T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYAALTI (ANTALYA) LAGÜN KİLLERİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

ALİ ULVİ UZER
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI
Konya, 2006

ÖZET

Doktora Tezi

KONYAALTI (ANTALYA) LAGÜN KİLLERİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Ali Ulvi UZER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. Hilmi ACAR

2006, 124 sayfa

Jüri: Prof. Dr. İlhan Sütaş
Doç. Dr. M. Hilmi ACAR
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIZ
Yrd. Doç. Dr. Güler GÖÇMEZ
Yrd. Doç. Dr. Özcan TAN

Bu çalışmada günümüzde Konyaaltı Belediyesi sınırları içinde bulunan eski adıyla Hurma Köyü yeni adıyla Liman Mahallesi ve civarı zeminini oluşturan lagün killeri incelenmiştir. Konyaaltı kıyı alanı Antalya'nın batısında 9 km uzunluğundaki plajı ile meşhur turistik bir bölgedir. Günümüzde bölge turistik cazibesi nedeniyle çok katlı ve yoğun bir yapılaşmaya maruz kalmaktadır. Gelişimindeki lagünel ve alüvyal mekanizmalar, deniz seviyesi ve düşey yerkabuğu hareketleri sonucu zemin profili oldukça karmaşık bir yapı sunar.

Bu çalışma başlıca üç bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde; Liman Mahallesi ve civarı yumuşak zeminlerinden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin geoteknik özellikleri TS 1900'da belirtilen kriterlere göre kapsamlı laboratuar ve arazi (SPT) deneyleri ile belirlenerek, geoteknik parametreler arasında (bölgeye özgü) korelasyonlar oluşturulmuştur. İkinci bölümde; bölgeyi temsil eden lagün killerinin mineralojik özellikleri araştırılmıştır. Üçüncü bölümde ise; birinci

bölümde bahsedilen arazi ve laboratuar verilerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, inceleme bölgesinin sonlu elemanlar yöntemiyle (plaxis yazılımı) konsolidasyon oturması analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: lagün killeri, yumuşak zeminler, sonlu elemanlar yöntemi, zemin modelleri, Antalya.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

THEORETIC AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LAGOON CLAYS IN KONYAALTI (ANTALYA)

Ali Ulvi UZER

Selcuk University Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Hilmi ACAR

2006, 124 pages

Jury: Prof. Dr. İlhan Sütaş

Assoc. Prof. Dr. M. Hilmi ACAR

Assist. Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Assist. Prof. Dr. Güler GÖÇMEZ

Assist. Prof. Dr. Özcan TAN

In this study, lagoon clays constituting the soils of Hurma Village with its new name Harbor District and its surroundings existing today inside the boundaries of Konyaaltı Municipality were investigated. Konyaaltı coast area is a famous touristic region with its 9 km long beach at the west side of Antalya city. Nowadays, the region is subjected to multi-storey and dense constructioning activities due to its touristic charm. Lagoony and alluvial mechanisms in its development, the soil profile presents a considerably complex structure as a result of sea level and vertical ground movements.

This study is formed from three main chapters. In the first chapter, determining the geotechnical characteristics of disturbed and undisturbed specimens taken from the soft soils of Harbor District and its surroundings with comprehensive laboratory and field tests (SPT) according to TS 1900 criterions, they were formed from the correlations between geotechnical parameters (peculiar to the region). In the second

chapter, the mineralogical characteristics of the lagoon clays representing the region were investigated. In the third chapter, the consolidation settlement analysis of the exploration region was performed by using the finite elements method (plaxis software) and considering the results obtained from the field and laboratory data mentioned in the first chapter.

Key words: lagoon clays, soft soils, finite element method, soil models, Antalya.

ÖNSÖZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü doktora tezi olarak sunulan ve SÜ Bilimsel Araştırmalar (BAP) Koordinatörlüğünce maddi olarak desteklenen bu çalışmada, Konyaaltı (Antalya) bölgesi lagün çökelleri geoteknik açıdan teorik ve deneysel olarak incelenmiş ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma bölgede şu ana kadar yapılan çalışmalar içersinde en kapsamlı çalışma olup gelecekte bölgede yapılacak çalışmalar için kaynak niteliğindedir.

Doktora çalışmasını yöneten, bu çalışmaya beni teşvik eden, çalışma sırasında tecrübelerini ve ilgilerini esirgemeyen "Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Başkanı" değerli hocam Doç. Dr. M. Hilmi Acar'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım süresince manevi destek veren ve yoğun çalışmalarımı anlayışla karşılayan eşime, anne ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım. Doktora programının ders aşamasında ve tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen, ve bana yol gösteren tez izleme komitesi üyesi "SÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı Başkanı" sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yıldız'a ayrıca teşekkür ederim. Tez izleme komitesi üyesi "SÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Öğretim Üyesi" sayın Yrd. Doç. Dr. Güler Göçmez hocama değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sondaj çalışmalarını yürüten Toros Jeoteknik Mühendislik Ltd. Şti.'ne, laboratuar deneylerine katkılarından dolayı Toker Sondaj ve İnşaat Ltd. Şti. ve Erbey Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.'lerine teşekkür ederim.

Plaxis programının kullanımı sırasında tecrübelerinden istifade ettiğim ODTÜ İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı Arş. Gör. M. Yavuz Şengör'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ
ŞEKİL LİSTESİ
TABLO LİSTESİ
1. GİRİŞ …….....1
1.1. Lagünlerin Tanımı …….……1
1.2. İncelenen Bölgenin Yeri ve Jeolojik Tarihi ……..3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 7
2.1. Lagün Killeri İle İlgili Yapılan Çalışmalar ……...7
2.2. Plaxis Sonlu Elemanlar Programının Kullanımına Yönelik Çalışmalar ……...9
3. MATERYAL VE METOT ……..11
3.1. Konyaaltı Lagün Kili Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi ……....12
3.1.1. Arazi deneyleri …….……..…….....……12
3.1.2. Laboratuar deneyleri ….……...…….12
3.2. Konyaaltı Lagün Kilinin Mineralojisinin Araştırılması ……..……13
3.2.1. X-ışınları kırınımı (XRD) analizi …..……...13
3.2.2. Kil mineralleri ……..18
3.2.2.1. Kaolinit ……..19
3.2.2.2. Simektit grubu ……...19
3.2.2.3. İllit grubu ……...20
3.2.2.4. Vermikülit grubu ……...21
3.2.2.5. Sepiyolit ve Paligorskit grubu ……...21
3.2.2.6 Klorit grubu ……22
3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Oturma Analizi (Plaxis Yazılımı) ……22
3.3.1. Plaxis programı hakkında genel bilgiler ……..……22
3.3.1.1. Mohr - Coulomb model …….25
3.3.1.2. Soft-Soil model ……..……26
3.3.2. Mohr - Coulomb Modelde İstenilenVeriler……...26
3.3.2.1. Young modülü …….....27

3.3.2.2. Poisson oranı ……..…...28
3.3.2.3. Kohezyon ……...29
3.3.2.4. İçsel sürtünme açısı ……...29
3.3.2.5. Dilatasyon (kabarma / genleşme) açısı ……..……31
3.3.3. Soft-Soil modelde istenilen veriler ……..…..……...32
3.3.3.1. Soft Soil model teorisi ……..……..……...36

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ……..41
4.1. Konyaaltı Lagün Kilinin Geoteknik Özellikleri ……...…...41
4.1.1. Fiziksel özellikleri …….……...41
4.1.2. Mukavemet özellikleri ….…….48
4.1.3. Sıkışabilirlik özellikleri ….……...50
4.1.4. SPT deneyi sonuçları ile geoteknik özellikler arasındaki ilişkiler ……...56
4.1.5. Hidrolik geçirgenlik özellikleri ……63
4.2. Konyaaltı Lagün Kilinin Mineralojik Özellikleri ……...64
4.3. Konyaaltı Lagün Kilinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Konsolidasyon Oturması Analizi Sonuçları ……68
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA ……73
5.1. Konyaaltı Lagün Kilinin Geoteknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi ……...73
5.2. Konyaaltı Lagün Kilinin Mineralojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi ……75
5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Konsolidasyon Oturması Analizinin Değerlendirilmesi ……...……75
6. KAYNAKLAR ……77
7. EKLER 81

SEMBOL LİSTESİ

λ^*	**:** Modifiye edilmiş sıkışma (konsolidasyon) indisi
κ^*	: Modifiye edilmiş kabarma (şişme) indisi
c	: Kohezyon
φ	: İçsel sürtünme açısı
ψ	: Dilatasyon (kabarma / genleşme) açısı
K_0^{NC}	**:** Normal konsolide killerde sükunetteki toprak basınç katsayısı
M	: Kritik durum çizgisinin eğimi ($p' - q$ düzleminde)
E	: Elastisite modülü
e	: Boşluk oranı.
C_c	: Sıkışma indisi
C_s	: Kabarma indisi
ν_{ur}	: Poisson oranı
p'	: Ortalama efektif gerilme
ε_v	: Hacimsel deformasyon
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık
k_x	: Yatay geçirgenlik katsayısı
k_y	: Düşey geçirgenlik katsayısı
LL	: Likit limit
PL	: Plastik limit
PI	: Plastisite İndisi
A_c	: Aktivite katsayısı
φ_u	: Drenajsız sürtünme açısı
q_u	: Serbest basınç mukavemeti
c_u	: Drenajsız kayma direnci

