Özaydın 1989)

Şekil 2.7 'den de görüldüğü gibi modifiye proktor deneyinde daha düşük su muhtevasında daha yüksek kuru birim hacim ağırlığı elde edilmektedir. Bunun sebebi uygulanan enerjinin farklı olmasıdır. Modifiye proktor deneyinde uygulanan enerji standart proktor deneyinde uygulanan enerjiden daha fazladır. Enerjinin artırılması ile daha düşük su muhtevasında, daha yüksek kuru birim hacim ağırlık elde edilmektedir.

2.2.1.2. Arazide yapılan kompaksiyon

Kompaksiyon deneyleri, arazide kompaksiyonun yapılmasının gerekli olduğu su muhtevasının belirlenmesinde kullanılır. Laboratuvar sonuçlarının arazide kullanılması için gerekli faktörler;

- 1- Zeminin tabii su muhtevasını optimum değerine uydurmak
- 2- Arazide yapılacak sıkıştırma için zeminin cinsine uygun kompaksiyon makinelerini seçmek

olarak sıralanabilir. Arazide ideal su muhtevasında çalışılması genellikle imkansızdır. Optimum su muhtevasının $\pm 5\%$ hassasiyetle arazide sağlanması ile kompaksiyon uygulanır. Arazide çalışma şartlarının, zeminin su muhtevasına, saha ve hava şartlarına bağlı olarak değiştirilmesi zorunludur (Kumbasar ve Kip 1992).

Ariyet sahasından getirilen ve özellikleri şartname koşullarına uygun olarak ayarlanan zeminin dolgu sahasına yerleştirilmesi sırasında kalınlıkları belli sınırlar altında kalacak şekilde tabakalar halinde serilmesi gerekir. Zeminin cinsine, uygulanacak

kompaksiyon enerjisine ve elde edilmesi istenilen sıklık derecesine bağı olarak seçilecek serilme kalınlığının genellikle 15-20 cm arasında kalmasına dikkat edilmelidir. Arazide kompaksiyon işleminin son aşamasını ise tabakalar halinde serilen zeminin yerinde sıkıştırılması olmaktadır. Bu sıkıştırma işleminin en iyi ve ekonomik olarak gerçekleşmesi için değişik türde arazi kompaksiyon makineleri geliştirilmiştir. Proje amaçlarına en uygun Kompaksiyon makinasının seçimi kompaksiyon işleminin başarı ile yürütülmesinin en önemli unsurlarından biridir (Özaydın 1989).

2.2.1.2.1. Kompaksiyon makineleri

Zeminlerin arazide sıkıştırılmasında kullanılan başlıca kompaksiyon makineleri şunlardır:

1- Düz ayaklı silindirler: Hemen hemen her çeşit zeminin sıkıştırılmasında kullanılan bu makineler zemin yüzeyi ile %100 temas halinde olup zemine 400 kPa 'a varan basınç uygulayabilir. En yaygın kullanım alanları sıkıştırılmış dolguların yüzeyinin yeniden sıkıştırılması ve asfalt kaplamaların sıkıştırılması olmaktadır.

2- Lastik tekerlekli silindirler: Birbirine yakın çok sayıda lastik tekerleği olan ağır bir arabadan bu silindirler kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Lastik hava basınçları 700 kPa 'a kadar yükseltilebilmekte, zeminin yüzeyi ile temas alanı yaklaşık %80 'e kadar olabilmektedir.

3- Keçi ayaklı silindirler: Çelik bir gövde üzerinde "ayak" biçiminde çok sayıda çıkıntıdan oluşan bu silindirde temas alanı %8-12, uygulanan basınç 1400-7000 kPa arasında olup sıkıştırma basıncı etkisi yanında yoğurma etkisinden de yararlanır. Özellikle kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılmasında kullanılır.

4- Titreşimli silindirler: Kohezyonsuz zeminlerin en iyi titreşimli yükler altında sıkıştırıldığı bilinmektedir. Bu sebeple silindirler üzerine titreşim veren makineler yerleştirilerek basınç ve titreşim etkilerinden yararlanılmaktadır. Daha çok kohezyonsuz zemin tabakalarının sıkıştırılmasında kullanılır.

5- Vibratörler: Büyük kompaksiyon makinelerinin kolaylıkla giremediği yerlerde elde çalıştırılan titreşimli sıkıştırıcılar kullanılır.

2.2.1.3. Kompaksiyonu etkileyen faktörler

Arazide kompaksiyonun hem verimli hem de en ekonomik bir şekilde sağlanması için kompaksiyonu etkileyen faktörlerin bilinmesi gereklidir. Zeminin cinsine göre uygun kompaksiyon makinasının seçimi, bu makinaların en randımanlı şekilde çalışması, en iyi

sonucun alınması ve ekonomik olması açısından bu faktörlerin dikkatle incelenmesi faydalı olacaktır (Özaydın 1989).

- 1- Zeminin özellikleri: Yapılacak toprak dolgunun sıklık derecesini ve mühendislik özelliklerini etkileyen başlıca zemin özellikleri şunlardır:
 - a) Zeminin granülometrisi
 - b) Zeminin su muhtevası
 - c) Zeminin başlangıçtaki sıklık derecesi
- 2- Kompaksiyonda kullanılan makinenin özellikleri:
 - a) Makinenin toplam ağırlığı, boyutları ve zemine uyguladığı basınç
 - b) Titreşimli makinelerde uygulanabilir titreşim frekansı aralığı ve çalışma frekansı
- 3- Kompaksiyon yöntemleri: Sıkışmanın randımanını etkileyen ve doğru seçilmesinde büyük yarar olan başlıca parametreler şunlardır:
 - a) Serilme kalınlığı
 - b) Makinenin geçiş hızı
 - c) Makinenin geçiş sayısı
 - d) Titreşim frekansı

2.2.1.4. Kompaksiyonun zemin özelliklerine etkisi

Kompaksiyon sayesinde daneli zeminlerin sıklık derecesi artmaktadır. Buna bağlı olarak kayma mukavemetinde artış ve yük altında sıkışmada (kompresibilite) ise azalmalar meydana gelmektedir. Kompaksiyon sonucunda daneli zeminlerin taşıma gücü artmakta ve yük altında daha az oturmaya uğramaktadır.

Daneli zeminlerin kompaksiyon özelliklerine su muhtevasının etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu sebeple, daneli zeminler uygun bir kompaksiyon yöntemi ve yeterli bir enerji ile istenilen sıklığa getirilebilmektedir. Daneli zeminlerin kompaksiyonunda en yüksek randıman titreşimli yükler uygulandığında elde edilmektedir (Özaydın 1989).

Kohezyonlu zeminler kohezyonsuz zeminlerden farklı olarak kompaksiyon su muhtevasından ve sıkıştırma yöntemi gibi faktörlerden çok etkilenmektedir. Kompaksiyon su muhtevası ve sıkıştırma yöntemi sıkıştırılmış kohezyonlu zeminlerin dane iç yapısını etkilemektedir. Bu yüzden sıkıştırılmış kohezyonlu zeminlerin mühendislik özellikleri kompaksiyon su muhtevasına ve sıkıştırma yöntemine bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir. Çizelge 2.3'de optimum su muhtevasının kuru ve ıslak tarafında sıkıştırılan zeminlerin özelliklerinin nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Optimum su muhtevasının kuru ve ıslak tarafında sıkıştırılan zeminlerin özelliklerinin karşılaştırılması (Özaydın 1989).

ÖZELLİK	KARŞILAŞTIRMA
A) Zemin İç Yapısı	Kuru taraf gelişigüzel, ıslak taraf eğimli dane yapısına sahip, kuru tarafın iç yapısı daha kolay göçmeye müsait
B) Permeabilite	Kuru taraf daha geçirgen
C) Sıkışabilirlik	Düşük basınçlarda ıslak taraf, yüksek basınçlarda kuru taraf daha fazla sıkışabilirliğe sahip, kuru taraf basınç altında daha hızlı sıkışır. Kuru taraf şişmeye daha müsait.
D) Mukavemet	
1-Kompaksiyon su muhtevasında	
a-Drenajsız	Kuru taraf çok daha yüksek
b-Drenajlı	Kuru taraf biraz daha yüksek
2-Suya doymun halde	
a-Drenajsız	Şişmeye izin verilmezse kuru taraf aksi halde ıslak taraf daha yüksek
b-Drenajlı	Hemen hemen aynı
c-Göçmede boşluk suyu basıncı	Islak taraf daha yüksek
d-Gerilme-deformasyon modülü	Kuru taraf daha yüksek
e-Sensitivite	Kuru taraf daha yüksek

2.2.2. Katkı malzemeleri kullanılması ile zemin stabilizasyonu

Son zamanlarda, birçok katkı malzemesinin zemin stabilizasyonunda kullanılmasının araştırılması popüler bir konu haline gelmiştir. Zeminler içine bazı katkı malzemeleri katılarak özelliklerinin nasıl değiştiği ve buna bağlı olarak zemin stabilizasyonundaki kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği ispatlanmış ve yaygın olarak kullanılan katkı malzemeleri arasında kireç, çimento, baca külü, asfalt, çakıl, kimyasal maddeler sayılabilir.

2.2.2.1. Kireçle stabilizasyon

Kirecin zemin stabizasyonundaki etkisi yıllardır bilinmektedir ve çok uygulanan bir stabilizasyon yöntemidir. Zemin - kireç karışımının sertleşmesi yüksek sıcaklıklarda daha hızlı olduğu için genelde sıcak iklimler için daha uygun olmaktadır (Kumbasar ve Kip 1992).

Kireç stabilizasyonu daha çok ince daneli zeminlerde uygulanmaktadır. Şişme probleminin görüldüğü killi zeminlerde şişmeyi önlemek için kireç kullanılmaktadır. İnce daneli zeminlere kireç karıştırılması, zeminin plastisitesini azaltmaktadır. Dolayısıyla, plastisiteye bağlı olan şişme miktarı da azalmaktadır. Ayrıca, kil mineralleri ile kireç arasındaki reaksiyonlar sonucu meydana gelen çimentolaşma sayesinde zeminin mukavemeti artmaktadır. Kireç, zeminin plastisitesini azalttığı için inşaat alanlarında kullanılan makinelerin hareketini kolaylaştırması bakımından arazi çalışma koşullarının iyileştirilmesinde de kullanılmaktadır.

2.2.2.2. Kireç - baca külü stabilizasyonu

Baca külü, uçucu kül olarak adlandırılan malzeme, termik santrallerin bacalarından toplanan daneli bir malzemedir. Kireç stabilizasyonunun daha çok ince daneli zeminlerde kullanılmasına karşın, kireç - baca külü karışımları iri daneli zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmaktadır. Çünkü baca külü iri daneli zeminler arasındaki boşlukları doldurucu bir özellik göstermekte, kireç ise bağlayıcılık kazandırmaktadır. Zemine kireç-baca külü karıştırılması ile zeminin basınç ve çekme mukavemeti ve dayanıklılığı artmaktadır. Dolayısıyla, zeminin taşıma gücü de artmaktadır.

2.2.2.3. Çimento ile yapılan stabilizasyon

Çimento stabilizasyonu, içerisinde kil mineralleri olmayan kaba daneli zeminler için uygulanmaktadır. Çimento, zemin daneleri arasında betonda olduğu gibi bir bağlayıcılık sağlamaktadır. Ancak, betondan en büyük farkı çimentonun çok küçük oranlarda kullanılmasıdır. Zemine çimento katılmasının amacı, zeminin mukavemetinin artırılmasını sağlamaktır. Çimento stabilizasyonu ile zeminin kayma mukavemeti ve dayanıklılığı artmaktadır. Ayrıca, zeminin permeabilitesi yani geçirgenliği azalmaktadır (Özaydın 1989, Kumbasar ve Kip 1992).

2.2.2.4. Asfalt ile stabilizasyon

Kireç ve çimento stabilizasyonu puzzolanik reaksiyonlar sonucunda zeminin mukavemetini artırmaktadır. Asfalt stabilizasyonu ise zeminin suyunun zararlı etkilerden korunmasını ve danelerin birleştirilmesini sağlamaktır. İnce daneli zeminlere asfalt karıştırılması bu zeminlerin su ile karıştırıldıklarında yumuşamasını önlemektir. Ancak çok fazla enerji gerektirdiği için ekonomik değildir. İri daneli zeminlere asfalt

karıştırılarak aralarındaki bağlayıcılık sağlanmaktadır. Bu sayede zemin daneleri birbirine yapışmakta ve zemin dayanımı artmaktadır (Özaydın 1989, Kumbasar ve Kip 1992).

2.2.3. Zemin tabakalarının özelliklerini yerinde iyileştirme yöntemleri

Toprak dolguların hazırlanması, kaplama ve kaplama altı zemin tabakalarının özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı maddeleri ile stabilizasyon daha çok yapılmaktadır. Ancak pek çok durumlarda arazideki zemin tabakalarının yerinde iyileştirilmesi de gerekli olmaktadır. İri daneli ve ince daneli zeminler için değişik yöntemler geliştirilmiştir. İri daneli zeminlerin mühendislik özellikleri daha çok sıklık derecelerinden etkilenirken, ince daneli zeminlerin mühendislik özellikleri daha çok su muhtevası ile ilişkili olmaktadır. Zemin tabakalarının özelliklerini yerinde iyileştirme yöntemleri aşağıda verilmiştir.

2.2.3.1. Ön yükleme yöntemleri

Ön yükleme, yumuşak kil tabakalarının mukavemetini artırmak ve inşa edilecek yapı altında oluşabilecek oturmaları azaltmak için kullanılmaktadır. Ön yükleme yönteminde, inşaat sahası geçici olarak toprak dolgu ile kaplanmakta ve temel zeminini oluşturacak olan tabakaların bu ağırlık altında konsolide olması sağlanmaktadır. Uygulanan konsolidasyon basıncı arttıkça zeminin mukavemeti de artmaktadır. Daha sonra bu dolgu kaldırılarak yerine yapı inşa edilmektedir. Zemin daha önce ön konsolidasyona uğradığı için yapıdan gelen yükler altında meydana gelecek oturmalar azalmaktadır. Ön yükleme yumuşak ve permeabilitesi düşük kil tabakalarında uygulandığı için, konsolidasyonun tamamlanabilmesi için uzun süre beklenilmelidir (Johnson 1970, Aldrich 1965).

Ön yükleme ve konsolidasyon sonucu kohezyonlu zeminin drenajsız mukavemeti artar. Bu durum, kademeli inşaat tekniğinin esasıdır. Zayıf ve yumuşak zeminlerde ön yükleme sırasında stabilite durumu dikkatlice takip edilmelidir (Bjerrum 1972).

2.2.3.2. Drenaj yöntemleri

İnce daneli zeminlerin mühendislik özellikleri su muhtevısından çok fazla etkilenmektedir. Bu zeminlerin permeabilitesi çok az olduğundan ön yükleme için konsolidasyon uzun zaman almaktadır. Konsolidasyon süresi düşey drenlerin kullanılması ile büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Zemin içine düşey kum drenaj kolonları veya yapay drenaj levhaları yerleştirilerek suyun bu drenaj kanalları vasıtası ile zeminden dışarı çıkma süresi hızlandırılmaktadır.

Arazide yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde değişik drenaj yöntemleri ile yeraltı su seviyesinin düşürülmesi mümkündür. Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi ile zemin tabakalarına etki eden efektif gerilmeler artmaktadır. Su seviyesinin indirildiği yerlerde zeminin su muhtevası azaldığı için killi zeminlerin mukavemeti artmaktadır (Özaydın 1989).

2.2.3.3. Enjeksiyon yöntemleri

Enjeksiyon, zemin tabakalarının özelliklerini yerinde iyileştirmek için zemin içine süspansiyon veya çözelti halindeki bazı maddelerin enjekte edilmesidir. Enjeksiyonla zeminlerin mukavemetinin artırılması, sıkışabilirliğin azaltılması ve permeabilitenin azaltılması sağlanmaktadır. Enjeksiyon sırasında zemine bentonit, çimento, kireç, asfalt, kimyasal maddeler püskürtülmektedir. Üskürtülen malzeme, zemindeki boşlukları kaplamakta ve serleştikten sonra zeminin mühendislik özelliklerinde iyileşmeler olmaktadır. Enjeksiyon şu amaçlar için uygulanmaktadır (Ergun 1994).