UU	: Konsolidasyonsuz - drenajsız üç eksenli deneyi
CU	: Konsolidasyonlu - drenajsız üç eksenli deneyi
e_0	: Başlangıç boşluk oranı
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
SPT	: Standart Penetrasyon Test
$SPT-N$	: Standart Penetrasyon testi darbe sayıları
LI	: Likitlik indisi
Δ_h	: Düşey şekil değiştirme miktarı
Å	: Anstrong
m.e.	: Mili eşdeğer
ω	: Su muhtevası
q_u	: Serbest basınç mukavemeti
$\sigma_p^{'}$	: Ön konsolidasyon basıncı
$d_{(001)}$	: Dilinim
CEC	: Katyon değiştirme kapasitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Konyaaltı Bölgesinin Jeoloji Haritası ……..6
Şekil 3.1. Çelik havanda öğütme işlemi ……14
Şekil 3.2. Numunelerin saklanması ……...15
Şekil 3.3. Phillps XRD cihazı ……15
Şekil 3.4. XRD grafikleri ……...16
Şekil 3.5. Dizayn edilen geometrik model ……..…...24
Şekil 3.6. Sonlu elemanlar modeli sınır koşulları ……..24
Şekil 3.7. Hesaplama basamakları listesi ……...25
Şekil 3.8. Standart drenajlı üç eksenli test sonuçlarından E_0 ve E_{50}'nin bulunması .28
Şekil 3.9. Coulomb zarfının bir noktadan geçtiği kırılmada gerilme dairesi …….30
Şekil 3.10. Başlıca gerilme uzayında Mohr-Coulomb kırılma yüzeyi ……...30
Şekil 3.11. Mohr-Coulomb model Kum-1 tabakası genel özellikleri ……31
Şekil 3.12. Mohr-Coulomb model Kum-1 tabakası parametre özellikleri …….....32
Şekil 3.13. Hacimsel deformasyon ve ortalama gerilme arasında logaritmik ilişki ..34
Şekil 3.14. $p' - q$ düzleminde SS-modelin kırılma yüzeyi ……...……38
Şekil 3.15. Soft-Soil model Kil-1 tabakası genel özellikleri ……..…39
Şekil 3.16. Soft-Soil model Kil-1 tabakası parametre özellikleri ……..39
Şekil 4.1. Liman Mah. kil. (γ_s),(γ_n) ve (γ_k) parametrelerinin derinlikle değişimi .42
Şekil 4.2. Liman Mahallesi kilinin tipik indeks özellikleri ……44
Şekil 4.3. Liman Mahallesi kilinin tipik kıvam özellikleri …….……...46
Şekil 4.4. Liman Mahallesi kilinin plastisite kartı ……47
Şekil 4.5. Liman Mahallesi kilinin aktivite kartı ……...…48
Şekil 4.6. Liman Mahallesi kilinin (ϕ_u),(q_u) ve (c_u) değerlerinin derinlikle değişimi 49
Şekil 4.7. Liman Mahallesi kilinin (C_c) , (e_o) değerlerinin derinlikle değişimi …….51
Şekil 4.8. Liman Mahallesi kilinin (σ'_p), (OCR) değerlerinin derinlikle değişimi ...52
Şekil 4.9. Liman Mahallesi kilinin (ϕ_u) - (PI) korelâsyonu ……...……53
Şekil 4.10. Liman Mahallesi kilinin (C_u / σ'_p) - (PI) korelâsyonu ……54
Şekil 4.11. Liman Mahallesi kilinin (C_c) - (LL) korelâsyonu …….……...…55

Şekil 4.12. Liman Mahallesi kilinin (C_c) - (e_o) korelâsyonu …….56
Şekil 4.13.a. SK-1 – SK-4 SPT - N değerlerinin derinlikle değişimi ……...57
Şekil 4.13.b. SK-5 – SK-8 SPT - N değerlerinin derinlikle değişimi ……...58
Şekil 4.13.c. SK-9 – SK-12 SPT - N değerlerinin derinlikle değişimi …….58
Şekil 4.14. Tüm SPT - N sonuçlarının derinlikle değişimi ……59
Şekil 4.15. SPT-N / c_u, SPT-N / C_c, SPT-N / PI'nin karşılaştırılması ……...61
Şekil 4.16. c_u, C_c ve PI ile SPT - N arasındaki korelâsyonlar ……62
Şekil 4.17. Düşey geçirgenlik katsayısı ile doğal boşluk oranı arasındaki ilişki …...63
Şekil 4.18. Antalya bölgesi jeolojik haritası ……..65
Şekil 4.19. 11 adet kil numunesinin derinlik boyunca dağılımı ……67
Şekil 4.20. Grafiklerin çizimde kullanılan referans noktalarının görünümü ……...68
Şekil 4.21. 150 kPa'lık gerilme sonucu meydana gelen oturma ……....70
Şekil 4.22. Oturma (m) – zaman (gün) grafiği ……...70
Şekil 4.23. Oturma (m) – taban basıncı (kPa) grafiği ……71

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Soft-Soil ve Mohr-Coulomb modeli parametreleri …….…….40
Tablo 4.1. SPT - N ile kıvam ve serbest basınç direnci arasındaki ilişki ……..60
Tablo 4.2. SPT - N ile kumların sıkılığı arasındaki ilişki ……..60
Tablo 4.3. 11 adet numunedeki kil mineralleri oranları …….66
Tablo 4.4. Ön yükleme ile oturma (cm) – zaman (gün) ilişkisi ……..…72

1. GİRİŞ

Günümüzde Konyaaltı (Antalya) bölgesinde yapılaşma yeterli bir geoteknik araştırma yapılmadan devam etmektedir. Bu sahada yapılan yapılarda, izin verilen sınırların üzerinde oturmalar ve farklı oturmalardan dolayı eğilmeler sıkça karşılaşılan problemlerdir (Dipova ve Acar 2003). Lagün killerinin mühendislik davranışlarıyla ilgili özellikleri hala tam olarak tespit edilememiştir. Bunun nedeni genelde farklı çökeltilerin düzensiz ve kararsız bir şekilde tabakalaşması ile oluşmuş siltli kil ve / veya kum bileşiminden oluşmasıdır. Bu çökeltilerin mineralojisi kendine has jeolojik orijinine ve genel çevresel çökelmelere bağlı olarak dar bir alanda bile değişiklik gösterebilmektedir. Bölgenin kent sosyolojisi açısından yoğun yerleşim bölgesi olarak seçilmesiyle birlikte ortaya çıkan geoteknik problemlere çözüm yolları bulmak ve bundan sonra bölgede yapılacak yapılara rehberlik etmek amacıyla bu bölgesel çalışma yapılmıştır. Bu amaçla bir dizi kapsamlı arazi ve laboratuar deneyi yapılarak bulunan geoteknik ve jeolojik parametreler arasında bölge zeminini temsil eden eşitlikler ve korelasyonlar oluşturulmuştur. Daha sonra bu bilgilerin ışığında plaxis yazılımının iki farklı zemin modeli kullanılarak (Mohr - Coulomb ve Soft - Soil) farklı taban basınçlarında meydana gelebilecek konsolidasyon oturmaları analiz edilmiştir.

1.1. Lagünlerin Tanımı

Lagün kelimesi sözlüklerde; özellikle büyük su kütleleri ile bir bağlantısı olan sığ göl veya durgun su alanları; kum tepecikleri (birikintileri) ile denizden ayrılmış sığ tuzlu su alanları veya açık deniz ile bağlantılı veya ayrılmış fakat genellikle onun yakınındaki göl veya durgun su birikintisi, sığ boğaz şeklinde tanımlanmaktadır (Lapeds 1978).

Lagünler rölatif olarak sığ suya sahip, çökelme nedeniyle oluşan, bariyerler nedeniyle de denizden kısmen veya tamamen tecrit olabilen yüzeysel su alanlarıdır. Bunlar genellikle kıyıların arkasında alçak topoğrafik yapıya sahip bölgelerde oluşurlar (Bird 1984).

Lagünler dünya da birçok kıyının bütününü veya bir bölümünü birikinti bariyerleriyle kuşatmıştır. Kuzey Amerika'nın Atlantik kıyıları ve körfezi, Güney Brezilya kıyıları; Batı Afrika kıyıları özellikle Abidjan ve Lagos; Fransa'nın Landes kıyıları; Venedik bölgesi ve Akdeniz'in değişik bölgeleri (Lyons Körfezi, Corsica' nın doğu kıyısı ve Mısır kıyıları); Karadeniz ve Hazar Denizi kıyıları; Kuzey-Doğu Natal, Hindistan'da Coromandel kıyıları ve Sri Lanka adasının batı kıyısı dünyadaki lagünlere güzel örneklerdir. İngiltere'de Cornwall'da Porthleven, Devon'da Slapton, Doset'de Chesil kumsalında çakıl bariyerlerin arkasında küçük lagünler vardır. Avustralya kıyılarında Perth' in güneyinde, Batı Avustralya kıyılarında Queen adasının güneyinde, Murray ağzından itibaren Güney - Doğu Avustralya kıyılarında kum bariyerlerinin arkasında çok iyi bir şekilde oluşmuş lagünler vardır (Bird 1969). Ülkemizde Dalyan (Köyceğiz) İztuzu Kumsalı, Çanakkale Boğazı Çardak kıyı dili (oku), Antalya (Konyaaltı) lagünlerini örnek verebiliriz.

Lagünlerde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar girişlerinin ve denizden ayıran bariyerlerin nasıl oluştuğu ve nasıl bir yapıya sahip olduklarının araştırılmasıdır. Genelde denizden olan giriş ağzı genişliklerinin, bariyer uzunluğunun beşte birinden küçük olduğu gözlenmiştir. Ancak denizle bağlantısı olan giriş ağzının genişliği belirtilenden daha geniş olur ise bu tür lagünlere açık lagün adı verilir. Kıyı lagünleri çok geniş bir yelpazede farklı jeomorfolojik ve ekolojik özellikler gösterirler fakat onların asıl karakteristikleri genelde üç bölgeden oluşmalarıdır. Bu bölgeler şunlardır:

- Akarsuların ağızlarına yakın tatlı su bölgesi,
- Lagün ağzına yakın tuzlu su gel - git bölgesi,
- Nispeten tuzlu olan suyun geçiş bölgesi.

Lagünler, tamamıyla denize kapalı da olabilir. Bu durumda tatlı su ihtiva edebilirler. Ancak denizden ayıran bariyerden tuzlu suyun sızmasıyla tuzluluk miktarı artabilir.

Bir lagünün en önemli karakteristik özelliği açık deniz ile olan bağlantısıdır. Bu bağlantı uzun bir kanal, bir bataklık, rüzgârla oluşmuş kum tepeciği formasyonu, bir akarsu veya sadece bir dar ağız şeklinde olabilir. Bu bağlantı şekli lagünün doğal formasyonuna, sahil şeridinin morfolojik ve ekolojik durumuna etki eder. Lagünlere etki eden faktörleri şu başlıklar altında toplayabiliriz (Güngör 1996):

- Morfolojik (erozyon) etkenler,
- Gel - git etkisi ve bataklıkların oluşumu,
- Kanalların dolması, (tortu, çökelti) etkisi,
- Rüzgâr, dalga, akıntı ilişkileri,
- Lagünlerde kirlilik etkisi,
- Buharlaşma etkileri.

1.2. İncelenen Bölgenin Yeri ve Jeolojik Tarihi

İnceleme alanı olarak Antalya ili Konyaaltı Belediyesi sınırları içerisinde bulunan eski adıyla Hurma köyü yeni adıyla Liman Mahallesi ve civarı seçilmiştir.

Konyaaltı kıyı alanı Antalya'nın batısında, Konyaaltı Belediyesi sınırları içerisinde ve 9 km uzunluğundaki plajı ile meşhur turistik bir bölgedir. Gelişimindeki lagünel ve alüvyal mekanizmalar, deniz seviyesi ve düşey yerkabuğu hareketleri sonucu zemin profili oldukça karmaşık bir yapı sunar (Dipova ve Acar 2003). Bunun nedeni genelde farklı çökeltilerin düzensiz ve kararsız bir şekilde tabakalaşması ile oluşmuş siltli kil ve/veya kum bileşimidir. Bu çökeltilerin mineralojisi kendine has jeolojik orijinine ve genel çevresel çökelmelere bağlı olarak dar bir alanda bile değişiklik gösterebilmektedir. Jeolojik tarihçesindeki kuruma dönemlerinde gelişen turba katmanları ince katmanlar oluşturmakla birlikte hâkim zemin yumuşak kildir.

Düzlükte yeraltı suyu -1,5 m' de ve kil suya doygun durumdadır (Dipova ve Acar 2003).

Antalya Körfezi batı ve kuzeybatısında allokton konumlu birimler ilk olarak Lewevre (1967) tarafından Antalya Napları olarak adlandırılmıştır. İnceleme bölgesinde ise bu naplara ait birimlerden Tesbihli Formasyonu, Çandır Formasyonu, Gökdere Formasyonu ve Tekedağ Formasyonu bulunmaktadır. Bu allokton birimlerin litolojik özellikleri kısaca şu şekildedir;

Tesbihli Formasyonu; ince – orta tabakalı, kırmızı – yeşil – gri – sarı ve siyahımsı renklerde radyolarit, çört ve şeyllerden oluşmaktadır. Bazı düzeylerinde bitümlü şeyller görülür ve kalınlığı 70 m'ye kadar ulaşmaktadır (Şenel ve diğ.,1997).

Çandır Formasyonu; Birim, tabakalı gri, yeşil ve kahve renkli kumtaşı, silttaşı ve kiltaşlarından oluşur. Yer yer volkanik, konglomera ve killi, kumlu kireçtaşı bantları da içerir. Kalınlığı 150 - 450 m arasında değişen bu formasyon Üst Anisiyen – Noriyen yaşlıdır (Şenel ve diğ., 1997).

Gökdere Formasyonu; Bu formasyon, ince – orta tabakalı, gri, bej ve krem renkli, mikritik dokulu kireçtaşlarından oluşur. Birim içerisinde şeyl – tüfit seviyeleri de bulunmaktadır ve yer yer diyabaz daykları ile kesilir. Kalınlığı 350 m'ye kadar varmaktadır.

Tekedağ Formasyonu; Şenel ve et al. (1981) tarafından adlandırılan bu formasyon orta – kalın tabakalı, bej, krem, sarı, açık gri ve kirli beyaz renkli neritik kireçtaşlarından oluşur. Bazı düzeylerde dolomit ve dolomitik kireçtaşları da içermektedir. Yaklaşık 1200 m kalınlık gösteren bu formasyon Resiyen – Senamoniyen yaşlıdır (Şenel ve diğ., 1981).

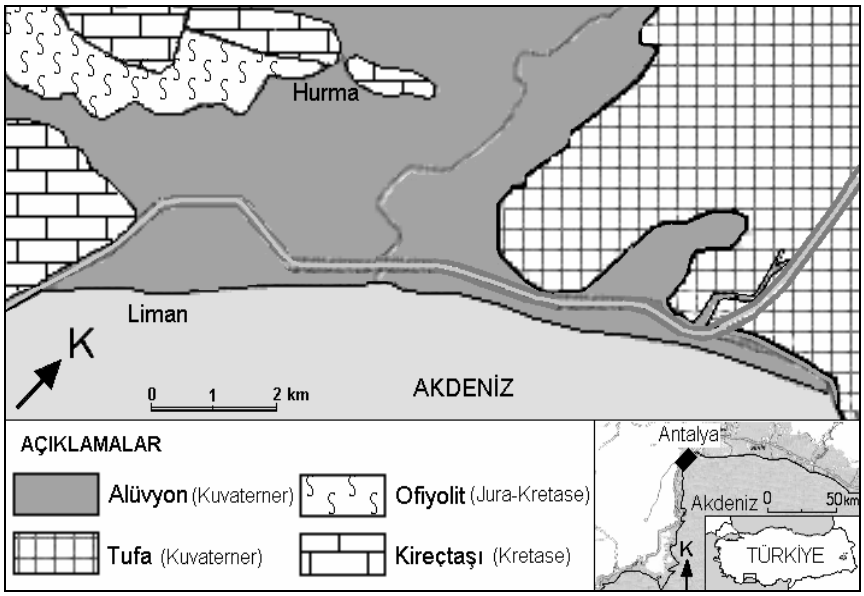
İnceleme alanında Kuvaterner oluşukları; Antalya Traverteni, yamaç döküntüleri, plaj çökelleri ve alüvyonlarla temsil edilmektedir. Bunlar içerisinde en fazla yer kaplayanları da gri, kirli sarı ve açık kahve renklerinde ve bol erime

boşlukları içeren Antalya Travertenleridir.

Yukarıda anlatılan birimlerden türeyen ve bölgede düzlük alanlarda çökelen alüvyonlar 80 m kalınlığa kadar ulaşmaktadır. Lagün ve akarsu ortamında çökelen bu ince taneli çökellerin depolanmasında Boğaçay, Çandır ve Sarısu ırmaklarının taşıdığı çökeller etkili olmuştur.

İnceleme alanının batısında Hurma, Bahtılı ve Çakırlar kesiminde Boğaçayı, Çandır ve Sarısu çaylarına bağlı olarak gelişen Kuvaterner yaşlı alüvyon zemin kalınlığı 80 m'ye kadar ulaşmaktadır. Alüvyon zemini oluşturan litolojik birimlerin orijinini kireçtaşı, ofiyolit, bazalt ve radyolarit türü kayaçlar oluşturmaktadır (Şekil 1.1.).

Saz ovası ve Hurma köyü çevresinde yamaç sürüntüsü ve taşkın malzemelerinden oluşan alüvyon yelpazeleri bulunmaktadır. Bu yelpazeler sığ olup bunun altında yeniden lagünel çökeller olan kil ağırlıklı birimler devam etmektedir. Kıyı alanındaki çökellerin kalınlığı değişkenlik göstermekle birlikte, 20 ile 80 m arasında olduğu bilinmektedir. Kıyı düzlüğünü çevreleyen kaya birimleri; kuzeyde ve batıda Jura - Kretase kireçtaşları ve Üst - Kretase yaşlı ofiyolit birim, doğuda Pliyo-Kuvaterner yaşlı Tufa (traverten)'dır (Dipova ve Acar 2003).



Şekil 1.1. Konyaaltı Bölgesinin Jeoloji Haritası (Dipova ve Acar 2003).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Lagün Killeri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Dipova (1997), Konyaaltı (Antalya), bölgesindeki zemin davranışını belirlemek için daha önce yapılan zemin etüt raporlarını incelemiş, elde edilen verileri tablo halinde sunmuştur. Araştırmacı bu çalışmayı yaparken zemin katmanlarının yatay ve düşey sürekliliğini dikkate alarak inceleme alanını 5 bölgeye ayırmış ve mikro-bölgelendirme haritası hazırlamıştır. Yörede yaygın olarak uygulanan tip yapıyı tespit etmiş, bu tip yapıyı belirlediği bölgeler üzerinde gezdirerek yapının temel etki derinliklerini hesaplamıştır. Ayrıca bu tip yapının kendi ağırlığı nedeni ile oluşan oturma özelliklerini her bir bölge için bulmuştur.

Simonini ve Cola (2000), yaptıkları arazi ve laboratuar çalışmaları sonucunda öncelikle Venedik lagünlerinin kapsamlı geoteknik özelliklerini belirlemişlerdir. Sonuçta Venedik lagün zeminlerinin kesme modülünü ($G_{\max.}$)'ı tespit etmişlerdir.

Almeida ve diğ. (2001), Brezilya'nın Rio de Janeiro Şehri'nin batı bölümündeki Jacarepagua lagün sistemini incelemişlerdir. Bu amaçla bölgedeki lagün ve nehir sedimentlerinin mineralojik, kimyasal ve indeks özellikleri belirlenmiş ve ağır metallerin bölgeye verdiği kirliliğin boyutları incelenmiştir. Bu çalışmalarının sonucunda bölgeyi oluşturan yüksek organik madde içeren turba ve yumuşak kil karışımı zeminin ağır metallerin etkisiyle asitlenme eğiliminde olduğunu bulmuşlardır.

Kolay ve diğ. (2001), Hindistan'ın Nagpur Bölgesi'nde bulunan Koradi Termik Güç Santrali'nin atık küllerinin bu termik santralin yakınında bulunan lagün alanlarında bulamaç halinde ıslak tanzim edilerek elde edilen zeolit (radyoaktif atıkların temizlenmesinde kullanılan bir endüstriyel hammadde) külü atığı formasyonlarını incelemişlerdir. Bu amaçla x-ışını analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM)

analizi, indeks özellikleri, katyon değişim kapasitesi (CEC) ve alkali aktivitesini araştırmışlardır.