- 1- Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukları doldurma
- 2- Yeni yapılar veya mevcut yapıların büyütülmesi halinde zeminin emniyetli gerilmesini artırma
- 3- Yeraltı su akımını kontrol altına alma
- 4- Sınır hafriyatlarında veya kazık çakımı gibi işlemlerde gevşek veya orta gevşek kohezyonsuz zeminin oturmasını önleme
- 5- Tünel kazısı sırasında deplasmanları kontrol etme
- 6- İksa problemlerini rahatlatmak için zemin güçlendirilmesi
- 7- Kazıkların düşey ve yatay kapasitelerini artırmak
- 8- Sıvılaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taşlaştırma
- 9- Temeli alttan destekleme işleri
- 10- Şev stabilitesi
- 11- Şişen zeminlerin stabilizasyonu

2.2.3.4. Derin sıkıştırma

Zeminleri iyileştirmenin ana amaçlarından biri de aşırı oturmaları önlemektir. Gevşek kohezyonsuz zeminler stabilite ve oturma yönleri ile genellikle önemli problemler çıkarmazlar. Ancak, sıvılaşma bu tip zeminlerde önemli bir problemdir. Deprem kuşağı ülkelerde suya doygun bu tip formasyonlar önemli yapılar altında derin sıkıştırmaya tabi tutulmaktadır. Derin sıkıştırma gevşek kohezyonsuz zeminlerin derinlik boyunca

sıkıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu tip yöntemlerin belli başlıları şu şekilde sıralanabilir (Ergun 1994).

- 1- Vibrakompaksiyon veya vibroflotasyon
- 2- Vibro (titreşimli) boru, çubuk ve sondalar
- 3- Kompaksiyon kazıkları
- 4- Dinamik kompaksiyon - ağırlık düşürme
- 5- Patlatma

2.2.3.5. Isıl işlemler

Bazı zeminlerde ortam sıcaklığının artırılması veya düşürülmesi zemin stabilizasyonu için kullanılabilir. Litvinov ve arkadaşları (1979), lős zeminler başta olmak üzere suya doygun olmayan silt ve killerde ortam sıcaklığının artırılması ile zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirileceğini ortaya çıkarmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda killi zeminlerin 400-600 °C 'ye kadar ısıtıldığında ortamdan su almayacak kadar değişikliğe uğradığını belirlemişlerdir. Yine kilin 900 °C 'de tuğlaya dönüştüğü bilinmektedir.

Locher (1981), yaptığı çalışmalarda kendini kısa bir süre de olsa tutamayacak olan ve göçme eğilimi gösteren ortamlardaki kuyu ve tünel gibi kazıların stabilitesini sağlamak için o bölgenin dondurulması ile geçici olarak çözüm bulunacağını belirlemiştir. Shuster (1972), Ersoy (1976), çalışmalarında donan zeminlerin kayma direncinin arttığını ortaya çıkarmışlardır.

Isıl işlemler ile zeminde kısa vadeli çözümler oluşturulmaktadır. Ancak, maliyet çok fazla olmaktadır. Bunlara rağmen gerektiğinde uygulanabilmektedir.

2.2.3.6. Zeminin güçlendirilmesi

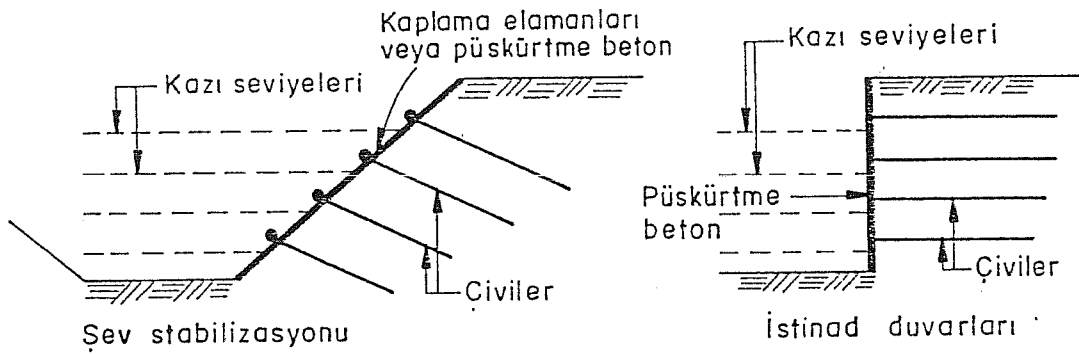
Son yıllarda incelenen zemin stabilizasyon yöntemleri arasında en çok ilgi çeken konulardan birisi de zeminin güçlendirilmesidir. Zeminin güçlendirilmesi için, mini veya mikro kazıklar, zemin çivileri, plastik veya paslanmaz çelik şeritlerden oluşan ve donatı adı verilen malzemeler kullanılmaktadır.

Mini veya mikro kazıklar çelik veya çelik boru donatılı, çimento veya çimento-kum ve su karışımı ile zemin içine dökülüp hazırlanan 6-7 cm.'den 25-30 cm.'ye kadar çapı olan kazıklardır (Ergun 1994).

Lizzi (1983), mini kazıkların yapıların temel takviyesinde kullanıldığı gibi yeni inşaatlarda da kullanılabileceğini belirtmiştir. Lizzi (1985), yaptığı çalışmada küçük çapta (<10 cm.) ve çok sayıda düşey ve eğik kullanımı olan mikro kazıkların bir nevi kütle

iyileştirmesi yaptığını ortaya çıkarmıştır. Yine bu çalışmasında, temel yüklerini taşımak veya heyelanların stabilizasyonunda mini veya mikro kazıkların kullanılabileceğini belirtmiştir.

Zemin çivilemesi, zeminin içine doğrudan donatı çakarak veya delip içine donatı yerleştirip enjeksiyon karışımı ile basınçsız doldurmak suretiyle güçlendirmek prensibine dayanmaktadır. Zeminin çivilenmesi ve ankrajlar, kazı kenarlarının ve şevlerin stabilizasyonunda yatay veya yataya yakın bir şekilde kullanılır. Zemin çivilenmesinin uygulanması Şekil 2.8 'de görülmektedir.



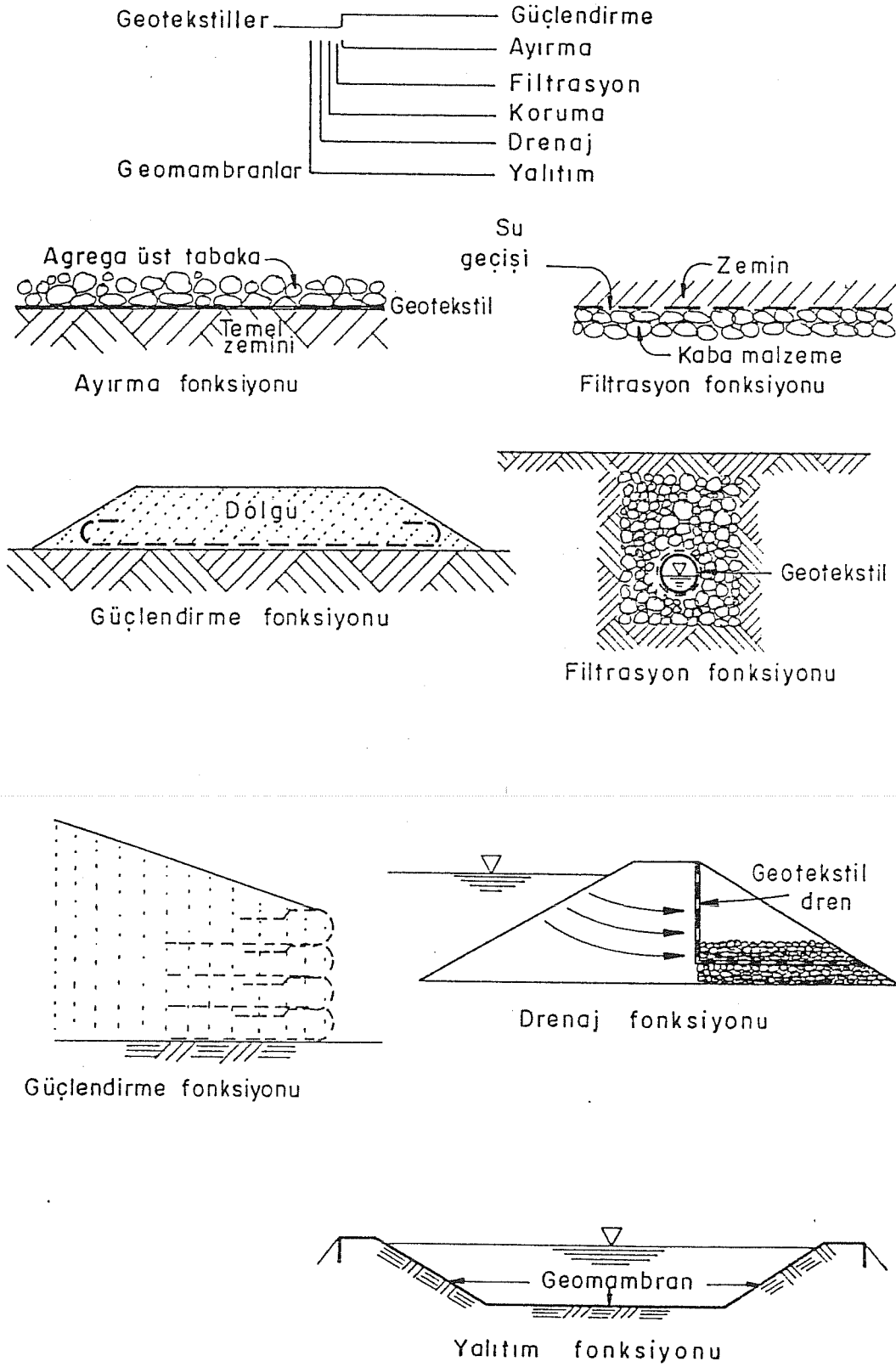
Şekil 2.8. Zemin çivileri uygulanması (Ergun 1994).

Son 30 yıldır dolgularda, donatılı zemin (toprakarme) denilen yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemde dolgular içine çeşitli tipte donatılar döşenerek zemin tabakalar halinde sıkıştırılır. Ve donatılar öncephede duvar elemanlarına bağlanır.

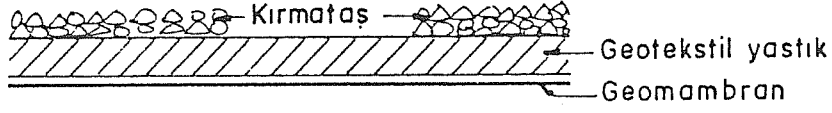
2.2.3.7. Geotekstiller veya geosentetikler

Geotekstil veya geosentetik çok amaçlı bir stabilizasyon malzemesi olarak özellikle son yıllarda daha sık kullanılmaktadır. Geotekstillerin ham maddeleri polimerler, polietilen, poliester, naylon ve PVC (polivinil klorür) olarak farklı karakterde malzemelerden oluşmaktadır.

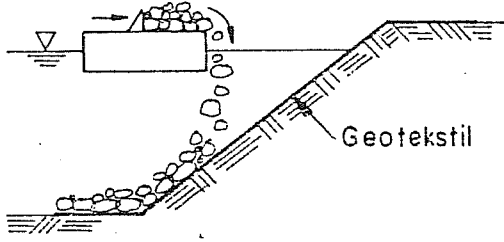
Geotekstiller çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunların belli başlıları ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme koruma ve yalıtım fonksiyonlarıdır. Geotekstilin uygulama alanları Şekil 2.9 'da görülmektedir.



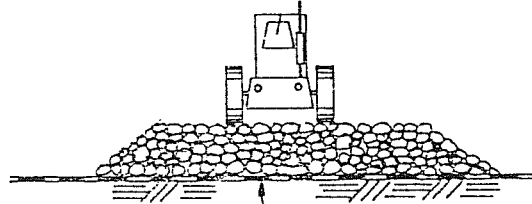
Şekil 2.9. Geotekstilin uygulama alanları (Ergun 1994)



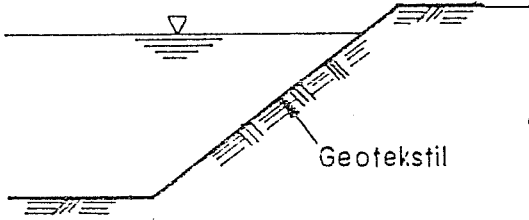
Koruma ve yalıtım fonksiyonları



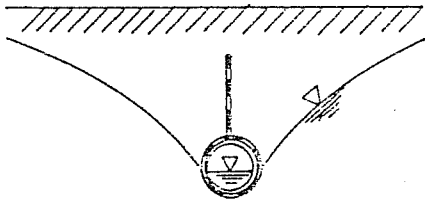
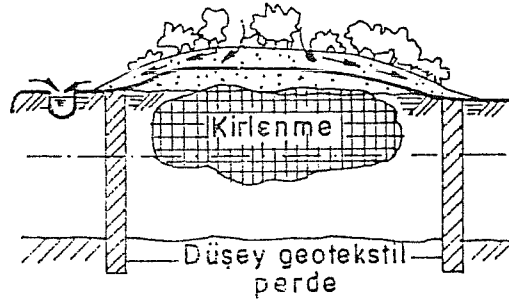
Kıyı koruması



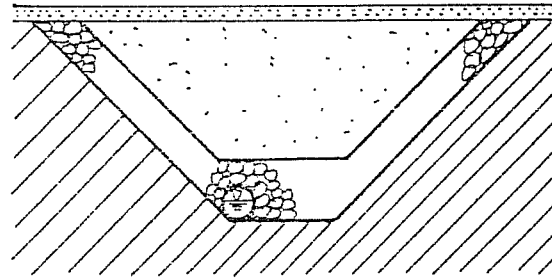
Zemin ve taşların sıkıştırılması



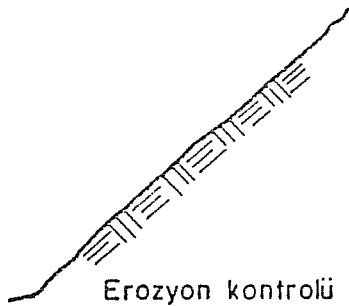
Geotekstil kaplanmış su altı
şev ve dalga tesirinden korunma



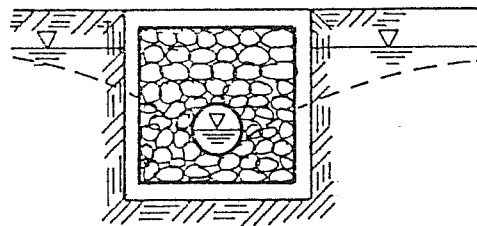
Geotekstil zarflı drenaj
borusu



Ø:75 mm kapiler koruma



Erozyon kontrolü



Hendek drenajı

Şekil 2.9 'un devamı

3. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Seçilen Numunelerin Özellikleri

Bu çalışmada, iki farklı yerden alınan zemin numuneleri kullanılmıştır. Öncelikle, Isparta Organize Sanayi Bölgesi'nden 3 ayrı noktadan alınan zemin numuneleri kullanılmıştır. Bu zemin numuneleri yüzeyden yaklaşık olarak 80 cm. derinlikten ve 100'er m. ara ile alınmıştır. Daha sonra, İstanbul'dan getirilen zemin numunesi kullanılmıştır.

Her iki zemin numunesinde de katkı malzemesi olarak Isparta - Gölcük yolu üzerindeki Isparta Belediyesine ait, Bims Yapı Elemanları fabrikasından alınan 4 ve 40 no'lu elek altı pomza kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bütün zemin numunelerinin fiziksel ve indeks özellikleri belirlenmiş ve bu bölümde verilmiştir.

Çalışmada, sadece tabii birim hacim ağırlık ve tabii su muhtevası tesbitinde örselenmemiş zemin numuneleri kullanılmıştır. Serbest şişme ve konsolidasyon deneylerinde örselenmemiş numune alma ve hazırlama imkanlarımız olmadığı için örselenmiş numuneler kullanılmıştır.

3.2. Deneysel Çalışmalar

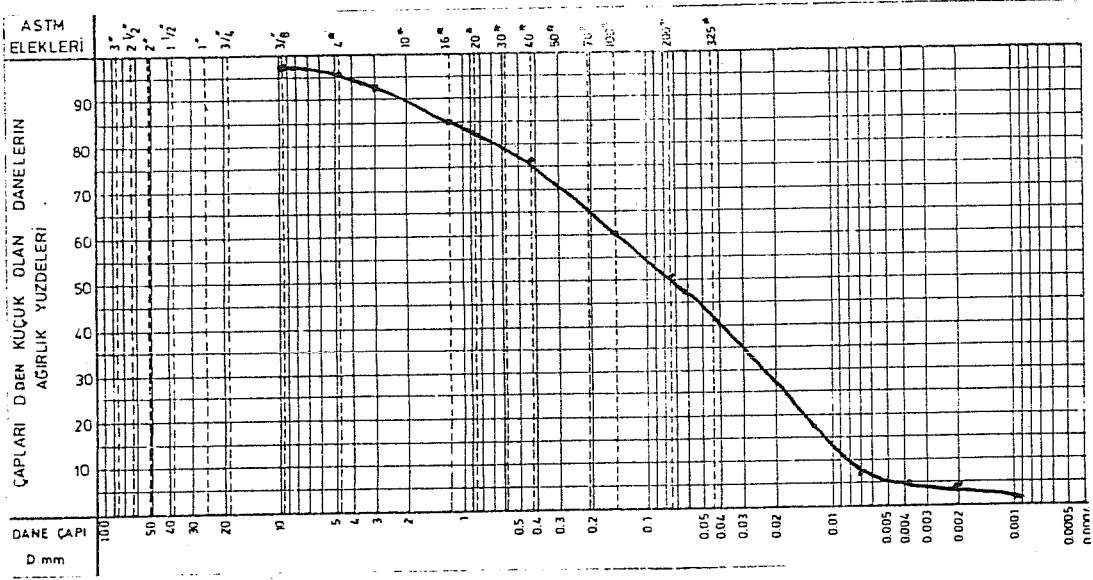
Numuneler üzerinde elek ve hidrometre analizleri, kıvam limitleri deneyleri yapılmış ve cinsleri tesbit edilmiştir. Ayrıca zemin numunelerinin tabii su muhtevaları ve dane birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Yapılan standart Proktor deneyleri ile zemin numunelerinin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Zemin numuneleri üzerinde serbest şişme ve konsolidasyon deneyleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kullanılan pomzanın fiziksel ve indeks özellikleri belirlenmiş, minerolojik yapısı incelenmiş ve konsolidasyon karakteristikleri araştırılmıştır.