Tanaka ve diğ. (2001), Güneydoğu Asya'da ki Bangkok ve Singapur'da bulunan iki alandaki zemin araştırması sonuçlarını, Japonya'da bulunan Ariake test alanından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Laboratuar testlerinde konsolidasyon özellikleri ve drenajsız kesme gerilmesini incelemişlerdir. Mekanik testlere ilaveten kil minerallerinin mikro yapılarının tanımlanmasında x-ışını difraksiyonu ve taramalı elektron mikroskobu testlerini de yapmışlardır. Bu killerde büyük fiziksel ve mekanik özellik farklılıkları tespit etmişlerdir. Bunun farklı kil minerali kompozisyonundan ve değişken çevresel çökelmelerden kaynaklanabileceğini söylemektedirler.

Cola ve Simonini (2002), İtalya'nın en meşhur tarihi şehri Venedik ve onu çevreleyen lagünün başlıca göze çarpan özelliğinin; derinlik ve bölgeyle hiçbir düzenli dağılımı olmayan kil ağırlıklı görünümü olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada Venedik lagününün temel zemin indeks özelliklerini tanımladıktan sonra, bölgedeki partikül dağılımının geometrik özelliklerinin bütününü içeren yeni bir tane büyüklüğü indeksi formüle etmişlerdir. Bu indeks ayrıntılı mekaniksel davranışların tanımlanmasında zemin derecelenmesinin etkisini ortaya koymuştur.

Kolay ve Singh (2002), Hindistan'ın Nagpur Maharashtra bölgesindeki kömürle çalışan Koradi Termik Güç Santrali'nin lagün killerinin alkali aktivitesi ve endüstriyel sulu çamurlarından ağır metallerin sızdırmaması üzerine bir araştırma yaptılar. Bu amaçla bölgedeki lagün kilerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerini tespit etmişlerdir.

Ricceri ve diğ. (2002), İtalya'nın Venedik şehrinin küçük bir lagün alanı üzerinde (Malamocco Test alanı) kapsamlı arazi ve laboratuar çalışmaları sonucunda koni penetrasyon testi (CPT) ve dilatometre testi (DMT) sonuçlarını yorumlayarak bu tür zeminlerin başlıca geoteknik özellikleri ve zemin profilinin tespitinde yaygın olarak kullanılabilecek bir çalışma önermişlerdir.

Dipova ve Acar (2003), Konyaaltı (Antalya) kıyı alanındaki mavi-yeşil kilin sıkışabilirlik özelliklerinin belirlenmesi için sabit efektif gerilme altında sıkışma indeksi (C_c) değerleri ile ikincil sıkışma parametreleri (C_α ve $C_{\alpha\varepsilon}$) arasındaki ilişkiyi kısa ve uzun süreli konsolidasyon deneyleri ile araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda mevcut olan 10~15 katlı yapılardaki toplam sıkışma miktarları içerisinde ikincil sıkışmanın %10~16'lık bir payı teşkil ettiğini bulmuşlardır.

Schmitz ve diğ. (2004), yayınladıkları makalelerinde Atterberg limitleri ve kil mineralojisi arasında bir korelasyon önermektedirler. Bu korelasyon sayesinde, zemin mekaniği ile uğraşan mühendislerin ve kil minaralojistlerinin, indeks testleri yoluyla zeminin mekaniksel davranışının tanımlanmasında daha sağlıklı bilgiler elde edilebileceklerini belirtmektedirler.

2.2. Plaxis Sonlu Elemanlar Programının Kullanımına Yönelik Çalışmalar

Brandes ve diğ. (1996), yeni bir sonlu elemanlar programı (Cam Clay Model) tanıtmışlar sonra, bu programı iki farklı derin deniz kilinin uzun dönemli drenajlı laboratuar sünme testleri (üç eksenli ve serbest basınç testi) sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve birbiriyle uyumlu neticeler elde etmişlerdir.

Neher ve diğ. (1999), iki zemin modeli ki, bunlar modifiye cam kili modelini esas alan Soft-Soil model ve Soft-Soil-Creep modeli iki test dolgusunun çözümlenmesinde kullanmışlardır. Sonuç olarak SSC-modelin aşırı konsolide olmuş zeminlerde SS-modele göre bir avantaj sağlamadığı bununla birlikte normal konsolide olmuş yumuşak killerde SSC-modelin SS-modele göre üstün olduğunu tespit etmişlerdir.

Kılıç ve Yıldırım (2000), Alibey Barajı temel zemininin gerilme - şekil değiştirme-konsolidasyon davranışını nümerik olarak inceleyebilmek için gerekli malzeme parametrelerinin belirlenmesi ve nümerik modelin kalibrasyonu ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Kılıç ve Yıldırım (2000), Alibey Barajı dolgusu ve temel zeminini, sonlu elemanlar yöntemiyle modelleyerek düşey ve yanal yer değiştirmeler ve yüklemeye bağlı olarak boşluk suyu basıncında ve efektif gerilmelerde meydana gelen değişimleri arazi ölçümleriyle karşılaştırmışlardır.

Zhu, ve Yin (2000), yayınladıkları makalede, lineer olmayan bir boyutlu elastik visko - plastik modeli Kanada, Quebec'deki Berthierville test dolgusu altındaki kil tabakalarının konsolidasyon analizinde kullanmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan kil tabakalarının sıkışmasının arazide ölçülen değerlerle uyumlu olduklarını gözlemlemişlerdir.

Liu ve Carter (2002), bu çalışmlarında öncelikli olarak Cam Kili Modeli'nin teorik yapısından bahsetmişler daha sonra deneysel bulgularla ve modelin parametreleri ile elde edilen sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlar ve sonuçların uyumlu olduklarını bulmuşlardır.

Bergado ve diğ. (2003), Laboratuar ortamında altıgen biçiminde tel ağ örgülerle güçlendirilmiş siltli kum dolguların kesme davranışını düzlemsel gerilme altında incelemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi olarak Plaxis ve Sage Crisp yöntemlerini kullanmış ve bunların sonuçlarını arazi verileriyle karşılaştırmışlardır. Sonuçta Plaxis ve Sage Crisp sonlu elemanlar yöntemleriyle bulunan sonuçların arazi verileriyle iyi bir uyum içinde olduklarını tespit etmişlerdir.

Özarslan (2003), Ankara- Eryaman Türkkonut C Bölgesi 46512 nolu Toplu Konut Tahsis Alanında önceden yapılan zeminin jeolojik ve jeoteknik etütleri sonucunda elede edilen zeminin mühendislik ve mukavemet parametrelerini kullanarak plaxis zemin bilgisayar programı ile bir çalışma yapmıştır.

Kara ve Elcuman (2004), bu çalışmada Kayseri Serbest Bölgesi killerinin özellikleri ve kademeli dolgu ile zemin iyileştirme yöntemi uygulandığında zemin davranışını incelemişlerdir Bu analizlerde plaxis paket programını kullanarak oturma hesapları yapmışlardır.

3. MATERYAL VE METOT

İnceleme bölgesi olarak Konyaaltı (Antalya) yumuşak lagün zeminleri seçilmiştir. Bölgede yapılaşma yeterli bir geoteknik araştırma yapılmadan devam etmektedir. Bu sahada yapılan yapılarda, izin verilen sınırların üzerinde oturmalar ve farklı oturmalardan dolayı eğilmeler sıkça karşılaşılan problemlerdir (Dipova ve Acar 2003).

Bu çalışma üç bölümden meydana gelmektedir. Bunlardan birincisi; Konyaaltı (Antalya) Belediyesi sınırları içinde bulunan Liman Mahallesi mavi - yeşil yumuşak kilinin geoteknik özelliklerinin TS 1900'da belirtilen kriterlere göre kapsamlı arazi ve laboratuar deneyleri ile araştırılmasıdır. Geoteknik araştırmalar sonucu bulunan parametreler arasında bölgeye özgü çeşitli korelasyonlar oluşturulmuştur.

İkinci olarak Konyaaltı (Antalya) Liman Mahallesi lagün çökeli killerinin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla; zemin profili boyunca değişik derinliklerden alınan 11 adet numune üzerinde de XRD (x-ışınları difraksiyonu) analizi yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen veriler dikkate alınarak üçüncü bölümde ise sonlu elemanlar yöntemiyle (plaxis yazılımı) inceleme bölgesi modellenerek konsolidasyon oturması analizi yapılmıştır. Her üç bölümle ilgili yapılan çalışmalar bundan sonraki bölümlerde ayrı ayrı başlıklar altında toplanarak izah edilmiştir.

Antalya (Konyaaltı) Liman Mahallesi bölgesinden deney numunelerinin elde edilmesi amacıyla sondaj çalışmaları ve standart penetrasyon (SPT) deneylerinin yapılması Antalya'da bulunan Toros Jeoteknik Mühendislik Ltd. Şti. tarafından üstlenilmiştir. Çalışma alanından elde edilen numunelerin TS 1900'da belirtilen kriterlere göre standart deneyleri Ankara'da bulunan Toker Sondaj ve İnşaat Ltd. Şti. ve Erbey Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.'leri laboratuarlarında yapılmıştır.

3.1. Konyaaltı Lagün Kili Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi

Konyaaltı (Antalya) Belediyesi sınırları içinde bulunan eski adıyla Hurma Köyü (bölgesi), yeni adıyla Liman Mahallesi zemininden alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numunelerinin geoteknik özellikleri standartlara uygun olarak yapılan laboratuar ve arazi SPT (Standart Penetrasyon Test) deneyleri ile belirlenmiştir (Ek-1).

3.1.1. Arazi deneyleri

Bölgede 12 adet 30 m derinliğinde sondaj kuyuları açılarak yaklaşık 1.5 m aralıklarla shelby tüpleri vasıtasıyla örselenmemiş zemin numuneleri ile örselenmiş numuneler alınmıştır. Ayrıca arazi deneyi olarak her sondaj kuyusunda SPT deneyleri gerçekleştirilmiş olup, korelasyonlarla laboratuar ve arazi deney sonuçları karşılaştırılmış, sonuçların uyumlu oldukları gözlenmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde incelenen zemin tabakası kalınlığı 30 m'dir. Geoteknik çalışmalarda 30 m'ye kadar inilmesine rağmen daha önce bölgede yapılan zemin etüdü sonuçlarından, su çıkarılmak maksadıyla açılan artezyen kuyuları sonuçlarından ve görüşülen jeologlardan kil ağırlıklı kısmın 80 m'ye kadar devam ettiği bilgisi alınmıştır.

3.1.2. Laboratuar deneyleri

İndeks ve mühendislik özelliklerinin tespiti maksadıyla; elek analizi, hidrometre analizi, likit limit, plastik limit, tane birim hacim ağırlığı (γ_s), doğal birim hacim ağırlık (γ_n), kuru birim hacim ağırlık (γ_k) ve doğal su muhtevası (w_n) deneyleri TS 1900'da belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Zemin kayma drenci parametrelerinin tespiti için; serbest basınç ile konsolidasyonsuz - drenajsız (UU) ve konsolidasyonlu - drenajsız (CU) üç eksenli kesme deneyleri TS1900'da belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Sıkışabilirlik özelliklerini tayin etmek için; ring çapı 7.5 cm ve yüksekliği 20 mm olan konsolidasyon aletinde deneyler yapılmıştır. Deneyler her yük kademesinde 24 saat beklemeli ve TS 1900'da öngörülen sürelerde okuma alınarak gerçekleştirilmiştir. Zemin sıkışma indisi (Cc), ($e-\log\sigma'$) eğrisinden başlangıç boşluk oranı (e_0) değeri ve ($e-\log\sigma'$) eğrisi yardımıyla değişik derinlikler için ön konsolidasyon basıncı (σ'_p) değerleri bulunmuştur. Ön konsolidasyon basıncı değerleri ve oluşturulan zemin profili özelliklerinden efektif jeolojik basınç değerleri hesaplanarak aşırı konsolidasyon oranı (OCR)'nin derinlikle değişimi gösterilmiştir.

3.2. Konyaaltı Lagün Kilinin Mineralojisinin Araştırılması

Çalışmanın ikinci bölümünü bölgeyi temsil eden lagün killerinin mineralojisinin tespiti oluşturmaktadır. Bu amaçla MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı Mineraloji Araştırmaları Koordinatörlüğü'nde, özellikle kil minerallerinin tanımlanmasında ve diğer kil olmayan fakat zeminde bulunan minerallerin tespitinde de çok uygun bir yöntem olan XRD detay kil analizleri yaptırılmıştır (Ek-2). Bu amaçla değişik derinliklerden alınan 11 adet numunede XRD analizi yaptırılarak zemini oluşturan mineraller belirlenmiştir.

3.2.1. X-ışınları kırınımı (XRD) analizi

XRD yöntemi, özellikle optik yöntemler (polarizan mikroskop altındaki incelemeler) ile incelemelerin sınırlı veya imkânsız olduğu kayaç, cevher, kil

mineralleri, endüstriyel hammaddeler ve kristalen malzemelerin nitel ve nicel olarak incelemelerinde kullanılan en önemli mineralojik analiz yöntemlerinden birisidir. MTA Genel Müdürlüğü (XRD) analizi laboratuarlarında aşağıdaki işlem sırasıyla analiz yapılmaktadır;

(1) Kayaç ve mineral numuneleri çelik havanda kırıldıktan sonra agat havanlarda iyice öğütülüp toz haline getirilir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Çelik havanda öğütme işlemi

(2) Toz haline getirilen numuneler analiz sırasına göre numaralandırılarak plastik kaplarda saklanır (Şekil 3.2).



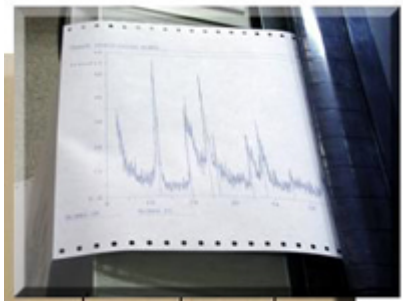
Şekil 3.2. Numunelerin saklanması

(3) Analiz edilecek numuneler cam lamlara konularak XRD cihazlarının özel örnek localarına yerleştirilir ve analiz edilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Philps XRD cihazı

(4) Analiz edilen örneklerin XRD grafikleri çekilerek ASTM indeks kartlarına göre değerlendirmeleri yapılır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. XRD grafikleri

XRD veya elektron kırınım yöntemlerinin mineralojik tanımlama ilkeleri aynı olup, her bir kristalen maddenin kendisine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları veya elektronları karakteristik bir düzen içerisinde kırma esasına dayanır. X-Ray difraksiyonu; kohezyonlu zeminlerin minerallerini belirlemek ve kristal yapılarını tayin etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

X-ışınları elektromanyetik spektrumdaki (tayftaki) birkaç değişik dalgalardan biridir. 0.01 ile 100 Å arasında değişen oranlarda dalga boylarına sahiptirler. X-ışınları, içinde yaklaşık 50.000 V.'luk bir voltaj düşüşüne maruz kalan; hedef malzemedeki bir flamandan ışın (akı) oluşumuna neden olan elektronların bulunduğu bir tüp kullanılarak oluşturulur. Tek bir dalga boyunun x-ışınlarını vermede tek renkli kavisli ölçer kullanılabilir.

Belirli maddeler farklı dalga boylarındaki x-ışınlarını adsorbe edebilirler, böylece onların yalnızca bir dalga boyunun ışınlarını veren x-ışınları tüpünün çıkışında filtre edilmeleri mümkündür. Kil minerallerinin tanımlanmasında en yaygın olarak kullanılan bakır radyasyonu 1.54 Å.'luk bir dalga boyuna sahiptir. Özellikle kil minerallerinin tanımlanmasında çok uygun olan x-ışınları yansıması kil olmayan fakat zeminde bol bulunan diğer mineralleri de belirleyebilir (Keskin 1993).

X-Ray difraksiyon metodu, zeminlerdeki kil minerallerini tespit metotlarından biridir. Temel olarak, montmorillonite, feldispat, sepiolit, klorit, quartz, kaolinit gibi

standart minerallerden elde edilen çizgilerin şiddetleri ile farklı mineraller için tespit edilen difraksiyon çizgilerinin karşılaştırılmasından ibarettir. Farklı kil mineralleri 7.10 veya 14 Å.'daki ilk sıradaki esas yansımalar ile karakterize edilirler. Spesifik kil mineral gruplarının pozitif olarak tanımlanmaları için bunların belirli ön işleme tabi tutulmaları gerekmektedir. Mesela, kaolin tipi kil mineralleri 500°C'deki ısıda ısıtılarak parçalanabilir. Diğer kil mineralleri bozulmaz. Kaolin yaklaşık 7.2 Å.'luk ara mesafe ayarına sahipken bu, hidratlı halloysit de 10 Å.' dur. Hidratlı halloysit 110°C'de kurutulduğunda 7 Å. geri dönüşü mümkün olmayacak şekilde bozulur. İllitler ise yaklaşık 10 Å.'un bir (dilinim) $d_{(001)}$'i ile karakterize edilmişlerdir. Smektit grubu minerallerin pozitif olarak tanımlanmalarında esas olan husus genişleme (şişme) karakterine sahip olmalarıdır. Bunlar havada kurutulduklarında 12 ile 15 Å.'luk temel bir aralığa sahip olabilirler. Smektitler etilen glikol veya gliserol ile muamele edildiklerinde 17 – 18 Å.'un bir $d_{(001)}$ değerinde genişler. Etüvde kurutulduklarında $d_{(001)}$ yaklaşık 10 Å.'a düşer (Keskin 1993).

Vermikülit, genişleyen bir mineral olmasına rağmen, daha büyük bir iç tabaka düzenine sahiptir. Dolayısıyla ısıtma ve kurutma neticesinde temel boşluklarında meydana gelen değişiklikler smektit minerallerinde meydana gelenlerden daha azdır. Tam doygun olduklarında, $d_{(001)}$ boşluğu 14.8 Å.'dur. Bu değer 70 °C 'de ısıtıldığı zaman 11.6 Å.'a düşer. Klorit minerallerinin temel boşluğu 14 Å.'da sabittir. Demirce zengin olan kloritler zayıf bir ilk yansımaya sahiptirler. Fakat ikinci yansımaları oldukça güçlüdür, bu yüzden kaolinit ile karşılaştırılabilirler. Gerçekte 60 °C 'de 1 NaCl ile işleme tabi tutulduklarında klorit mineralleri bozulurken, kaolinit etkilenmez. Ya da, 60 °C 'deki ısıtmada kaolinit bozulurken klorit etkilenmeyebilir. İşte yapılacak bazı ön işlemler ile zeminin mineral cinsini daha doğru şekilde belirlemek mümkün olacaktır (Keskin 1993).

Sadece yansıma piklerinin yüksekliğine veya alanına bakılarak bir zemindeki farklı minerallerin miktarlarının kantitatif olarak belirlenmesi her zaman çok kolay olmayabilir. Bunun nedeni, hidrasyondaki minerallerin kristallenmesindeki, tanelerin yönlenmesindeki, minerallerin hacimsel emme katsayılarındaki v.b. faktörlerdeki

farklılıklardır. X-Ray difraksiyon metodu çok dikkatle kullanılması ve değerlendirilmesi gereken bir metottur (Keskin 1993).