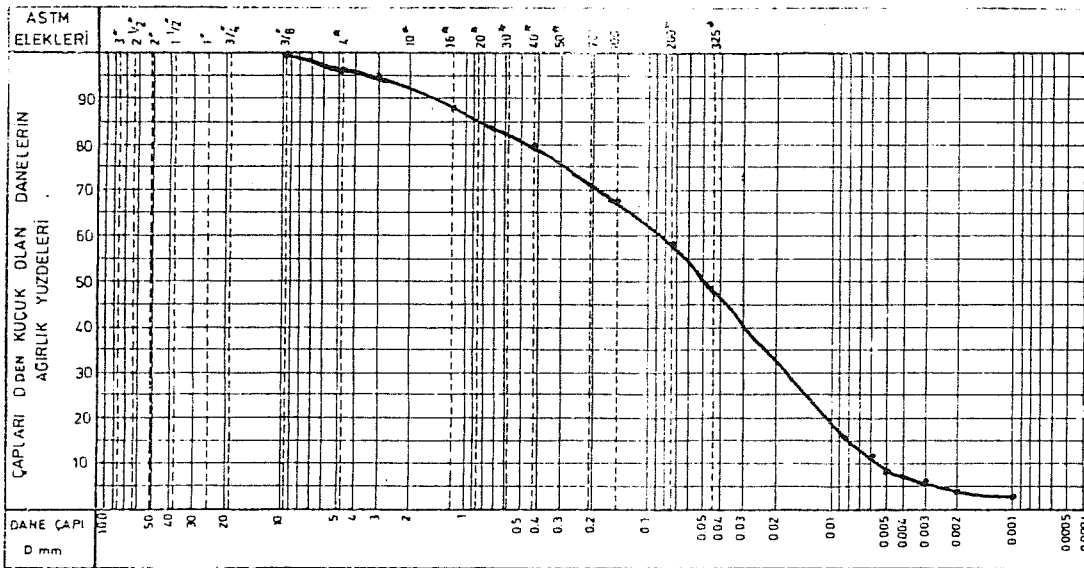
Fiziksel ve indeks özellikleri belirlenen zemin numunelerine, yine özellikleri bilinen pomza, belli oranlarda katılarak zeminlerin mühendislik özelliklerini, nasıl değiştirdiği incelenmiştir.

3.2.1. Laboratuvar sınıflandırma deneyleri

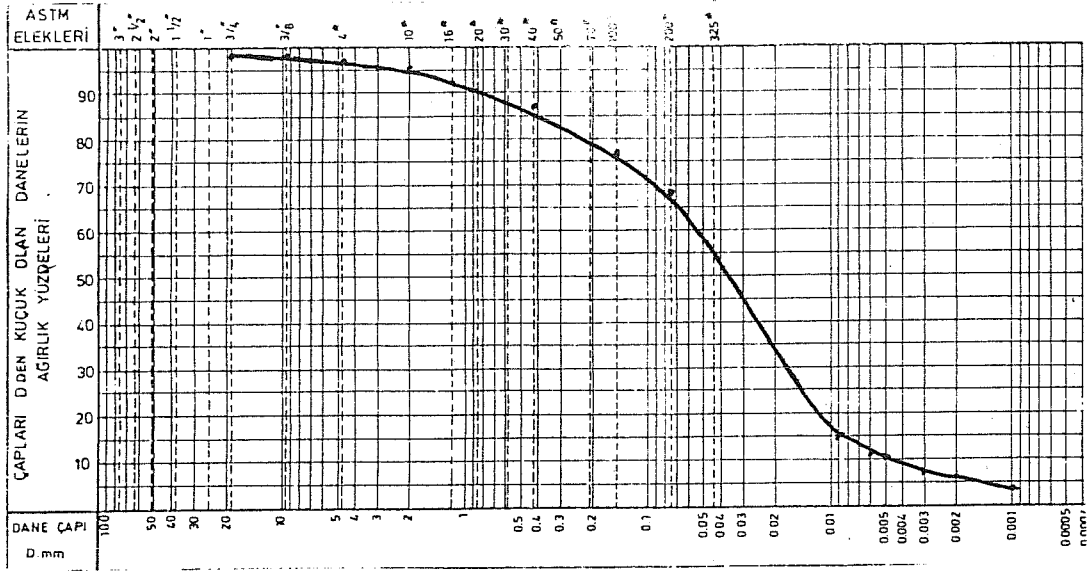
Zemin numuneleri üzerinde dane çapı dağılımlarının belirlenmesi amacı ile elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda, elde edilen granülometri eğrileri Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 'de verilmiştir.



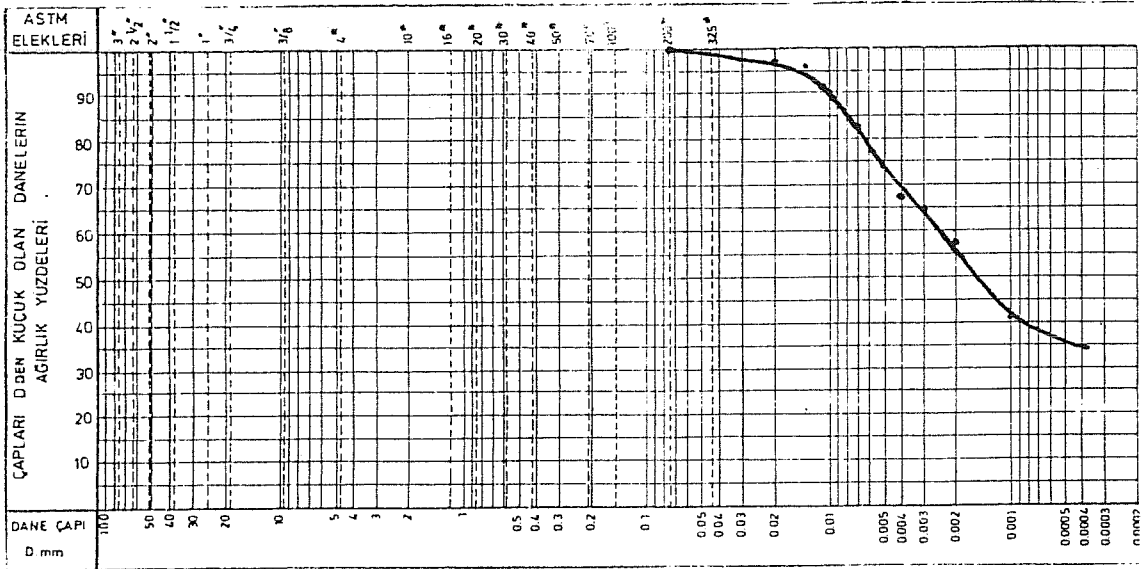
Şekil 3.1. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait granülometri eğrisi



Şekil 3.2. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait granülometri eğrisi



Şekil 3.3. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait granülometri eğrisi



Şekil 3.4. İstanbul'dan getirilen numuneye ait granülometri eğrisi

Numuneler üzerinde, kıvam limitleri deneyleri yapılarak likit, plastik ve rötre limitleri belirlenmiştir. Çizelge 3.1 'de kullanılan kil zemin numunelerinin fiziksel ve indeks özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan kil zemin numunelerinin özellikleri

Özellikler	Organize Sanayi Bölgesi Numuneleri			İstanbul Numunesi
	1	2	3	
γ_{kmax} (gr/cm ³)	1.79	1.69	1.61	1.19
W opt. %	17	19	23	38
Likit Limit %	29	40	35	126
Plastik Limit %	15	18	21	47
Plastisite İndisi %	14	22	14	79
Rötre Limiti %	12	15	16	37
Tabii Su Muhte. %	7	12	13	-
γ_s (gr/cm ³)	2.68	2.75	2.73	1.94
Çakıl %	5	4	3	0
Kum %	45	38	32	0
Silt %	49	56	62	42
Kil %	1	2	3	58
Rengi	Gri	Gri	Gri	Koyu Gri
Zemin Cinsi	CL	CL	CL	CH

3.2.2. Pomza üzerinde yapılan deneyler

Pomza üzerinde kıvam limitleri deneyleri yapılmış ve pomzanın plastiklik özelliğinin olmadığı belirlenmiştir. Dane birim hacim ağırlığı ve permeabilite katsayısı saptanmıştır. Ayrıca, tabii su muhtevası ve tabii birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Pomza Polarizan Mikroskopta incelenerek minerolojik yapısı belirlenmiştir. Mikroskobik inceleme için pomza numunesi kaynayan Kanada Balzamına batırılmış ve boşlukların bununla dolması sağlanmıştır. Daha sonra numune cama yapıştırılmış ve ince kesit laboratuvarında aşındırıcı tozlar vasıtası ile 30 mikron inceliğe kadar inceltirilmiştir. İnceltiren bu numunenin optik özelliklerinden hareket edilerek taşı oluşturan materyallerin özellikleri tesbit edilmiştir. Elde edilen resimler Bölüm 4'de verilmiştir. Pomza numuneleri üzerinde ödometre deneyleri yapılmış ve pomzanın konsolidasyon özellikleri incelenmiştir. Bu deneyler için , araziden blok boyutunda pomza numunesi alınmıştır. Bu numune mermer atölyesinde ödometre ringine girecek şekilde kestirilmiştir. Daha sonra ödometre aletine yerleştirilmiş ve kuru olarak yüklenmiştir. Deneylerin bir serisinde pomza numunesine 2 kg/cm² yük kademesinde , diğer bir seride ise 4 kg/cm² yük kademesinde su verilmiştir. Numuneler 8 kg/cm² yük kademesine kadar yüklenmiş ve daha sonra boşaltmaya geçilmiştir. Elde edilen konsolidasyon eğrileri EK1'de verilmiştir. Kullanılan pomzanın özellikleri Çizelge 3.2 'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Kullanılan pomzanın özellikleri

Likit Lim %	Plastik Lim %	Rötre Lim %	Plastisite İndisi %	Tabii Su Muhtevası %	γ_n gr/cm ³	γ_s gr/cm ³	k cm/sn
35	-	7	-	25 - 30	0.4 - 1	1.22	0.04 - 0.7

γ_n : Tabii birim hacim ağırlık , γ_s : Dane birim hacim ağırlık , k : Permeabilite katsayısı

3.2.3. Kıvam limitleri deneyleri

Numuneler üzerinde kıvam limitleri deneyleri yapılarak likit, plastik ve rötre limitleri belirlenmiştir. İnce daneli zeminlerin viskoz bir sıvı kıvamından plastik bir kıvama dönüştüğü su muhtevasına likit limit denilmektedir. Öncelikle zemin numunesi No 40 elekten elenmiştir. No 40 elek altında kalan numuneye su ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. Bu karışımdan bir miktarı plastik limit deneyi için ayrılmıştır. Geri kalan numuneye tekrar su ilave edilerek karıştırılmış ve Casagrande aletinin kaşığına doldurulmuştur.

Numuneyi doldurma aşamasında içerisinde hava boşluğu kalmamasına ve kaşığın tam dolmasına dikkat edilmiştir. Standart yarık açma bıçağı ile yarık açılarak, alet kolu çevrilmiş ve kaşığın düşürülmesi sağlanmıştır. Açılan yarığın 1.25 cm. kadarlık kısmının kapanmasını sağlayan düşme sayısı kaydedilmiş ve bu aşamadaki su muhtevasını belirlemek için darası belli kaba numune alınmıştır. Bu deney 25 vuruşun üstünde 2 kez, 25 vuruşun altında 1 kez olacak şekilde farklı su muhtevalarında yapılmıştır. 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası belirlenerek likit limit olarak kaydedilmiştir.

Likit limit deneyinin son aşamasında, hacmi ve ağırlığı belli olan rötre kaplarına numune koyularak rötre (büzülme) limitleri belirlenmiştir. Bu numuneler hazırlanırken kalıplar hafifçe yağlanıp numune tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Hazırlanan numunelerin kalıp + yaş numune ağırlığı belirlenerek birkaç gün açık havada bekletildikten sonra etüve konulmuştur. Kuruyan numune civaya batırılarak, taşan civanın ağırlığından kuru numune hacmi belirlenmiştir. Daha sonra aşağıdaki formül yardımı ile zeminin rötre limiti belirlenmiştir.

$$W_R = \frac{W_1 - W_2}{W_2} - \frac{\gamma_w (V_1 - V_2)}{W_2} \dots \dots \dots (3.1)$$

Burada; W_1 , yaş numunenin ağırlığı; W_2 , kuru numunenin ağırlığı; γ_w , suyun birim hacim ağırlığı; V_1 , yaş numunenin hacmi; V_2 , kuru numunenin hacmi'dir.

Zeminin plastiklik özelliğini koruduğu en düşük su muhtevasına plastik limit denilmektedir. Likit limit deneyi sırasında ayrılan numune, cam yüzey üzerinde yuvarlanarak ince silindirler haline getirilmiştir. Zeminin kırılmadan yaklaşık 3 mm. kalınlığında çubuklar oluşturduğu su muhtevası, plastik limit değeri olarak kaydedilmiştir. Zemin plastik limit kıvamına geldiğinde 3 mm. kalınlığındaki çubuklar, kırılmaya ve üzerinde çatlaklar oluşmaya başlamaktadır.

3.2.4. Kompaksiyon deneyleri

Zemin numunelerinin maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının ve optimum su muhtevalarının belirlenmesi için laboratuvarında standart kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Numuneler 105 °C 'deki etüvde kurutulmuş ve No 4 elekten elenmiştir. Eleğin altında kalan numuneye azar azar su katılarak iyice karıştırılmıştır. Daha sonra karışım yaklaşık 950 cm³ hacmindeki proktor kalıbına 3 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her tabakaya 2.5 kg ağırlığındaki tokmak ile 30 cm. yükseklikten 25 'er kere serbest düşme yaptırılmıştır. Proktor kalıbının sökülebilir olan parçası ayrılarak, sıkıştırılmış zeminin hacminin kalıp hacmine eşit olması için yüzeyi tıraşlanmış ve kalıp + yaş numune ağırlığı belirlenmiştir. Kalıbın alt ve üst kısımlarından darası belli olan kaplara numune alınarak tartılmış ve en az 24 saat bekletilmek üzere etüve konmuştur. Kalıba sıkıştırılan numune çıkarılarak su miktarı artırılmış ve iyice karıştırılmıştır. Yukarıda anlatılan işlemler tekrar yapılmıştır. Kalıp + yaş numune ağırlığı su miktarı artırıldıkça artmaktadır. Ancak, belli bir seviyeden sonra su miktarı artırıldıkça kalıp + yaş numune ağırlığı azalmaya başlamaktadır. Bizim için önemli olan bu dönme noktasını (γ_{kmax} , W_{opt}) bulmak olduğundan deneylerde çok hassas davranılmıştır. Kompaksiyon deneylerinde 4 artış, 2 azalış kademesi olacak şekilde en az 6 kademe deney yapılmıştır. Deneylerde çeşme suyu kullanılmıştır.

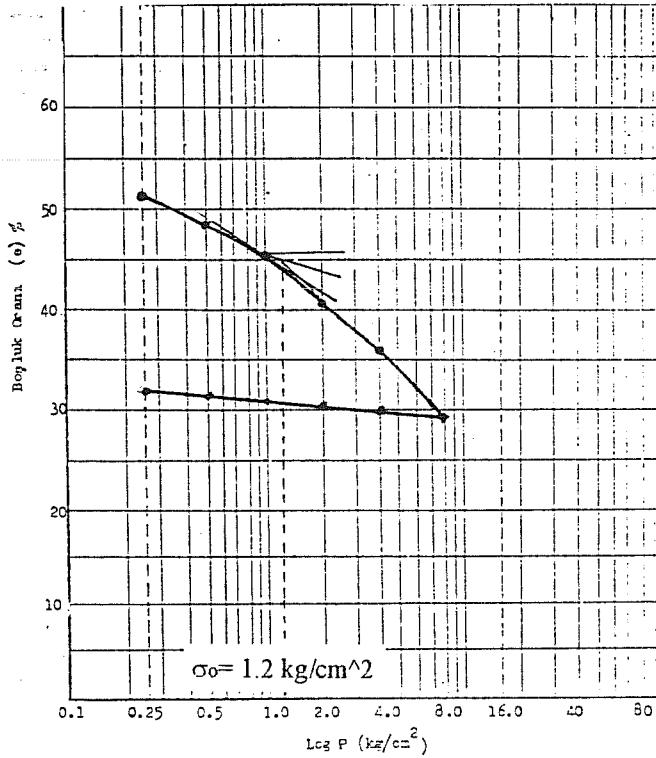
Katkısız haldeki optimum su muhtevası (W_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) belirlenen zemin numunelerine farklı oranlarda 4 no 'lu elek altı pomza karıştırılarak bu durumdaki optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Farklı pomza oranlarında yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda çizilen kompaksiyon eğrileri biraraya getirilmiş ve her zemin için ayrı ayrı çizilmiştir.