3.2.2. Kil mineralleri

Kil mineralleri çözeltiden kristalleşmeyle, kayaçlar başta olmak üzere silikat içeren birincil minerallerin ayrışmasıyla, yine bu minerallerin hidrotermal ortamda değişimi, diyajenez ve yeniden yapılanmayla, hatta laboratuar koşullarında oluşabilir (Bailey 1980, Gillott 1987). Kil, bir kayaç ismi olup diğer kayaçlarda olduğu gibi pek çok minerali bünyesinde toplar. X-ışınları tekniklerinin kullanılmasıyla killerin büyük bir kısmının kristalin maddelerden oluştuğu belirlenmiştir. Katyon değiştirme kapasitesi (CEC), killerin özelliklerinin iyileştirilmesi sırasında katkı maddesinin miktar ve özelliğini saptama gibi özel amaçlarla ve farklı birkaç yöntem kullanılarak ölçülmektedir. Laboratuarda kolaylıkla yapılabilecek bir ölçüm kili sodyum iyonlarına doyurmak, Na^{+} fazlasını etil alkolle ayırdıktan sonra nötr koşullarda (Ph = 7) bu iyonların NH^{4+} iyonları ile yer değiştirmesini sağlamaktır. Elde edilen çözeltideki sodyum iyonları atomik emme spektrofotmetre ile ölçülerek aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Eşitlik 3.1.).

$$CEC = \frac{10^4}{Ms} Nf \times D \tag{3.1}$$

Yukarıdaki eşitlikte “Ms” kilin kuru kütlesi, “Nf” son çözeltideki sodyum iyonu konsantrasyonu, “D” ise amonyum asetat çözeltisi için yoğunluk katsayısıdır (Önalp 1997).

İç yapılarına ve kimyasal bileşimlerine göre yapılan sınıflandırmaya göre killer;

- Kaolin grubu; kaolinit, dikit, nakrit ve halloysit
- Simektit grubu; montmorillonit, beidellit, nontronit, saponit ve saukonit
- İllit grubu; illit sulu mika, fenjit, brammalit, glokonit ve seladonit
- Vermikülit grubu
- Sepiyolit ve Paligorskit grubu
- Klorit grubu şeklinde sınıflandırılabilir (Çelik ve Karakaya 1998).

3.2.2.1. Kaolinit

Bu grup ardışık silika ve sekiz köşeli tabakaların 1:1 dizilimiyle oluşmuştur (Önalp 1997). Beyaz, mat görünüşlü, toprağımsı plastisitesi az, asite tepki göstermeyen, ergimeyen minerallerin yer aldığı gruptur. Bu grupta kaolinit, dikit, nakrit, anoksit, halloysit bulunur. Rengi genelde beyazdır; bazıları da grimsi, kahverengi ya da kırmızı lekelidir. Parlak bir mineral değildir, toprağımsıdır. Nem çekicidir. Grup üyelerinden halloysit fazla hidratlı olduğundan diğerlerinden farklıdır. Mineral kıvrıldığından, iskambil kağıdı dizilimi görünüşü veren kaolinite benzemez. Grubun ortalama katyon değiştirme kapasitesi (CEC) ortalama 10 m.e. (mili eşdeğer) dolayında iken halloysitte 40 Å yükselmektedir.

3.2.2.2. Simektit grubu

Mikroskopla ayırt edilemeyecek kadar küçük kristalleri mevcuttur, ayrıntılı özellikleri elektron mikroskopta yapılacak incelemeler sonucu belirlenebilir. Rengi sarı, beyaz veya yeşildir (Çelik ve Karakaya 1998). 2:1 tabakalı grubun üyesidir. Tabakalarda iyonik yer değiştirmeler negatif yük belirmesini sağlar. Bu grubun en önemli özelliklerinden birisi tabakalar arasına su ve organik sıvılar girmesi sonucu tabaka kalınlığının değişkenlik göstermesidir. Bu olayın sonucu hacimde büyük artış olması bu önlendiğinde yüksek şişme basınçlarının belirmesidir. Bu gruba giren mineraller beidellit, nontronit, saukonit, saponit, ve en sık görüleni montmorillonittir.

Mineraldeki elektriksel dengesizliğin sonucu katyon değiştirme kapasitesi 80 - 150 m.e. gibi yüksek düzeye çıkmıştır. Tabakalar arasındaki katyonun yeri potasyum tarafından alındığından oluşan K-montmorillonit illit'e benzer, ancak yüksek su alma yeteneğini yitirmez. Bunun nedeni kristal kenarlarındaki negatif yüklerin farklı aralığıdır. Smektitlerin özgül yüzeyi çok büyüktür. Tabakalar arası yüzey dışında kalan birincil yüzey 50 - 150 m^2 / g iken kristal kafesin genleşmesiyle ikincil yüzeylerin belirmesi bu alanı 700 - 840 m^2 / g aralığına yükseltebilir (Önalp 1997).

Montmorillonit ve beidellit bentonitik kil yataklarının ana bileşenidir. Bu yataklar püskürük volkanik materyalin, çoğunlukla tüfler, volkanik küllerin alterasyonu sonucu oluşur. Değişik miktarda kristobalit, zeolitler, biyotit, kuvars, feldispat, zirkon v.b. bileşenleri içerebilirler.

3.2.2.3. İllit grubu

İllit düzgün kristaller halinde bulunmaz, mikroskobik incelemelerde levhamsı şekillerde gözlenir. Beyaz veya çeşitli pembe olanları da gözlenebilir. İllitler, simektitler ve vermikülitler kil mineralleri olup, yapısal olarak mikalara benzerler. En büyük benzerlik illit grubu minerallerde görülür (Çelik ve Karakaya 1998). İllit muskovite benzeyen ancak daha az potasyum ve çok daha fazla su içeren bir kil mineralidir. İllit'in 10 - 40 m.e. olan katyon değiştirme kapasitesi kaolinit ve smektit gruplarının değerleri arasındadır. Mikalara oranla daha az olan potasyum iyonlarının çoğunluğu yer değiştirmez ve su, tabakaları arasına kısıtlı hacimlerde girebilir. Tabakalar arası uzaklık 10 Å civarındır. Elektron mikroskobu incelemeleri illit danelerinin doğada çok büyük boyutlarda belirdiğini göstermektedir (Önalp 1997).

Doğal illitlerin çoğunun bileşiminde düzenli veya düzensiz ara tabakalanma şeklinde simektit tabakları bulunur. İllit / simektit (I / S) karışık tabakalı topluluğu sedimanter kayaçlarda en bol bulunan kil minerali bileşenidir.

3.2.2.4. Vermikülit grubu

Vermikülit trioktahedral mika ve simektitlere benzer, fakat karakteristikleri farklı olup ayrı bir mineral olarak tanımlanmışlardır. Vermikülit minerali kil boyutunda olduğu gibi, daha büyük olarak da belirebilir. Katyon değiştirme kapasitesi 100 - 260 m.e. arasında değişir. Bu mineral zeminlerde sanıldığından daha sık bulunan bir malzemedir. Mg-vermikülitte tabakalar arası magnezyum iki su tabakası tarafından sarılmıştır. Ancak, arada katyonlara bağlı olmayan su molekülleri de bulunur. Bu moleküller kil ısıtıldığında dışarı çıktığından tabakalar arası uzaklık değişir. Eğer sıcaklık çok yüksek olmamışsa su moleküllerinin geri alınması mümkündür. Bu değişkenlik vermikülitleri smektitlere benzer hale getirir. Öte yandan 2:1 tabakaların kısmen düzenli su ve magnezyum iyonlarıyla bağlanma özelliği de kloritleri anımsatmaktadır (Önalp 1997).

3.2.2.5. Sepiyolit ve Paligorskit grubu

Sepiyolit, magnezyumu fazla olan volkanik küller ve kayaçların ayrışmaları sonucunda meydana gelen mineralleri içerir Rengi beyaz, sarımsı, grimsi, mavimsi, yeşil olabilir. Çok ince taneli olup ufak taneleri opak ve kuru halde suda yüzer. Suyla karıştırıldığında elastik davranış gösterir, erimez ve asitlerde çözünmez (Çelik ve Karakaya 1998). Mat ve hafif bir mineraldir. Magnezyumca zengin volkanik küller ile kristalin kayaçların, serpantin veya magnezitin de ayrışması sonucunda meydana gelebilirler.

Poligorskitin, kristal yapısı sepiyolitinki gibidir, yalnız zincirsel birimler daha geniştir. Elektron mikroskopta lifsel kristaller halinde gözlenir. Renk beyaz, grimsi beyaz, sarımsı beyaz, ıslak iken gri - yeşildir. Oluşumu sedimanter veya hidrotermal kökenli olabilir.

3.2.2.6 Klorit grubu

Kloritler tabakalı yapılı bir mineral grubu olup bir çok yönden mikalar benzer. Tabakalar arası uzaklık $d_{(001)}$ = 14.30 Å, CEC değeri 10 - 40 m.e. (Önalp 1997). Rengi yeşil, sarı, kahverengi olabilir. Cam ışıldamalıdır. Genelde düşük dereceli bölgesel metamorfik kayaçlarda ve magmatik kayaçlardaki ferromagnezyen minerallerinin hidrotermal alterasyonuyla oluşur. Killi sedimanter kayaçlarda kil mineralleri ile birlikte bulunur. Kloritlerin mükemmel dilinimleri vardır: Klorit çok yaygın olarak bulunan bir mineraldir, genellikle yaklaşık 400^{o}C ve birkaç kbar basınçta, düşük - orta dereceli metamorfik kayaçlarda oluşur. (Çelik ve Karakaya 1998).

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Oturma Analizi (Plaxis Yazılımı)

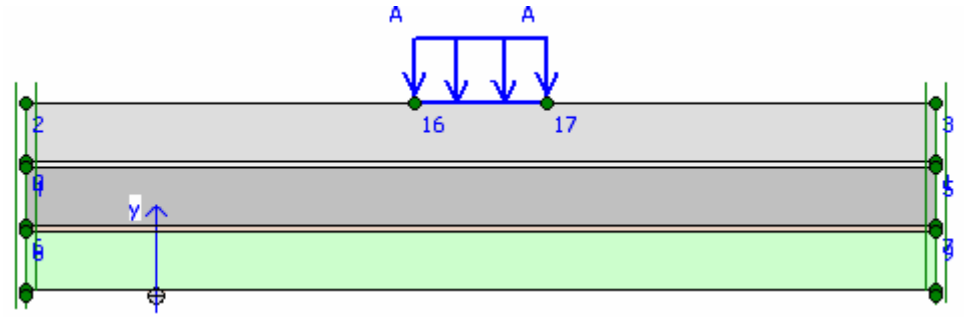
3.3.1. Plaxis programı hakkında genel bilgiler

Son yıllarda bilgisayar teknolojisine bağlı olarak karmaşık zemin davranışını daha iyi modelleyen nümerik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu analizlerde yük artışından dolayı oluşan gerilmeler, zamana bağlı değişim sonucu meydana gelen konsolidasyon oturmaları belirlenebilmektedir (Kara ve Elcuman 2004). Plaxis programı; 1987 yılında Hollanda'nın Delf Teknik Üniversitesi'nde, Hollanda Bayındırlık İşleri ve Sular Dairesi'nin düz arazilerde yer alan yumuşak zeminler içindeki nehir dolgularının analizinde kullanılmak üzere bir sonlu elemanlar programı geliştirmek istemesi ile ortaya çıkmıştır. Sonraki yıllarda ise plaxis zemin bilgisayar programı geoteknik mühendisliğinin bir çok alanında yaygınlaşmıştır. Devam eden çalışmalarla birlikte, 1993 yılında PLAXİS BV şirketi kurulmuş olup uzman kadroları ile dünya çapında çalışmalarını sürdürmektedir.

Plaxis programını kullanarak tünel, derin kazı (destekli - desteksiz), temel (yüzeysel - derin), baraj, dolgu, istinat yapısı gibi bir çok mühendislik yapısı modellenebilir (Özarslan, 2003).

Plaxis programı dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; geometrik model girişi, hesaplamalar, sonuçlar ve sonuçların grafiklendirilmesi bölümleridir.

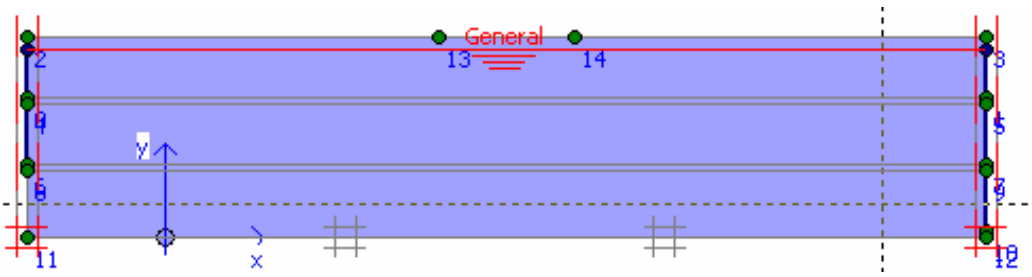
Bu çalışmada, Konyaaltı bölgesi (Liman Mahallesi) zemini, son yıllarda kullanımı giderek artan Plaxis sonlu elemanlar yazılımının 8. sürümü olan orijinal paket program kullanılarak analiz edilmiştir. Plaxis sonlu elemanlar yazılımında gerilme - şekil değiştirme - konsolidasyon davranışı birlikte analiz edilebilmektedir. Plaxis programı yardımıyla, Konyaaltı (Liman Mahallesi) bölgesi zemininin konsolidasyon oturması analizi, 30 m derinliğinde ve 140 m uzunluğunda oluşturulan geometrik modelle yapılmıştır. Sonlu elemanlar modeli, toplam 502 eleman ve üzerinde 6 düğüm noktası bulunan toplam 4173 düğüm noktalı üçgen elemanlardan oluşmaktadır. Yapılan literatür taramasında bölgeyle ilgili böyle bir çalışamaya rastlanmamıştır. Bu amaçla; birinci bölümde bahsedilen arazi çalışmaları ve laboratuar verilerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda zemin tabakasının 30 m'lik derinlik boyunca Kil-1 (0-9 m), Kum-1 (9-10 m), Silt-1 (10-19 m), Kum-2 (19-20 m), Silt-2 (20-30 m) olmak üzere 5 tabaka şeklinde geometrik modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.5.). Kil ve silt olarak adlandırılan tabakalar geoteknik özellikler bölümünde de görüleceği gibi (Şekil 4.2) gerçekte tümüyle kil veya silt değil kil - silt - kum ardalanmasından oluşmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Dizayn edilen geometrik model

Plaxis programıyla çözümde; normal konsolide olmuş kil ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışını modelleyen Cam Clay modelini temel alan Soft Soil zemin modeli Kil-1, Silt-1, ve Silt-2 tabakalarında, Mohr - Coulomb zemin modeli ise Kum-1, ve Kum-2, tabakalarında seçilerek çözüm yapılmıştır.

Plaxis programıyla analiz yapılırken, yer altı su seviyesi (-2.00 m) de ve konsolidasyon analizleri sırasında suyun gerilme artışlarıyla beraber serbest bir biçimde drene olmamasını modellemek için kapalı konsolidasyon sınırları zemin yan yüzeylerinde tanımlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Sonlu elemanlar modeli sınır koşulları

Mohr - Coulomb, ve Soft-Soil zemin modelleriyle çözümde iki katlı bir binadan zemine gelebilecek yük yaklaşık 25 kPa tahmin edilerek, zemine gelen yayılı yük miktarları 25, 50, 75, 100, 125, 150 kPa şeklinde seçilmiştir. Yayılı yükün

genişliği 20 m alınmıştır. Program iki boyutlu hesap yaptığı için yayılı yükün ve zemin tabakalarının şekil düzlemine dik derinliği 1 m kabul edilmektedir. Her yük kademesinde iki aşama (step) uygulanarak hesaplama yapılmıştır. 1. aşama birincil deformasyon aşaması (plastik hesaplama), 2. aşama konsolidasyonlu deformasyon aşamasıdır. Plaxis programıyla yukarıda belirtilen taban basınçları sonucu meydana gelen konsolidasyon oturması analizleri yapılmıştır (Şekil 3.7.).

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	Fir
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic	Staged construction	0,00 ...	1	1
<Phase 2>	2	1	Consolidation	Minimum pore pressure	3160...	1	4
<Phase 3>	3	2	Plastic	Staged construction	0,00 ...	3	47
<Phase 4>	4	3	Consolidation	Minimum pore pressure	6321...	3	50
<Phase 5>	5	4	Plastic	Staged construction	0,00 ...	5	51
<Phase 6>	6	5	Consolidation	Minimum pore pressure	1264...	5	54
<Phase 7>	7	6	Plastic	Staged construction	0,00 ...	7	62
<Phase 8>	8	7	Consolidation	Minimum pore pressure	9482...	7	65
<Phase 9>	9	8	Plastic	Staged construction	0,00 ...	9	74
<Phase 10>	10	9	Consolidation	Minimum pore pressure	1062...	9	77

Şekil 3.7. Hesaplama basamakları listesi

Zemin modelinde Kil-1, Silt-1, ve Silt-2 tabakalarında boşluk suyu basıncının oluşabilmesi için drenajsız malzeme tipi, Kum-1, ve Kum-2 tabakalarında ise drenajlı malzeme tipi seçilmiştir.

Plaxis yazılımı zemin davranışını ve diğer özelliklerini temsil etmek için değişik zemin modellerini destekler. Aşağıda modeller hakkında kısa bilgiler verilmiştir (Plaxis V.8).

3.3.1.1. Mohr - Coulomb model

Bu iyi bilinen model genelde zemin davranışının birinci yaklaşımı olarak kullanılır. Model Young modülü (E), Poisson oranı (ν), kohezyon (c), içsel

sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon (kabarma/genişleme) açısı (ψ) diye isimlendirilen beş parametreyi içerir.

3.3.1.2. Soft - Soil model

Normal konsolide olmuş killer ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışını temsil etmekte kullanılan Cam Clay çeşidi modeldir. Birincil oturma durumunu en iyi gösteren modeldir.

İncelenen bölgenin plaxis programıyla analizi yapılırken literatür bölümünde kısaca belirtilen konu ile ilgili yapılan çalışmalardan ve yukarıdaki model tanımlarından da yola çıkılarak iki tip model kullanılmıştır. Normal konsolide olmuş killi zeminlerde birincil sıkışma durumunu en iyi gösteren model çeşidi Soft-Soil model olduğundan dolayı, ince taneli (kohezyonlu) normal konsolide zemin tabakalarında Soft-Soil modelle çözüm yapılmıştır.

Zemin davranışını temsil etmede birinci yaklaşım olarak bir çok araştırmacı tarafından kullanılan klasik Mohr - Coulomb modeli ise kum bandı tabakalarında kullanılarak çözüm yapılmıştır.

Analizlerde kullanılan modellerin özellikleri ve kullanılan parametrelerin nasıl elde edildiği bundan sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.3.2. Mohr - Coulomb modelde istenilen veriler

Mohr - Coulomb model çoğu geoteknik mühendisi tarafından bilinen ve zemin numuneleri üzerinde yapılan temel testlerden elde edilen toplam beş parametreyi içerir. Bu parametreler standart birimleri ile aşağıda listelenmiştir.

(E) : Young modülü (Elastisite modülü) [kN/m^2]

(ν) : Poisson oranı [-]

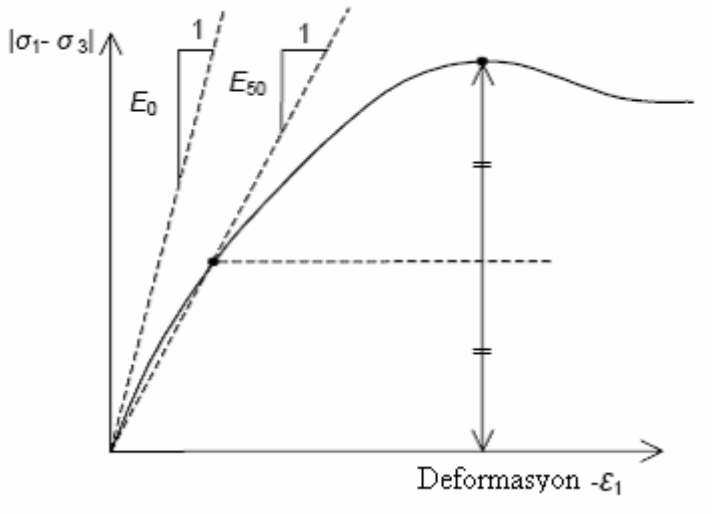
(φ): İçsel sürtünme açısı [^{o}]

(c) : Kohezyon [kN/m^2]

(ψ): Dilatasyon (genleşme) açısı [^{o}]

3.3.2.1. Young Modülü (Elastisite Modülü) (E)

Plaxis zemin programı temel sertlik / katılık modülü olan Young modülünü diğer bazı alternatif sertlik modelleri ile birlikte Lineer Elastik model ve Mohr - Coulomb modellerinde kullanır. Sertlik parametresinin değerinin hesaplanmasında, bazı geomateryaller yüklemenin başlangıcından itibaren lineer olamayan davranış sergilediklerinden özellikle dikkatli olmak gerekir. Zemin mekaniğinde Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi gerilme $(\sigma_1 - \sigma_3)$ - deformasyon (ε_1) eğrisinin birinci (başlangıç) eğimi E_0'ı ve sertliğin %50 olduğu andaki kısmın eğimi de E_{50}'yi gösterir. Geniş bir lineer elastik dağılım aralığındaki malzemeler için E_0'ı kullanmak gerçekçi olur, fakat genellikle kumlar ve normal konsolide olmuş killerde E_{50} daha sıklıkla kullanılır.