3.2.5. Konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneyleri

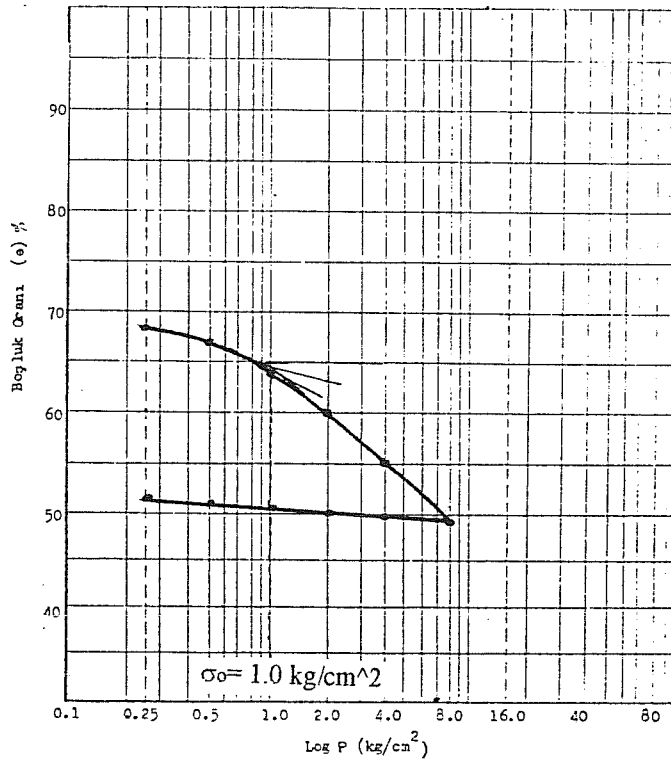
Zemin numunelerinin şişme ve konsolidasyon (oturma) davranışlarının incelenebilmesi için ödometre deney aleti kullanılmıştır. Numuneler tabii su muhtevasında ve tabii birim hacim ağırlıkta olacak şekilde hazırlanmış ve konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Pomza katkılı numuneler ise standart proktor deneylerinden elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlıkta ve optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Hazırlanan pomza katkılı numune proktor kalıbından çıkarılarak, 7 cm. çaplı ve 1.8 cm. yüksekliğindeki ödometre ringi bu numuneye batırılmıştır. Numunelerin su muhtevasının değişmemesi için titizlik gösterilmiştir. Daha sonra ring + yaş numune ağırlığı belirlenmiştir. Numunenin altına ve üstüne ıslatılmış

poroz kağıtlar ve poroz taşlar koyularak ödometre aletine yerleştirilmiştir. Alet, üzerine kadar su ile doldurulmuş ve hacim değişikliğine izin vermeyecek şekilde yüklenmiştir. Hacim değişikliğinin olmadığı yük şişme basıncı olarak belirlenmiştir. Şişme basıncı belirlendikten sonra konsolidasyon aşamasına geçilmiştir. Yük kademesi 8 kg/cm^2 'ye kadar artırılmıştır. Her yük kademesinde 15 sn., 30 sn., 1 dk., 2 dk., 4 dk., 8 dk., 15 dk., 30 dk., 1 sa., 2 sa., 4 sa., 8 sa. ve 24 sa. 'lık okumalar alınmıştır. Yükleme kademeleri bittikten sonra boşaltmaya geçilmiştir. Boşaltma sırasında her yük kademesinde sadece 24 sa. okuması alınmıştır. Elde edilen deney sonuçları yardımı ile konsolidasyon eğrileri çizilmiştir. Çizilen konsolidasyon eğrilerinden ön konsolidasyon basınçları belirlenmiştir. Zemin numunelerine ait ön konsolidasyon basınç değerlerinin bulunuşu Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 'de görülmektedir.

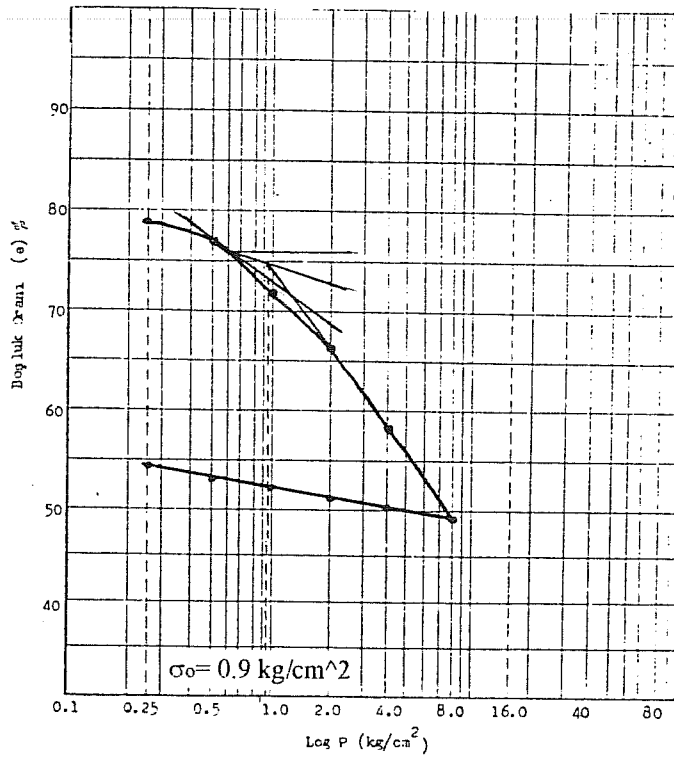
Şekillerde görülen ön konsolidasyon basınçları örselenmiş numuneler üzerinde yapılan deneyler ile bulunmuştur. Örselenmemiş numune alma imkanımız olmadığı için numuneler tabii su muhtevasında ve tabii birim hacim, ağırlıkta olacak şekilde laboratuvar da kompaksiyon ile hazırlanmış ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.



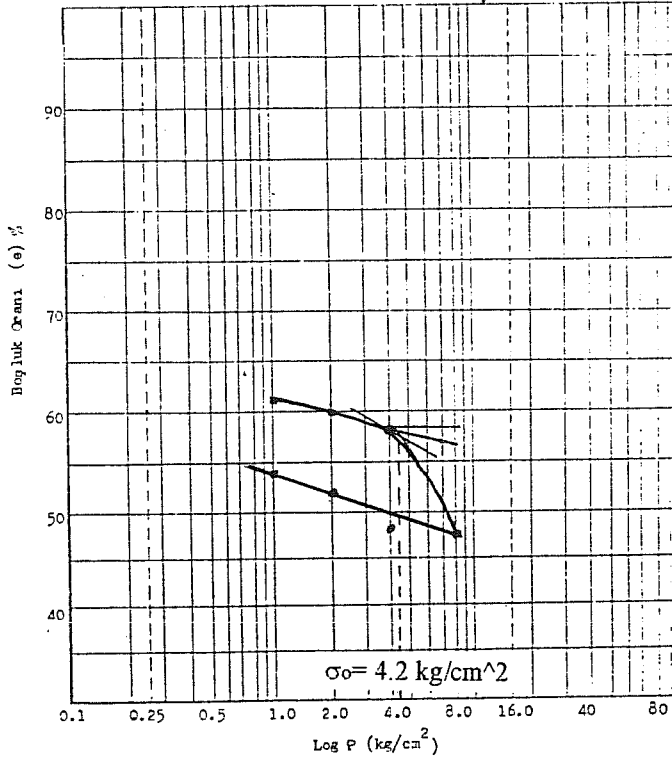
Şekil 3.5. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait e - log P eğrisi



Şekil 3.6. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait e - log P eğrisi



Şekil 3.7. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait e - log P eğrisi



Şekil 3.8. İstanbul numunesine ait $e - \log P$ eğrisi

Pomzanın konsolidasyon özelliklerini belirlemek amacıyla ödometre deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde pomza, ödometre ringine girecek şekilde kesilmiş ve numuneler etüvde kurutulduktan sonra bir kısmı kuru olarak yüklenmiş, diğer kısmı ise kapiler yolla su alacak şekilde şişmeye bırakılmıştır. Elde edilen konsolidasyon eğrileri Ek 1'de verilmiştir.

Pomza katkılı kompaksiyon deney sonuçlarına göre yine kompaksiyonla hazırlanan zemin numuneleri üzerinde ödometre deneyleri yapılmıştır. Pomzanın şişme basıncına ve hacimsel sıkışma katsayısına olan etkisi araştırılmıştır. Pomza katkılı ödometre deneylerinden elde edilen sonuçlar ile konsolidasyon eğrileri çizilmiştir. Elde edilen konsolidasyon eğrileri Ek 2'de verilmiştir.

Serbest basınç deneyinde silindirik ringte hazırlanan zemin numuneleri eksenel doğrultuda yüklenmiştir. Numunenin kırıldığı andaki gerilme değeri serbest basınç mukavemeti olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, numunelerin yine cep penetrometresi ile serbest basınç mukavemetleri belirlenmiş ve bu iki deneyde bulunan değerlerin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir.

Konsolidasyon, şişme ve serbest basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar 4. Bölümde verilmiştir.

4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

4.1. Zemin Numunelerinin Tanımlanması

4.1.1. Kil numunelerin tanımlanması

Yapılan sınıflandırma deneyleri sonucunda Çizelge 3.1'de verildiği gibi Isparta Organize Sanayi Bölgesi numunelerinin CL, İstanbul'dan getirilen numunenin CH sınıfında olduğu belirlenmiştir. Organize Sanayi Bölgesi numunelerinin aktiviteleri, 1 no'lu numune için $A=14$, 2 no'lu numune için $A=11$, 3 no'lu numune için $A=4.6$, İstanbul numunesi için $A=1.3$ olarak bulunmuştur.

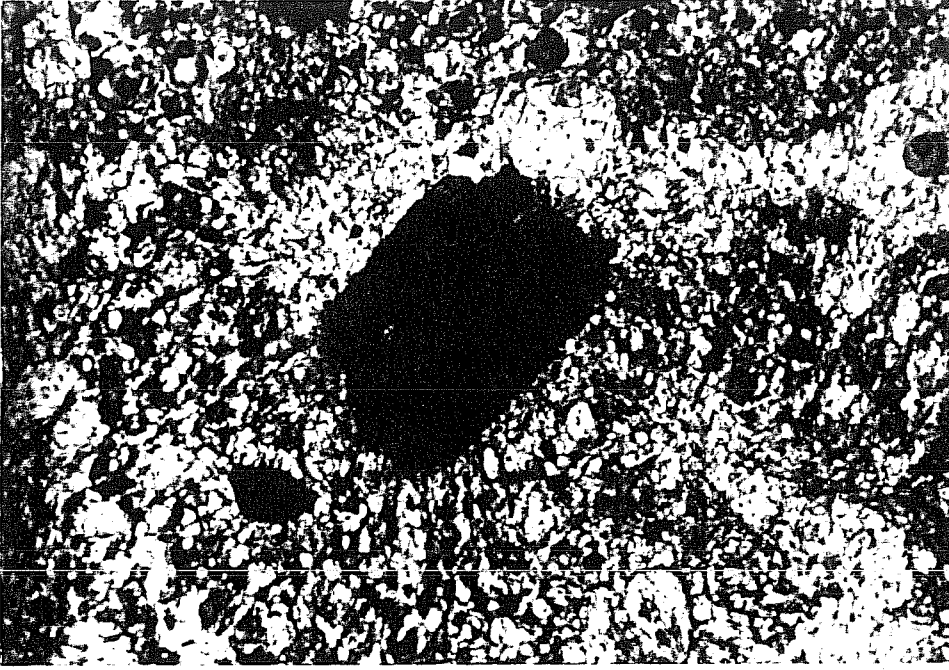
CL sınıfı zemin numunelerinin şişme basınçları, $P_s=0$ olarak bulunmuştur. CH sınıfı zemin numunesinde kompaksiyon ile hazırlanmış numuneler üzerinde yapılan şişme deneylerinden, bu numunelerin şişme basıncı, $P_s=3.1 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Numuneler sıkıştırılarak hazırlandığı için bulunan şişme basıncı muhtemelen gerçek değerinden büyük çıkmıştır.

4.1.2. Pomzanın tanımlanması

Pomza üzerinde kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlık , permeabilite deneyleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.2 'de verilmiştir. Pomza üzerinde Polarizan Mikroskopta incelemeler yapılarak kristal yapısı belirlenmiştir. Buna göre pomzanın porfirik dokulu, hamurunun ise holohiyalin yapıda olduğu ve içerisinde sanidin, piroksen, biyotid fenokristallerinin ve opak (ışığı geçirmeyen siyah renkli mineraller) minerallerinin bulunduğu gözlenmiştir. Mikroskobik inceleme sonucunda elde edilen resimler, Resim 4.1, Resim 4.2, Resim 4.3, Resim 4.4, Resim 4.5 ve Resim 4.6 'da görülmektedir. Pomza volkanoklastik bir malzeme olup, patlamalı tip volkanizma ürünüdür. Pomza içerisindeki fenokristaller mağmanın iki safhada soğuduğunu göstermektedir. Yavaş soğumada fenokristaller, hızlı soğumada amorf maddeler oluşmuştur. Pomza içerisinde yüzen iri kristallere fenokristal adı verilmektedir , A. BİLGİN(*).

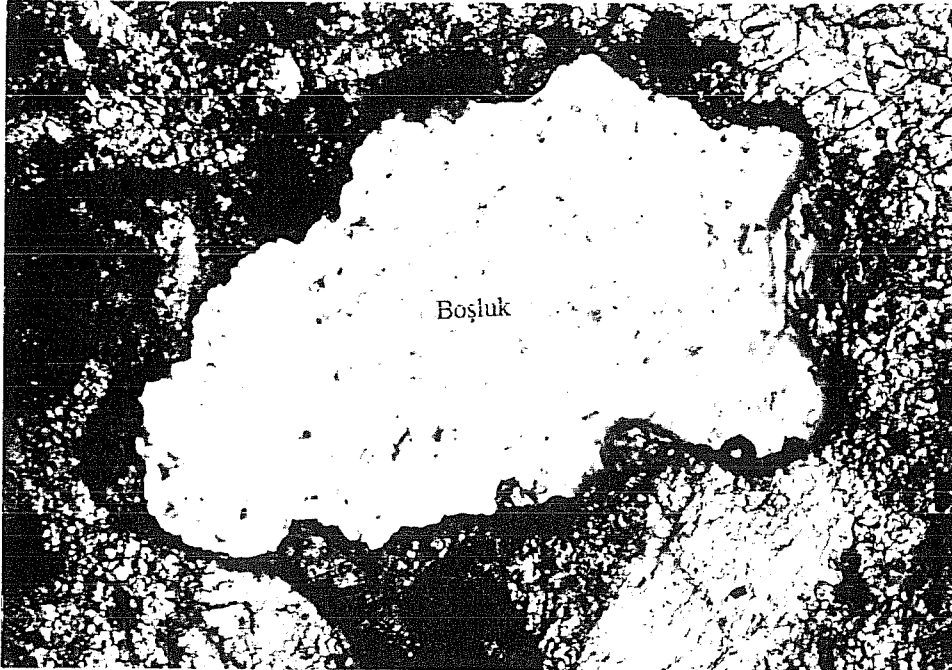
Resim 4.1 'de, pomza içerisindeki opak mineraller görülmektedir. Opak mineraller (pirit, kalkopirit, magnetit, hematit), ışığı geçirmeyen, siyah renkli minerallerdir.

* Sözlü Görüşme, 1996, Prof. Dr. , Süleyman Demirel Üniv., Müh.-Mim. Fak., Jeoloji Müh. Böl., ISPARTA



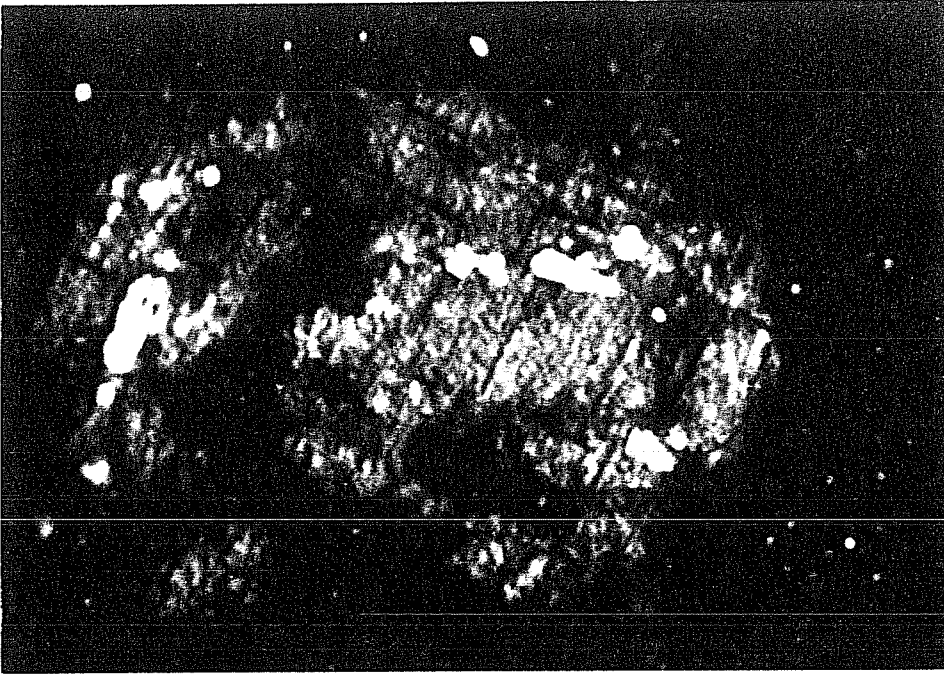
Resim 4.1. Pomza içerisindeki opak mineraller

Resim 4.2 'de pomza içerisindeki boşluk görülmektedir. Boşluğun çevresi demirli malzeme ile kuşatılmış durumdadır.



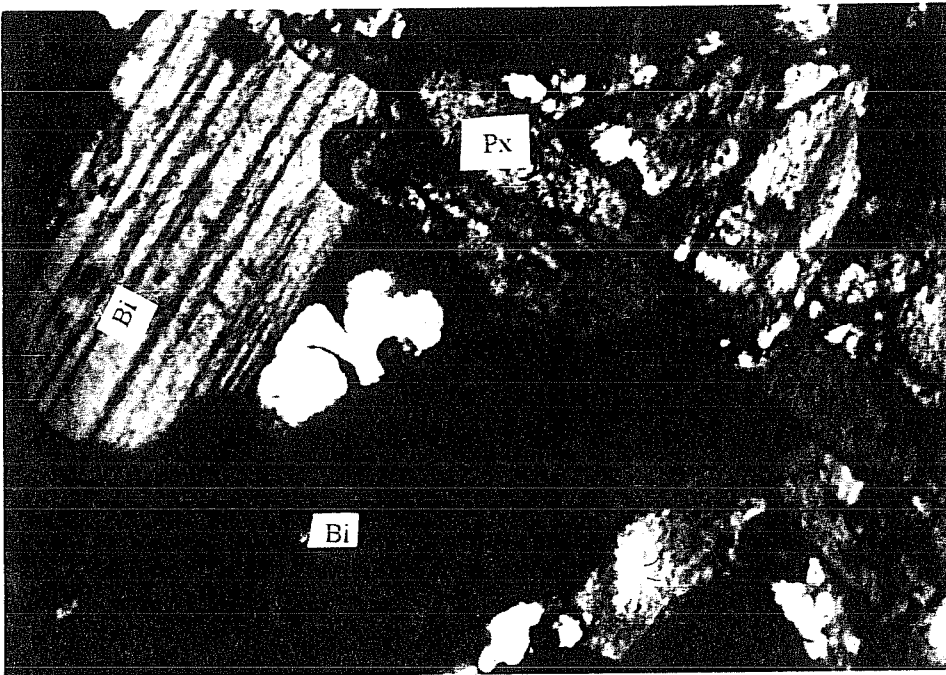
Resim 4.2. Pomza içerisindeki boşluk

Resim 4.3 'de pomza içerisindeki sanidin fenokristalleri görülmektedir. Kristallerin çevresi yine amorf maddeler ile çevrilidir.



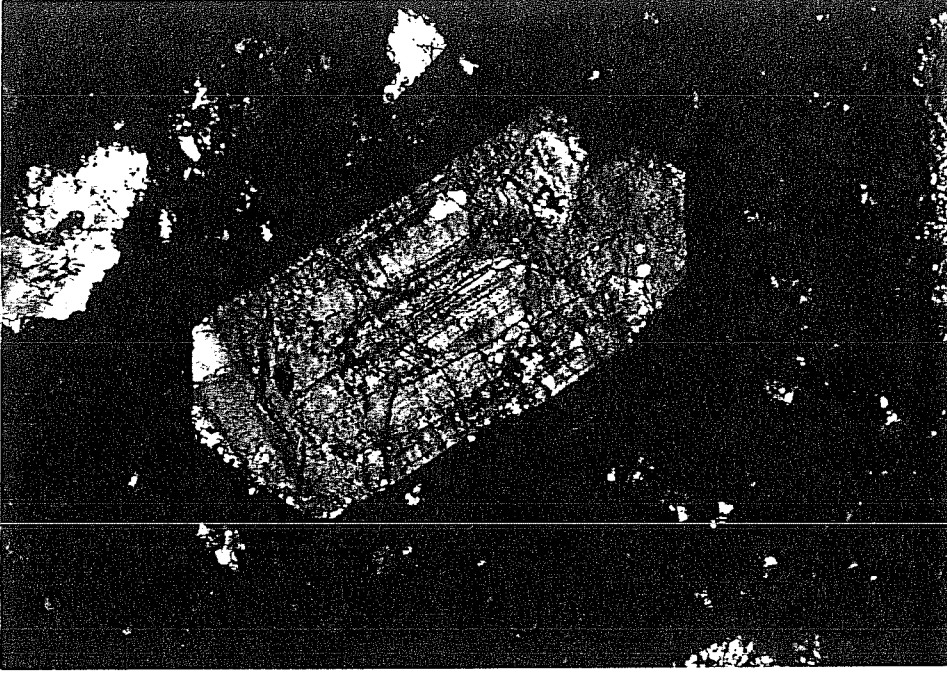
Resim 4.3. Pomza içerisindeki sanidin fenokristalleri

Resim 4.4 'de pomza içerisindeki biyotit fenokristalleri görülmektedir. Resimde; Bi, Biyotit kristallerini, Px ise piroksen kristalini temsil etmektedir.



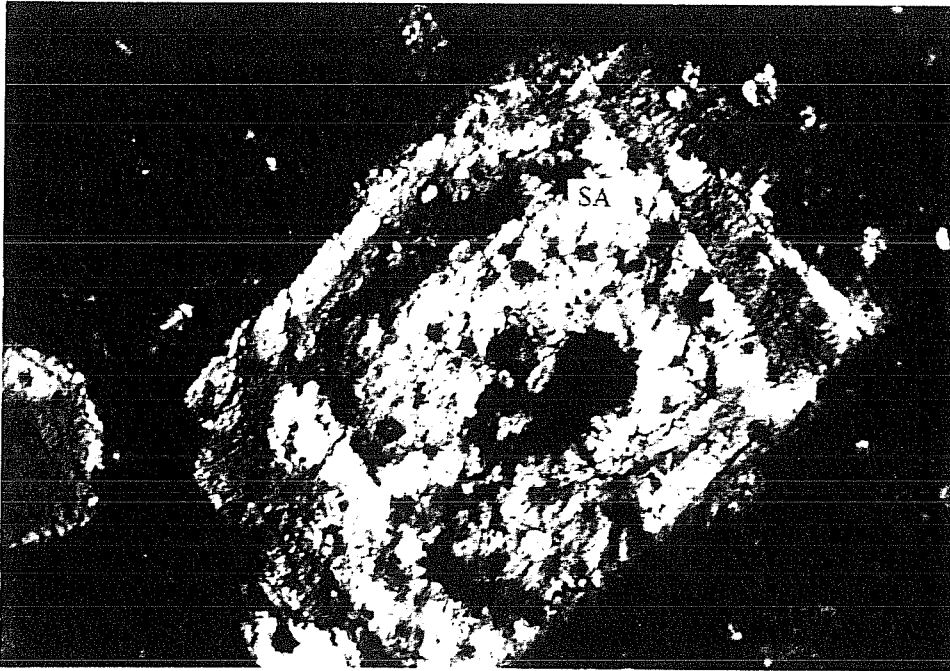
Resim 4.4. Pomza içerisindeki biyotid fenokristalleri

Resim 4.5 'de pomza içerisindeki piroksen fenokristalleri görülmektedir. Kristalin çevresi amorf maddeler ile kuşatılmıştır.



Resim 4.5. Pomza içerisindeki piroksen fenokristalleri

Resim 4.6 'da pomza içerisindeki zonlu feldispat kristali görülmektedir. Kristalin çevresi amorf maddeler ile kuşatılmıştır. SA ile gösterilen sanidin kristalidir.



Resim 4.6. Pomza içerisindeki zonlu feldispat kristali

4.2. Pomza Katkılı Olarak Yapılan Kıvam Limitleri Deneyleri

CH sınıfı İstanbul numunesi üzerinde pomza katkı kıvam limitleri deneyleri yapılarak pomzanın plastisite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerde 40 no 'lu elek altı pomza, % 10, %15, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında CH sınıfı numuneye karıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Pomza katkı kıvam limitleri deney sonuçları

Özellikler %	Pomza Yüzdeleri						
	0	10	15	20	30	40	50
Likit Limit	126	102	96	82	72	72	66
Plastik Limit	47	38	35	34	28	28	27
Plastisite İndisi	79	64	61	48	44	44	39
Rötre Limiti	37	25	21	17	13	12	8

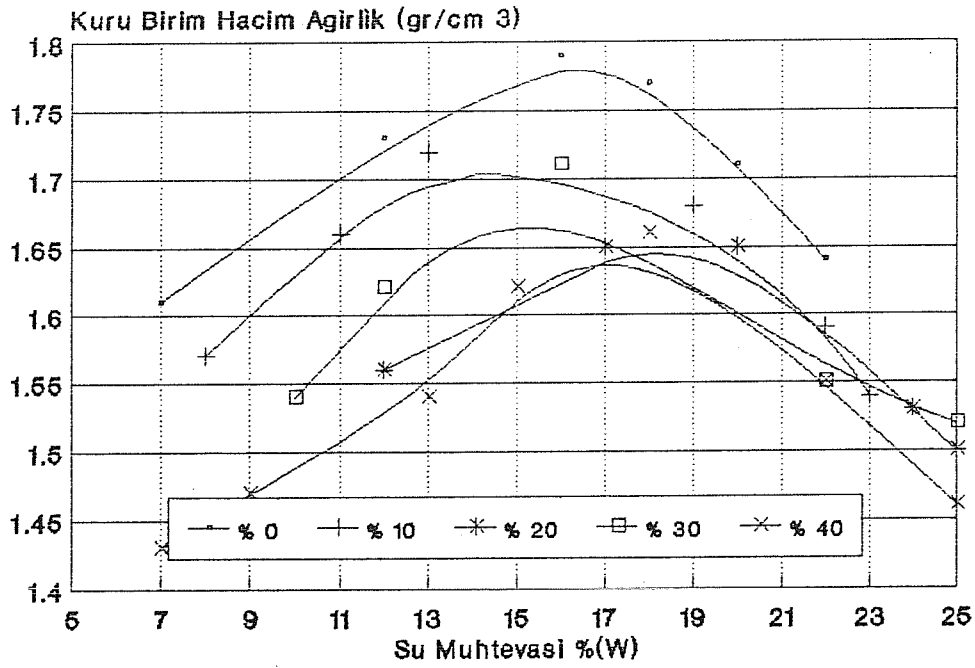
4.3. Kompaksiyon Deneylerinin Sonuçları

Zemin numuneleri üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılarak ideal olarak sıkıştırılabilecekleri optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

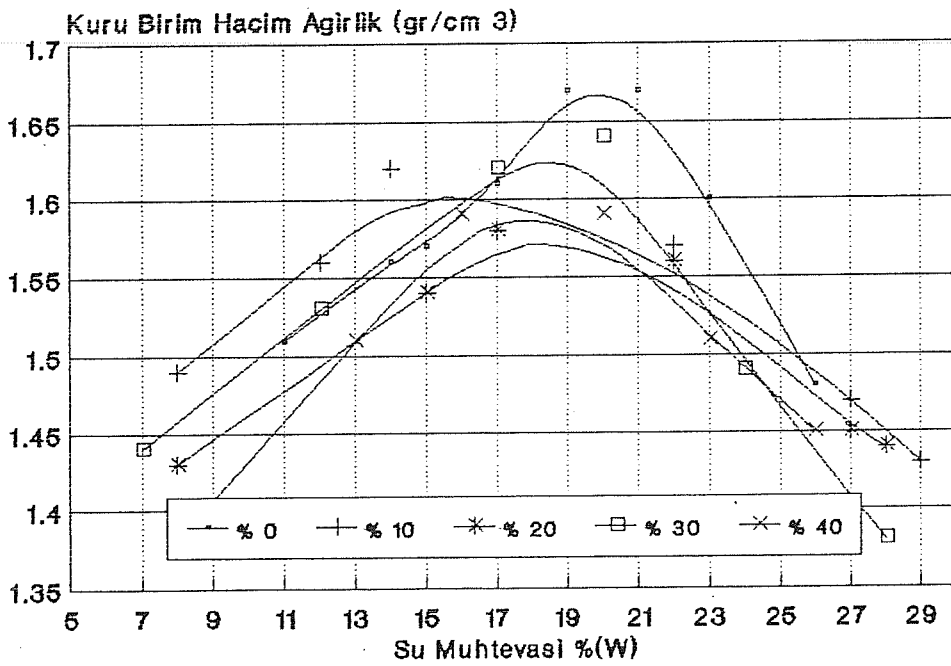
CL sınıfındaki Isparta Organize Sanayi Bölgesi numunelerine % 10, %20, %30 ve %40 oranlarında No 4 elek altı pomza karıştırılarak pomzanın kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen kompaksiyon eğrileri, her zemin numunesi için ayrı ayrı çizilmiş ve Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 'de verilmiştir.

Şekillere bakıldığında, pomzanın kuru birim hacim ağırlığı azalttığı görülmektedir. Optimum su muhtevalarında ise $\pm$ %5 'lik bir değişiklik olmuştur.

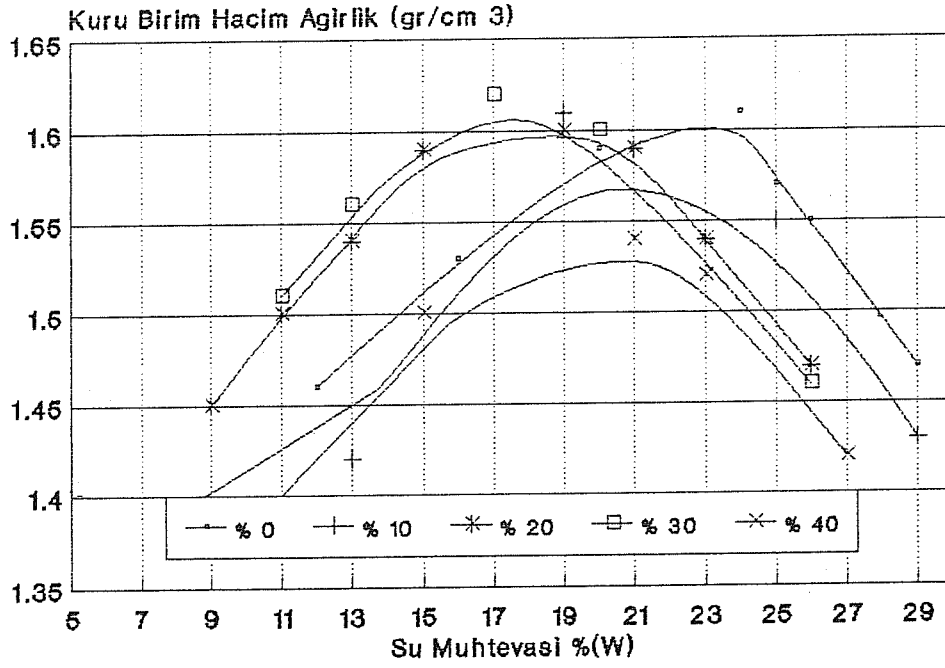
CH sınıfı zemin numunesine ise %10, %15, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında pomza karıştırılarak yapılan kompaksiyon deneylerinin sonuçları Şekil 4.4 'te görülmektedir. Pomza miktarının artması ile kuru birim hacim ağırlık artmakta, optimum su muhtevası ise azalmaktadır. Özellikle %30 pomza karışımı kompaksiyon deneyinde kuru birim hacim ağırlıkta ani bir artış ve optimum su muhtevasında ise ani bir düşüş meydana gelmiştir. %30'dan sonraki karışımlarda ise kuru birim hacim ağırlıktaki artışın pek fazla olmadığı, su muhtevasının ise sabit kaldığı gözlenmiştir. Şekil 4.4'e bakıldığında %30 'luk pomza karışımı kompaksiyon eğrisinden sonraki eğrilerin diğer eğrilerden farklı olduğu görülmektedir. Pomzanın CH sınıfı zemine ideal olarak sıkıştırılabileceği oran %30 olarak tesbit edilmiştir.



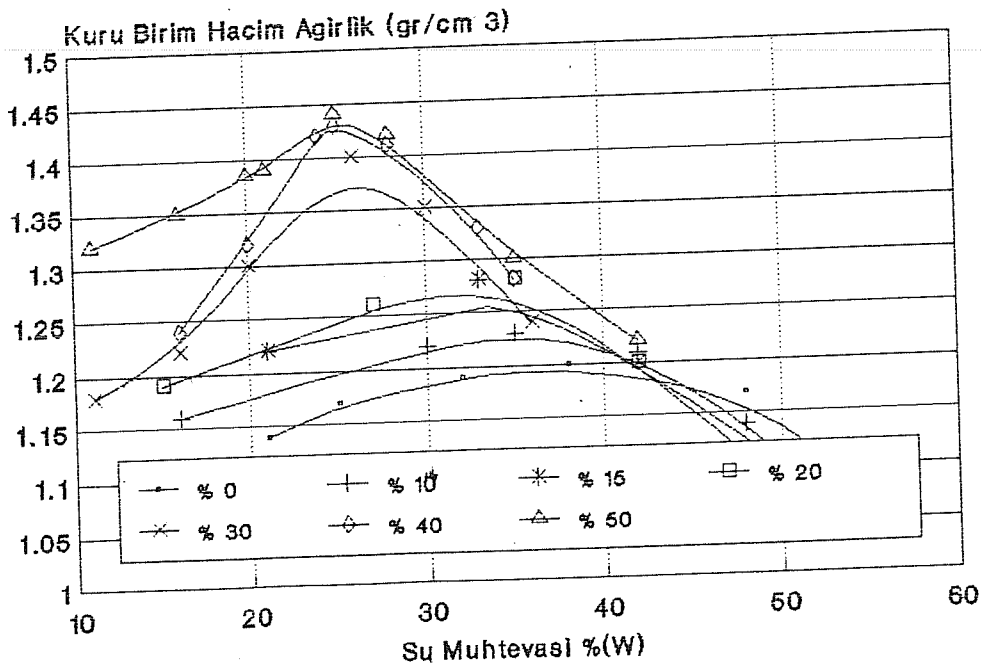
Şekil 4.1. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları



Şekil 4.2. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları



Şekil 4.3. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları



Şekil 4.4. İstanbul numunesine ait pomza katkılı olarak yapılan kompaksiyon deney sonuçları

4.4. Konsolidasyon, Şişme ve Serbest Basınç Deneylerinin Sonuçları

Organize Sanayi Bölgesinden alınan CL sınıfı ve İstanbul'dan getirilen CH sınıfı örselenmiş numuneler üzerinde konsolidasyon ve şişme deneyleri yapılmıştır. Sıkıştırılmış numunelerin şişme basınçları, ön konsolidasyon basınçları, hacimsel sıkışma katsayıları ve hacimsel sıkışma modülleri belirlenmiştir. Ayrıca, CH sınıfı zemin numunelerinde serbest basınç deneyleri yapılarak, serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

Organize Sanayi Bölgesi örselenmiş numunelerinde ön konsolidasyon basıncı ortalama olarak 1 kg/cm^2 , İstanbul'dan getirilen örselenmiş numuncenin ön konsolidasyon basıncı 4.2 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir. Bu deneylerde, numuneler tabii su muhtevalarında ve tabii birim hacim ağırlıklarında olacak şekilde hazırlanmaya çalışılmıştır. Ön konsolidasyon basınçlarının bulunuşu Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 'de görülmektedir.

Yapılan şişme deneyleri ile yüksek plastisiteli kil zeminin şişme basıncı, P_s belirlenmiş ayrıca pomzanın şişme basıncı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Konsolidasyon deney sonuçlarından yararlanılarak zeminlerin hacimsel sıkışma katsayıları, m_V ve hacimsel sıkışma modülleri, M_C belirlenmiştir. Ayrıca, pomzanın m_V ve M_C üzerindeki etkisi verilmiştir. Optimum su muhtevasında ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta kompaksiyonla hazırlanan numuneler üzerinde, serbest basınç deneyleri yapılarak bulunan serbest basınç mukavemetleri, cep penetrometresi ile bulunan serbest basınç mukavemetleri (q_u) ile karşılaştırılmış ve ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.2 'de yüksek plastisiteli İstanbul numunesi için artan pomza miktarına göre m_V , M_C , q_u ve P_s değişimleri görülmektedir.

Çizelge 4.2. Pomzanın CH sınıfı zemin numunesine etkisi

Özellikler	Pomza Yüzdeleri						
	0	10	15	20	30	40	50
$m_V \text{ cm}^2/\text{kg}$	0.034	0.032	0.028	0.018	0.016	0.016	0.01
$M_C \text{ kg/cm}^2$	29	31	36	54	61	61	100
$q_u \text{ kg/cm}^2$	2.06	3.0	3.6	3.7	4.44	4.0	3.5
$P_s \text{ kg/cm}^2$	3.1	2.85	2.75	2.5	2.25	2.25	2.0

Çizelge 4.2 'den de görüldüğü gibi pomza miktarının artması ile CH sınıfı zeminin şişme basıncı azalmakta ve taşıma gücü artmaktadır. Ancak, %30 'luk pomza karışımından sonraki karışımlarda serbest basınç mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Zeminin hacimsel sıkışma katsayısının pomza miktarına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

Düşük plastisiteli kil zemin numuneleri üzerinde yapılan şişme deney sonuçlarından yararlanılarak zeminlerin hacimsel sıkışma katsayıları ve hacimsel sıkışma modülleri belirlenmiştir. Bu zeminlerin şişme basınçları sıfır olarak bulunmuştur. Organize sanayi bölgesine ait olan CL sınıfı numunelerin ödometre deney sonuçları Çizelge 4.3 'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Pomzanın CL sınıfı zemin numunelerine etkisi

Zemin No	Özellikler	Pomza Yüzdesi			
		0	10	20	30
1	m_V cm ² /kg	0.012	0.01	0.01	0.011
	M_C kg/cm ²	83	100	100	91
	P_s kg/cm ²	0	0	0	0
2	m_V cm ² /kg	0.012	0.013	0.011	0.010
	M_C kg/cm ²	83	77	91	100
	P_s kg/cm ²	0	0	0	0
3	m_V cm ² /kg	0.014	0.014	0.013	0.012
	M_C kg/cm ²	71	71	77	83
	P_s kg/cm ²	0	0	0	0

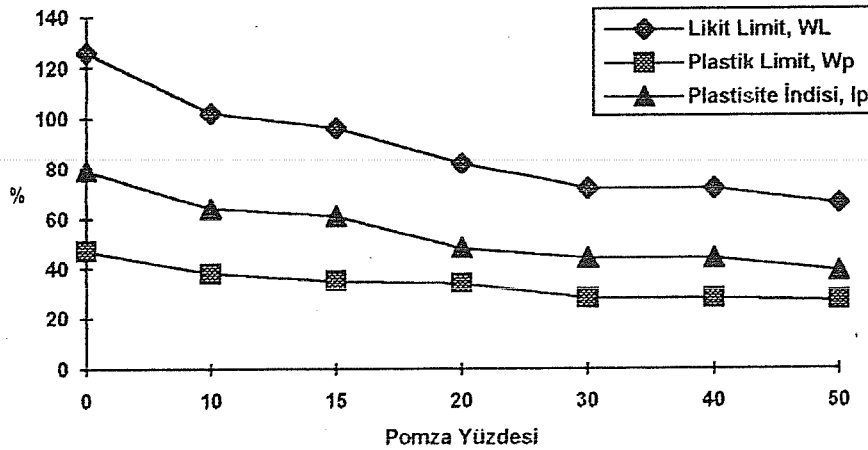
Çizelge 4.3. 'den de görüldüğü gibi pomzanın düşük plastisiteli kil zemine önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ele alınmış ve pomzanın kil zemin numuneleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilmiş ve aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Çalışmalarda örselenmemiş numune alma imkanımız olmadığından, deneylerde örselenmiş numuneler kullanılmıştır.

1. Zemin numunelerine ait ön konsolidasyon basınçları CL sınıfı zemin numunelerinde ortalama olarak 1 kg/cm^2 , CH sınıfı zemin numunesi için 4.2 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir.

2. CH sınıfı zemin numunesi üzerinde pomza katkılı olarak yapılan kıvam limitleri deney sonuçlarından yararlanılarak artan pomza miktarına göre likit limit, plastik limit ve plastisite İndisinin değişimi belirlenmiş ve Şekil 5.1'de grafik haline getirilmiştir.



Şekil 5.1. Likit limit, plastik limit ve plastisite indisinin pomza yüzdesine göre değişimi (CH sınıfı zemin numunesi)

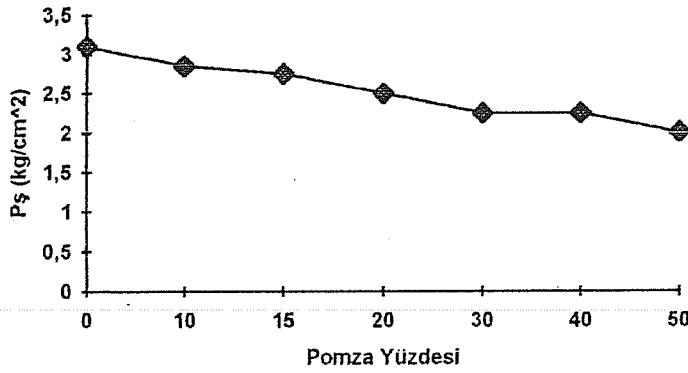
Şekil 5.1 'e bakıldığında, %30 pomza karışımına kadar likit limit, plastik limit ve plastisite indisinin pomza yüzdesine bağlı olarak azaldığı ve %30'dan sonra ise bu azalmanın yavaşladığı görülmektedir.

Şişme probleminin görüldüğü zeminlerde şişme, daha çok plastisite İndisine bağlıdır. Şişen zeminlerde plastisite indisi yüksektir. Çalışmada örselenmemiş numune alma imkanlarımız olmadığı için örselenmiş, yani sıkıştırılmış zemin numuneleri kullanıldığı için şişme basınçları gerçek değerinden muhtemelen büyük çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar, pomzanın plastisiteyi azaltıcı bir etkisinin olduğunu göstermiştir.

3. CL sınıfı zemin numunelerinde yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda, belirli oranlarda pomza katılması ile kuru birim hacim ağırlığın azaldığı görülmüştür. Buradan da iyi bir sıkışma elde edilemediği anlaşılmaktadır.

4. CH sınıfı zemin numunesinde yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda, pomza miktarının artırılması ile optimum su muhtevasının azaldığı ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın arttığı bulunmuştur. Ancak, pomza yüzdesinin %30 'un üstüne çıktığı durumlarda maksimum kuru birim hacim ağırlığın fazla artmadığı, su muhtevasının ise sabit kaldığı görülmüştür. Pomzanın CH sınıfı zemine ideal olarak katılabileceği karışım yüzdesi, %20 - %30 olarak belirlenmiştir.

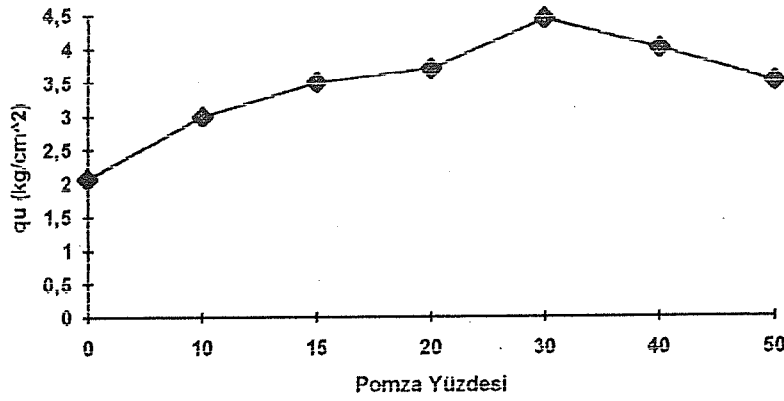
5. CH sınıfı zemin numunelerine pomza ilave edilerek şişme basıncının nasıl değiştiği incelenmiş ve pomza miktarı ile şişme basıncı arasındaki ilişki Şekil 5.2 'de görülmektedir. Bu şekle göre, pomza yüzdesi ile şişme basınçları arasında ters ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Şişme basıncının pomza yüzdesine göre değişimi (CH sınıfı zemin)

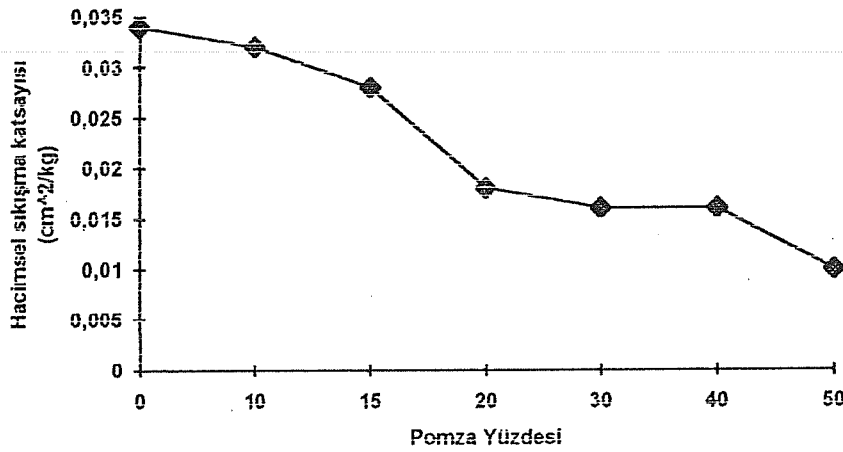
Kullanılan numuneler, kompaksiyon ile hazırlandığı için şişme basınçları yüksek çıkmıştır. Numuneler, daha düşük birim hacim ağırlıkta ve daha yüksek su muhtevasında hazırlanmış olsaydı, daha düşük şişme basınçları elde edilecekti.

6. CH sınıfı zemin numunelerinde pomza miktarı ile serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişki Şekil 5.3'de görülmektedir. Buna göre, %30 pomza ilavesine kadar pomza miktarı ile serbest basınç mukavemeti artarken, %30 oranından sonra serbest basınç mukavemeti azalmaktadır. Bu değerler, kompaksiyon şartlarında hazırlanmış olan numunelere aittir.



Şekil 5.3. Serbest basınç mukavemetinin pomza yüzdesine göre değişimi
(CH sınıfı zemin)

7. Yapılan konsolidasyon deney sonuçlarından yararlanılarak pomzanın hacimsel sıkışma katsayısı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Bu deneylerde, örselenmemiş numune alma imkanımız olmadığı için, kompaksiyonla hazırlanmış zemin numuneleri kullanılmıştır. Buna göre, CL sınıfı zemin numunelerinde pomzanın hacimsel sıkışma katsayısı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, CH sınıfı zemin numunesinde ise pomza artış miktarına bağlı olarak hacimsel sıkışma katsayısının azaldığı belirlenmiştir. Pomza yüzdesine göre hacimsel sıkışma katsayısındaki değişim Şekil 5.4 'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Hacimsel sıkışma katsayısının pomza yüzdesine göre değişimi
(CH sınıfı zemin)

8. Yapılan deneyler sonucunda, pomzanın CL sınıfı zeminlerde, stabilizasyon malzemesi olarak kullanılamayacağı belirlenmiştir.

9. Sonuç olarak, CH sınıfı zemin numunesine %20-30 pomza katıldığında şişme basıncının ve hacimsel sıkışma katsayısının azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığı ve optimum su muhtevasının azaldığı, buna karşın serbest basınç mukavemetinin arttığı görülmüştür.

10. Süngertaşı volkanoklastik bir malzeme olup patlamalı tip volkanizma ürünüdür. Mikroskopik inceleme sonucunda, gözenekli bir cam matriks içerisinde sanidin, piroksen ve biyotid kristallerinden oluştuğu ve bağlayıcı maddenin amorf bir silikat olduğu belirlenmiştir.

11. Çizelge 5.1 'den görüldüğü gibi, ödometre deneylerinde pomza numunesine daha yüksek yük kademesinde su verildiğinde hacimsel sıkışma katsayısı artmıştır.

Çizelge 5.1. Pomzanın hacimsel sıkışma katsayısının yük kademesi ile değişimi

Yük Kademeleri	Başlangıçta su verilen		2 kg/cm ² 'de	4 kg/cm ² de
	1. seri	2. seri	su verilen	su verilen
$m_v (cm^2 / kg)$	0.002	0.003	0.004	0.007

Bu sonuçlara göre, Isparta yöresinde yoğun olarak bulunan pomzanın CH sınıfı zeminlerde bir stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Yapı elemanlarında kullanılan pomzanın bir alternatif olarak, CH sınıfı zeminlerin stabilizasyonunda da kullanılabileceği düşünülmelidir.

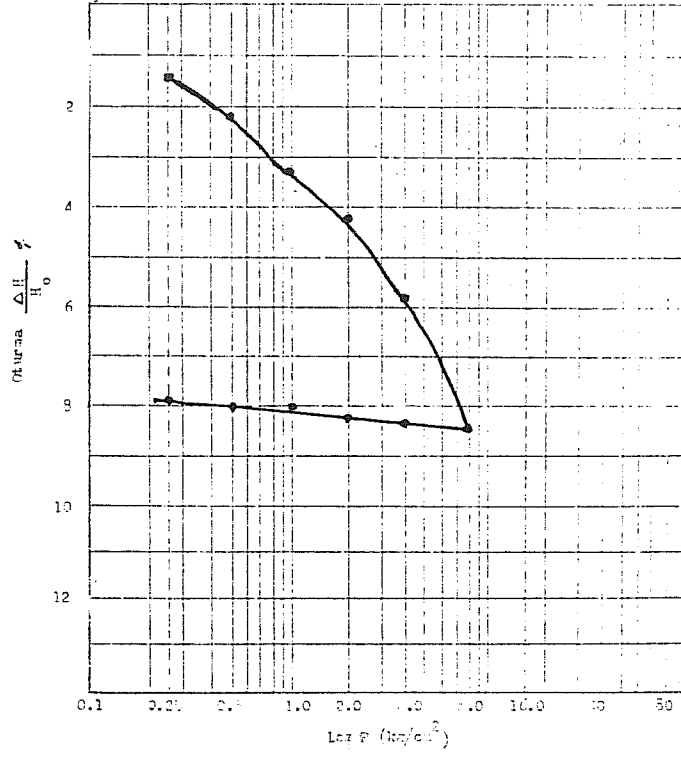
KAYNAKLAR

- Aldrich, H. P., 1965, "Precompression for Support of Shallow Foundations", J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Volume 3, pp. 130-140.
- Bjerrum, L., 1972, "Embankments on Soft Ground - General Report", Proc. ASCE Specialty Conf. on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Volume 2, pp. 1-54.
- Dhir, R. K., Hubbord, F. H., Munday, J. G. L., Jones, M. R., Dverden, S. L., 1988, "Contribution of PFA to Concrete Workability and Strength Development ", Cement and Concrete Res., 18 (2), pp. 277-289.
- Don-Law Lmt., 1987, " A Geotextiles Design Guide ", Scotland.
- Duda, A., 1987, " Aspects of the Sulfate Resistance of Steelwork Slag Cements ", Cement and Concrete Res., 17(3), pp. 373-384.
- Ergun, U., 1994, " Zemin İyileştirme Yöntemleri ", Zemin Mekaniği 5. Ulusal Kongresi, O.D.T.Ü., Ankara, sy 803-851.
- Erol, O., 1994, "Sığ Temeller ", Zemin Mekaniği 5. Ulusal Kongresi, O.D.T.Ü., Ankara, sy 620-683.
- Ersoy, T., 1976, " Donmuş Zeminin Kayma Mukavemeti ", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü., İstanbul.
- Gidley, J. S., Sack, W. S., 1984, " Enviromental Aspects of Wastes Utilization in Construction ", Journal of Envir., Engry Div., Asce, 110(6), pp. 1117-1133.
- Johnson, S. J., 1970 (a), " Precompression for Support of Shallow Foundation Soils", J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, (96), SM1, pp. 111-144.
- Johnson, S. J., 1970 (b), "Foundation precompression with Vertical Sand Drains ", J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, (96), SM1, pp.145-175.
- Kamon, M., Nontananandh, S., 1991, " Combining Industrial Wastes with Lime for Soil Stabilization ", Journal of Geotechnical Engineering, 117(1), pp. 1-15.
- Keskin, S. N., Yıldırım, H., Ansal, M. A., 1992, " Killi Zeminlerde Yanal Şişme Davranışları ", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi, 1.cilt, sy14-31, İ.T.Ü., İstanbul.
- Keskin, S. N., 1993, " İstanbul Neojen Kilinin Şişme Davranışına, Önkonsolidasyonun, Minerolojik Özelliklerin ve Çevresel Faktörlerin Etkisi ", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü., 152s, İstanbul.
- Kujula, K., 1986, " Stabilization of Harmful Wastes and Muds ", Proc. of the 1st Int. Symp. on Envir. Geotechnolojy, Volume 1, pp. 540-548.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1992, " İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği ", Çağlayan Kitabevi, 343s, Beyoğlu- İstanbul.
- Leonards, G.A., Bailey, B., 1982, "Pulverized coal ash as structural fill ", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Volume 108(4), pp. 517-531.
- Lizzy, F., 1983, " The Reticulated Root Piles for the improvement of Soil Resistance, Physical Aspects and Design Approaches ", 8 th E.C.S.M.F.E., Helsinki, pp. 521-524.
- Lizzy, F., 1985, " The Root Piles - A Stage of The Art Report ", Symp. on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bangkok, pp. 417-432.

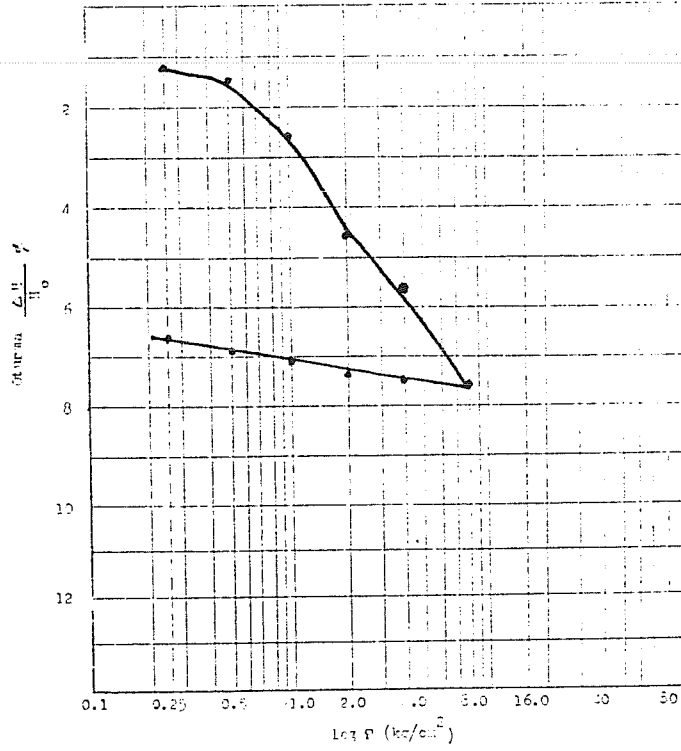
- Locher, C., 1981, " Mühlbroek Tunnel Application of Freezing Methods ", Proc. Amer. Rapid Exc. Tunn. Conf., Volume 2, pp.863-869.
- Montgomery, D. G., Huges, D. C., Williams, R. I. T., 1981, " Fly Ash in cement - a Microstructure Study ", Cement and Concrete Res., Volume 11(4), pp. 591-603.
- Morgan, D. S., Novao, J. I., Halff, A. H., 1984, " Oil Sludge Solification Using Cement Kiln Dust ", Journal of Envir. Engrg. Div., ASCE, Volume 110(5), pp. 935-948.
- Nurse, R. W., 1964, " Slag Cements ", The Chemistry of Cements,2,H.F.W. Taylor,ed., Academic Press, London, England, pp.36-66.
- Önalp, A., " Geoteknik Bilgisi ", Cilt 2, K.T.Ü. Matbaası, Trabzon.
- Özaydın, K. ,1989 , " Zemin Mekaniği",Meya Matbaacılık ve Yayıncılık Ltd. Şti., 395s , İstanbul .
- Pilot, G., 1977, " Methods of Improving the Engineering Properties of Soft Clay ", Proc. Int. Symp. on Soft Clay, Bangkok.
- Robert, W. D., 1991, " Expansion of Compacted Gravelly Clay ", Journal of Geotechnical Engineering, 117(1), pp. 1-15.
- Shida, Y., Namba, K., Takahaski, Y., 1987, " Developing a New Type of Stabilizer Made from Industrial Wastes as Soft Ground Stabilizers ", Proc. of the 22 nd Japan Nat. Conferance on Soil Mech. and Found. Engrg .,volume2, pp. 1881-1884.
- Shuster, J. A., 1972, " Controlled Freezing for Temporary Ground Support ", Proc. Amer. Rapid Tunn. Conf., Volume 2, pp.863-892.
- Tay, J.H., 1987, "Sludge Ash as Filler for Portland Cement Concrete ",Journal of Envir. Engrg. ASCE, Volume113(2), pp.345-351.

EKLER

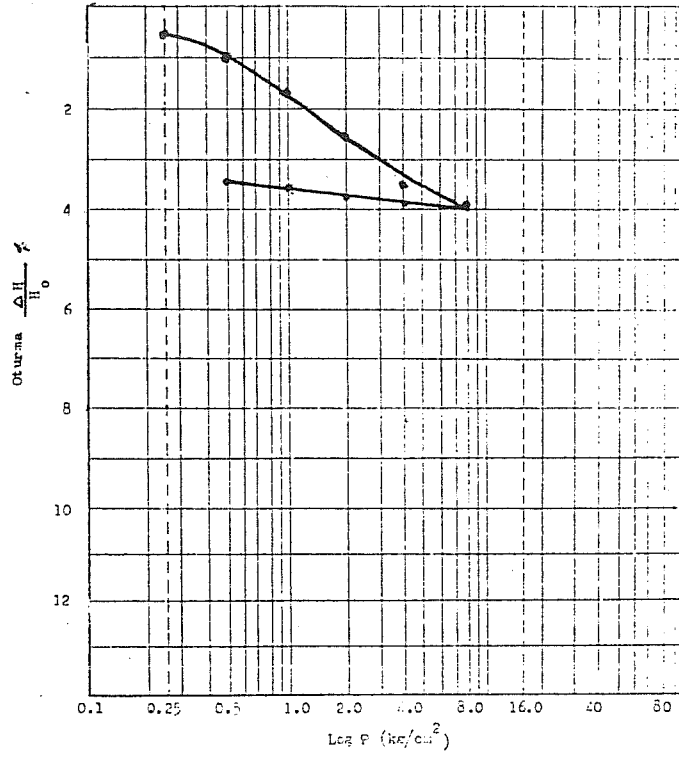
EK 1



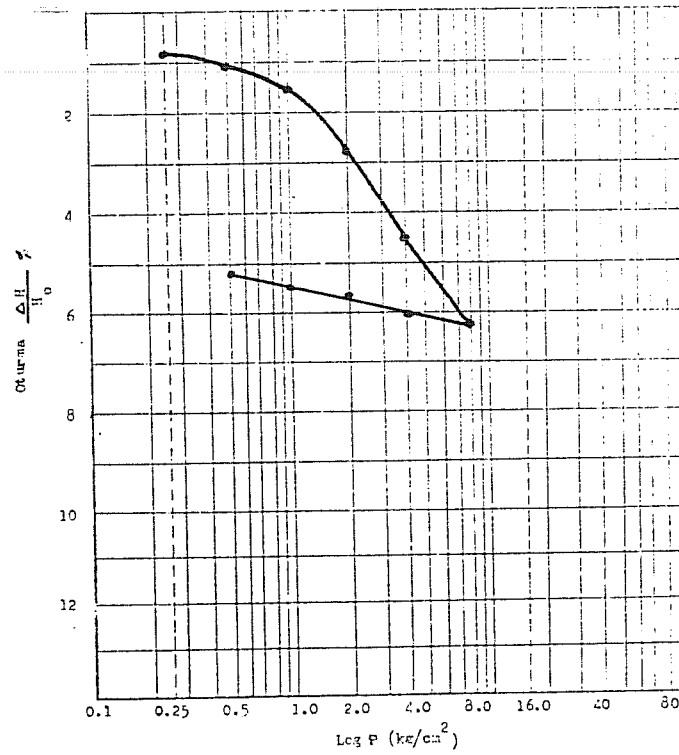
Şekil 1.1. Kuru yüklenen ve 4 kg/cm² yük kademesinde su verilen pomzanın konsolidasyon eğrisi



Şekil 1.2. Kuru yüklenen ve 2 kg/cm² yük kademesinde su verilen pomzanın konsolidasyon eğrisi

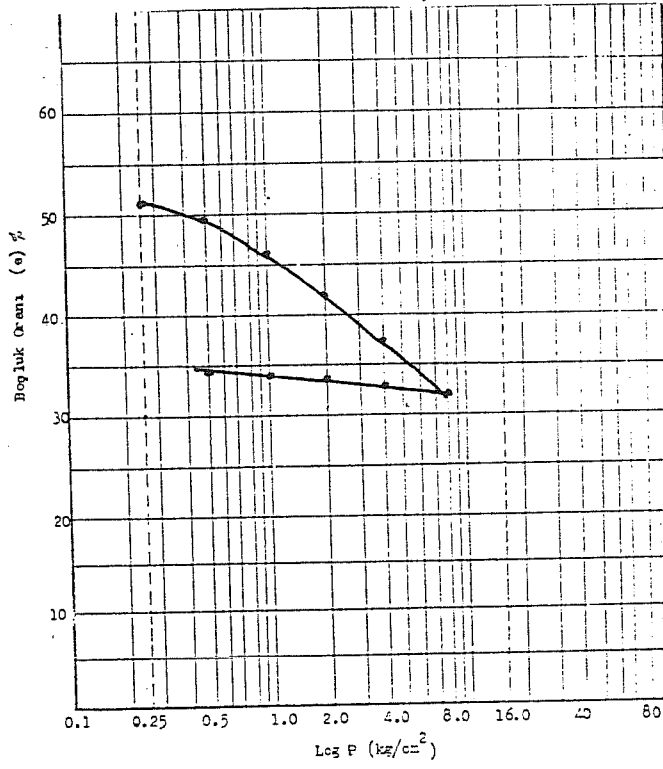


Şekil 1.3. Tamamen su ile doldurulduktan sonra yüklenen pomzanın konsolidasyon eğrisi (1. seri)

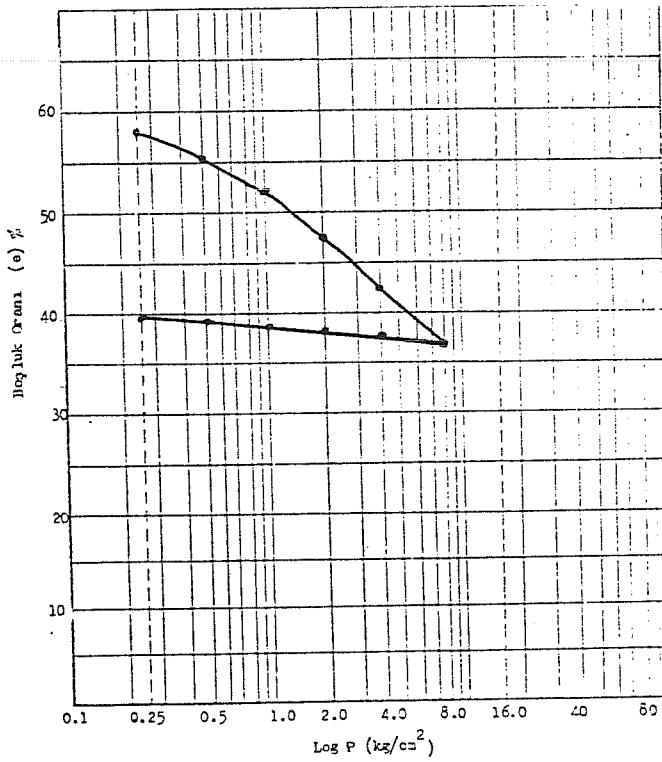


Şekil 1.4. Tamamen su ile doldurulduktan sonra yüklenen pomzanın konsolidasyon eğrisi (2. seri)

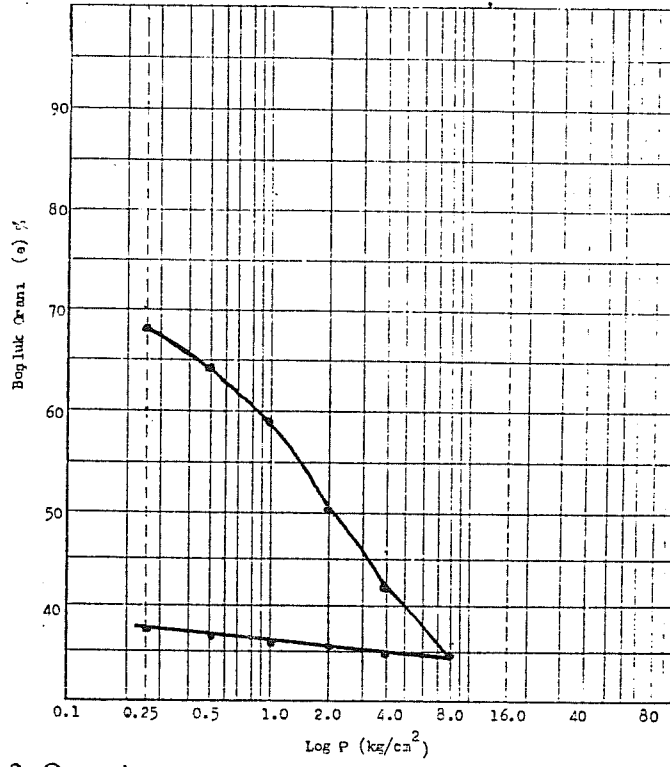
EK 2



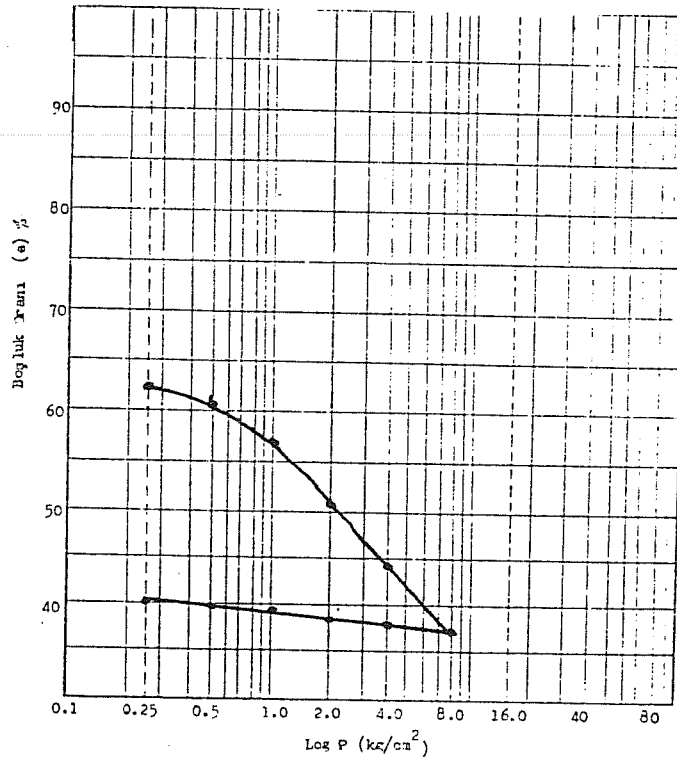
Şekil 2.1. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



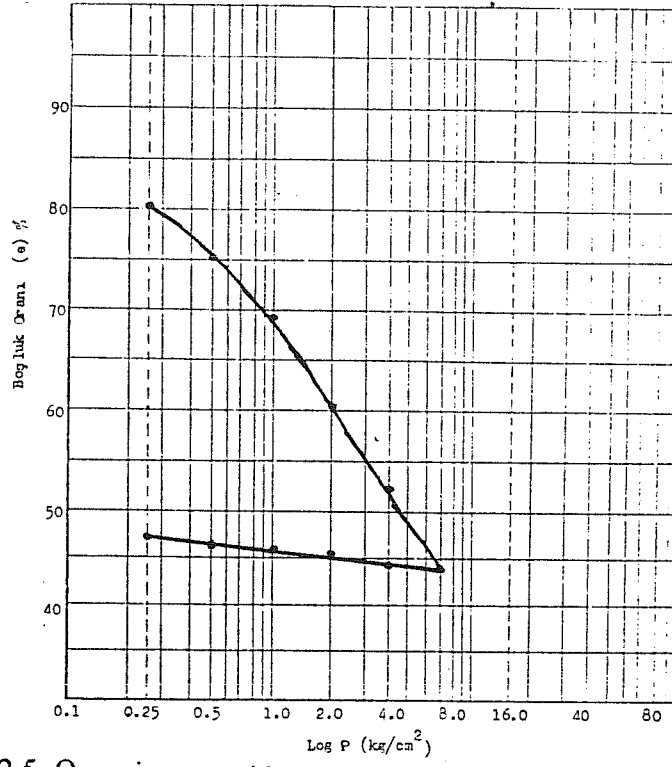
Şekil 2.2. Organize sanayi bölgesi 1 no'lu zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



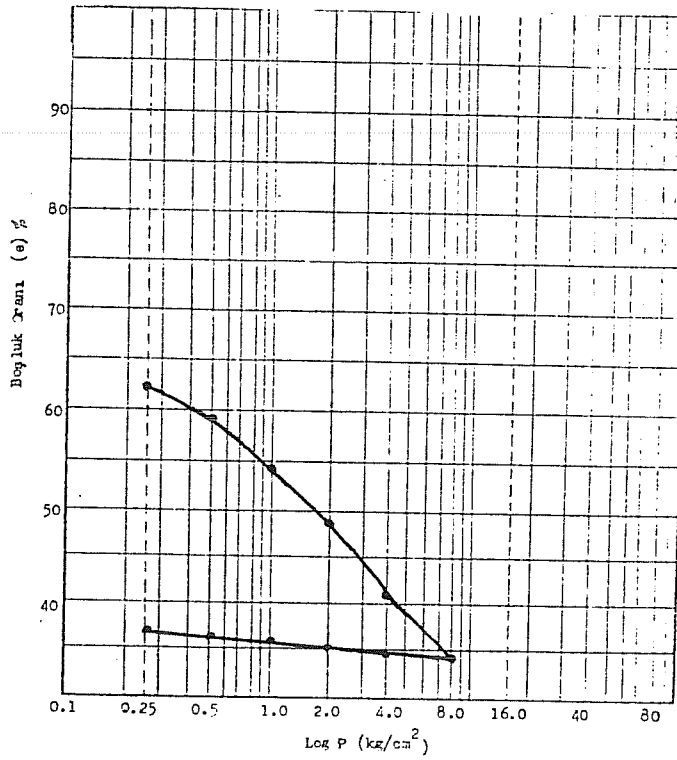
Şekil 2.3. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



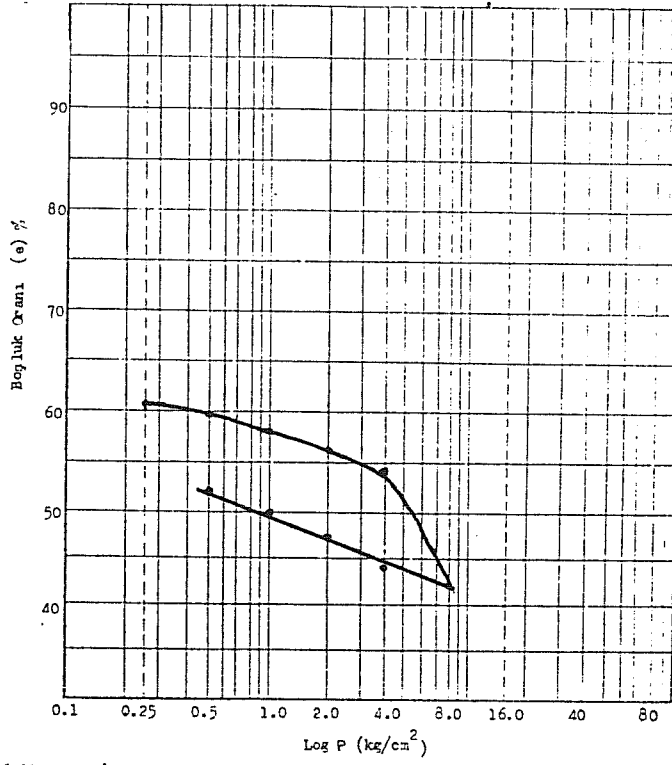
Şekil 2.4. Organize sanayi bölgesi 2 no'lu zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



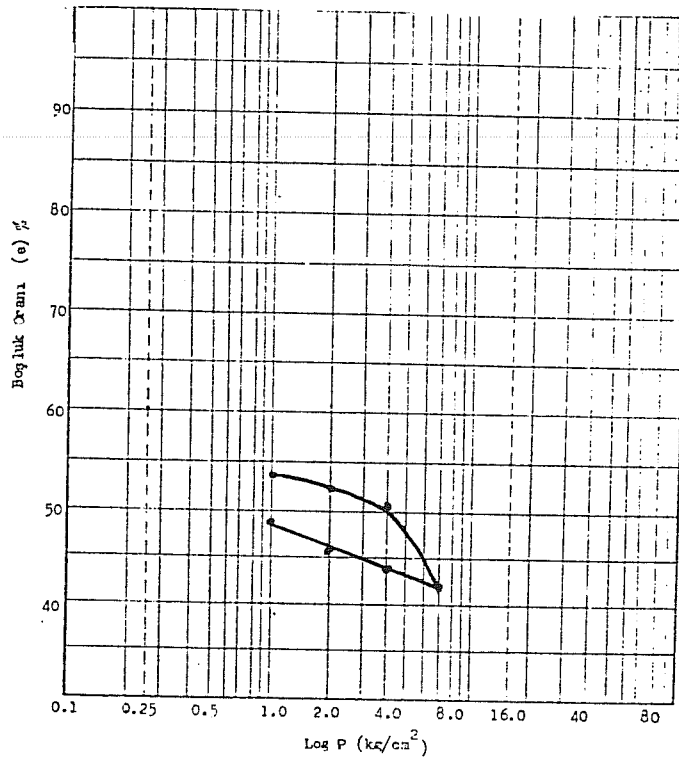
Şekil 2.5. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



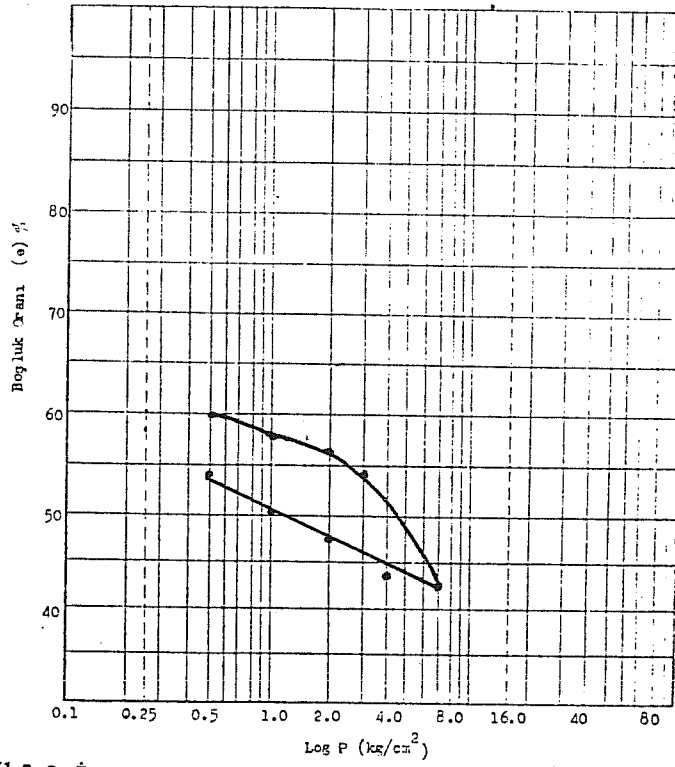
Şekil 2.6. Organize sanayi bölgesi 3 no'lu zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



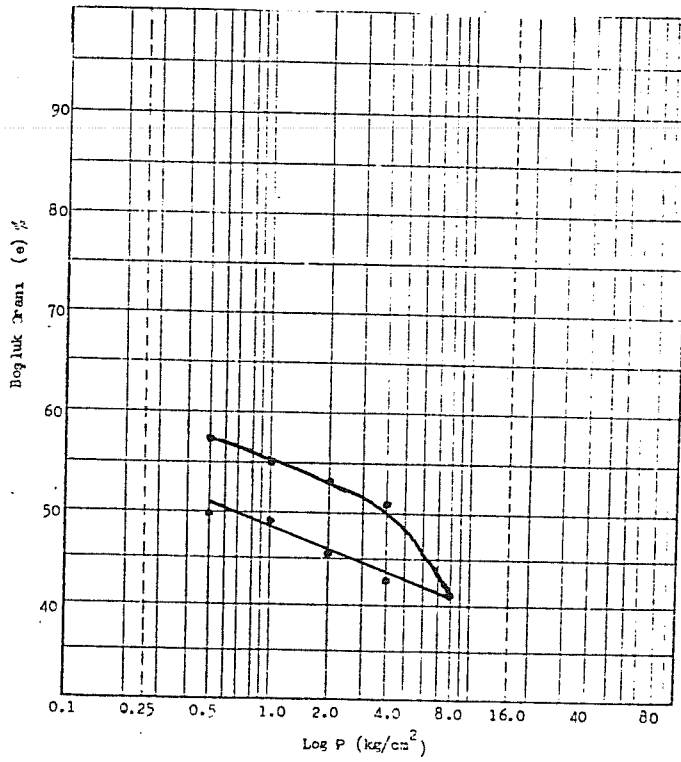
Şekil 2.7. İstanbul zemin numunesine ait %10 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



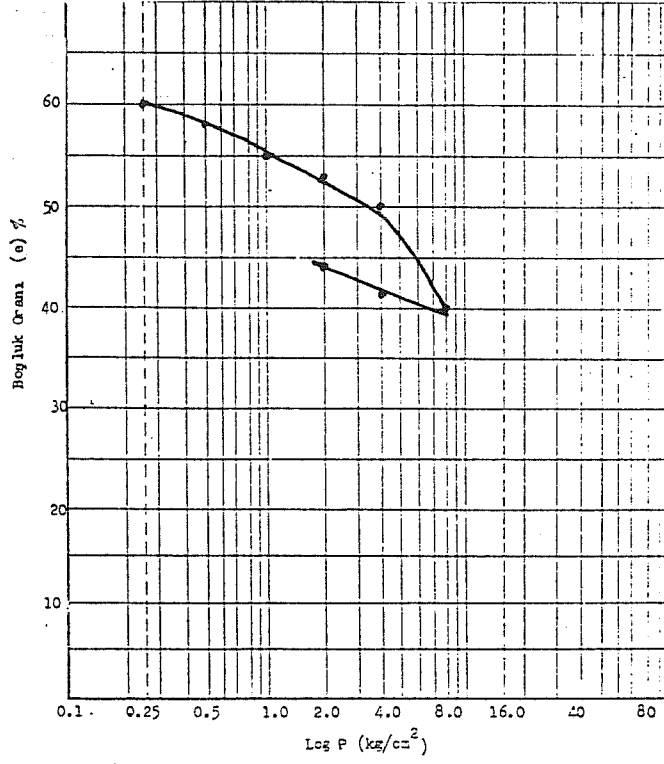
Şekil 2.8. İstanbul zemin numunesine ait %15 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



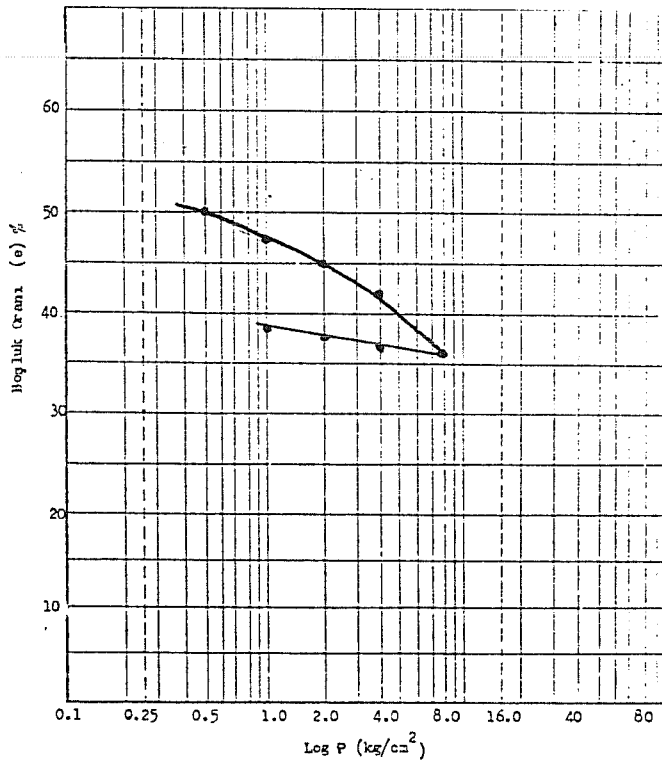
Şekil 2.9. İstanbul zemin numunesine ait %20 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



Şekil 2.10. İstanbul zemin numunesine ait %30 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



Şekil 2.11. İstanbul zemin numunesine ait %40 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi



Şekil 2.12 İstanbul zemin numunesine ait %50 pomza karışımı konsolidasyon eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

Ömür ÇİMEN, 1973 yılında Ankara ili Beypazarı ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Beypazarı'nda tamamladı. 1990 yılında Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümünü kazandı. Şimdiki adı Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.- Mim. Fakültesi İnşaat Müh. Bölümünü 1994 yılı Haziran ayında bitirdi ve aynı yılın Ekim döneminde sözü edilen üniversite de Yüksek Lisans öğretimine başladı. Mayıs 1995'den beri aynı üniversitenin Müh.- Mim. Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.