Şekil 3.8. Standart drenajlı üç eksenli test sonuçlarından E_0 ve E_{50}'nin bulunması

Zeminlerde hem ilk yükleme modülü hem de boşaltma modülü basınçla birlikte artar. Bu nedenle derin zemin tabakaları yüzeysel tabakalardan daha büyük sertlik değerine sahiptir. İlaveten sertliğin gerilme izine bağlı olduğu da gözlemlenmiştir. Sertlik, yeniden yükleme ve boşaltma anında ilk yüklemeye göre daha yüksek değere sahiptir. Aynı zamanda zemin sertliği için kullanılan Young modülü terimi drenajlı sıkışma halinde kesmeden daha küçük olabilmektedir. Bu nedenle zemin davranışını temsil eden sertlik modülü kullanılırken öncelikle gerilme düzeyi ve gerilme izi ile uyumlu bir değer seçilmelidir.

3.3.2.2. Poisson oranı (ν)

Standart drenajlı üç eksenli testte eksenel yüklemenin hemen başlangıcında hacimde önemli oranda azalma olabilmekte ve sonuç olarak Poisson's oranının (ν) değeri başlangıçta küçüktür. Özellikle boşaltma problemleri gibi bazı durumlarda küçük değerler kullanmak gerçekçidir fakat genelde Mohr - Coulomb model de daha büyük değerlerin kullanılması önerilir. Sonuç olarak en genel durumda, Poisson

oranı yatay ödometre testlerinde boşaltma ve yeniden yükleme durumlarında yatay gerilme farkının düşey gerilme farkına oranı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır (Eşitlik 3.2.). Boşaltma - tekrar yükleme Poisson oranı v'_{ur} değerinin 0,10 - 0,20 aralığında alınabileceği ve genellikle kohezyonlu zeminler için ortalama bir değer olarak 0.15, kohezyonsuz zeminler için 0.20 olarak alınması (Plaxis El Kitabı V.7)'de önerilmektedir.

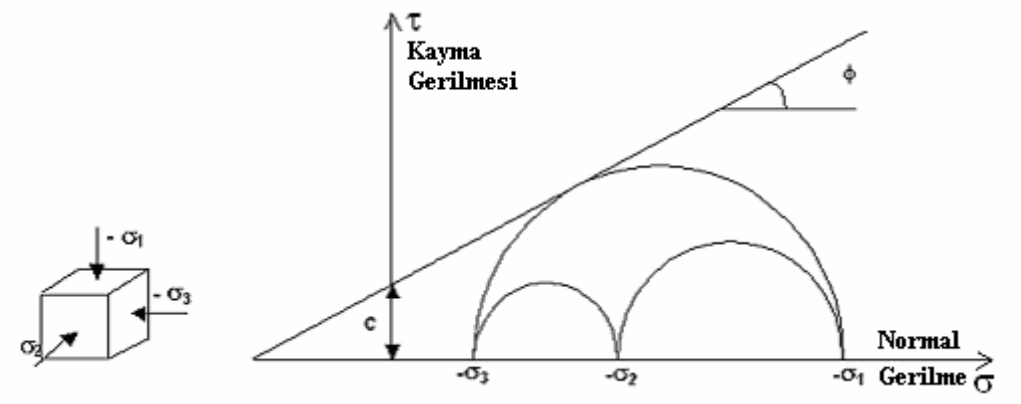
$$\frac{\nu_{ur}}{1-\nu_{ur}} = \frac{\Delta\sigma_{xx}}{\Delta\sigma_{yy}} \tag{3.2}$$

3.3.2.3. Kohezyon (c)

Kohezyon kuvveti gerilmenin bir boyutudur. Plaxis programı kohezyonsuz kumlarda $(c = 0)$ alır, fakat bazı durumlarda iyi sonuçlar vermeyebilir. Karışıklıklardan kaçınmak için uzman olmayan kullanıcılara en küçük değeri $(c \rangle 0.2kPa)$ alması tavsiye edilir.

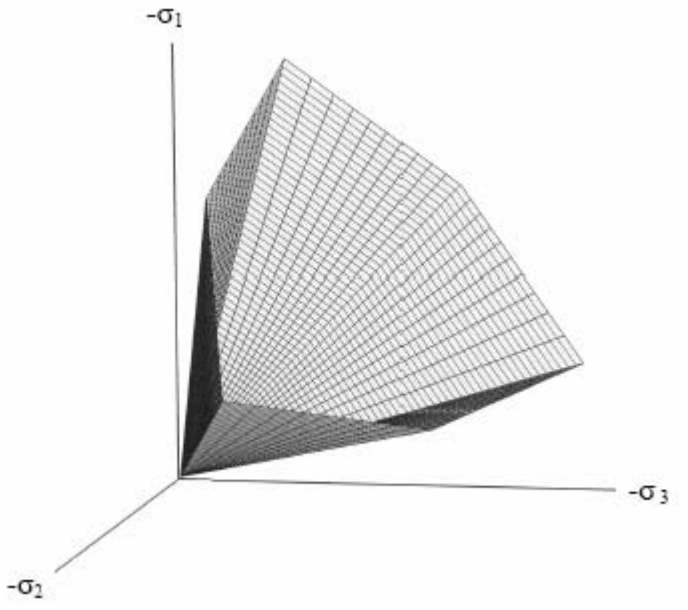
3.3.2.4. İçsel sürtünme açısı (ϕ)

İçsel sürtünme açısının birimi derecedir. Yüksek sürtünme açısı ki, bazen sıkı kumlarda elde edilir, aslında plastik hesaplama güçlüğünü artırır. Hesap zamanının artışı içsel sürtünme açısı değeri ile katlanarak artar veya azalır. Bu nedenle yüksek sürtünme açılarından özellikle projelerde ön hesapları yaparken kaçınılmalıdır. İçsel sürtünme açısı çoğunlukla Mohr gerilme dairesi vasıtasıyla Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi kesme gerilmesi hesabında kullanılır.



Şekil 3.9. Coulomb zarfının bir noktadan geçtiği kırılmada gerilme dairesi

Daha genel kırılma kriterinin temsili şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Mohr - Coulomb çökme (kırılma) kriteri zemin davranışının tanımlanmasında Drucker-Prage yaklaşımından daha iyidir, çünkü bu yaklaşımda simetrik olmayan konfigürasyonlar için sonraki başarısızlık yüzeyleri hatalı sonuçlara yol açma eğilimindedir.

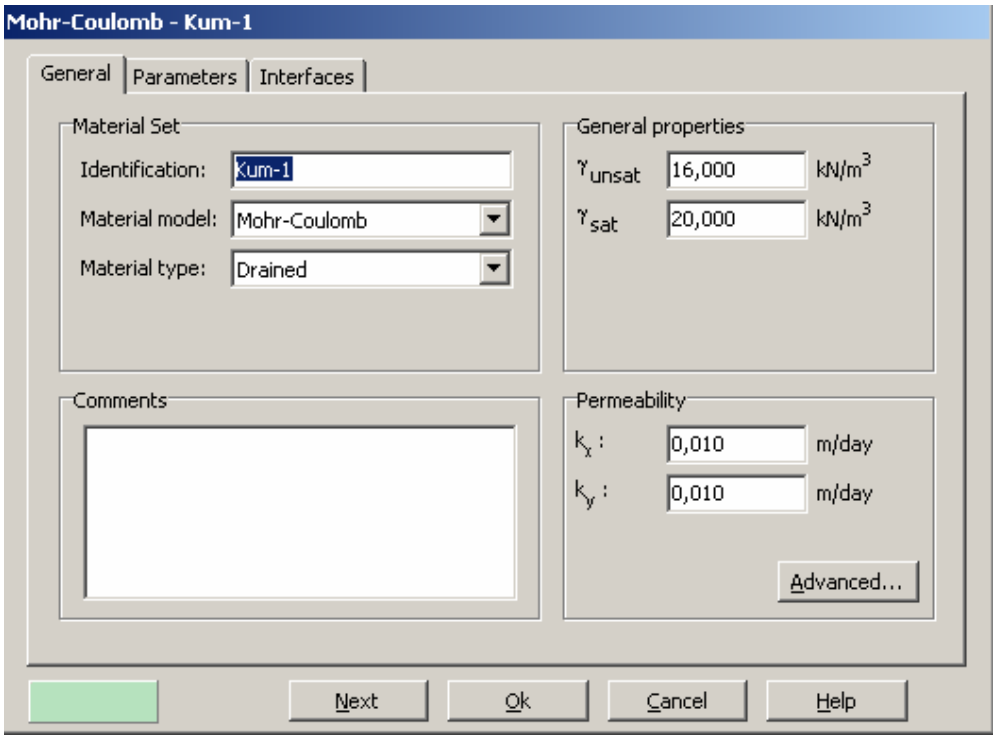


Şekil 3.10. Başlıca gerilme uzayında Mohr - Coulomb kırılma yüzeyi

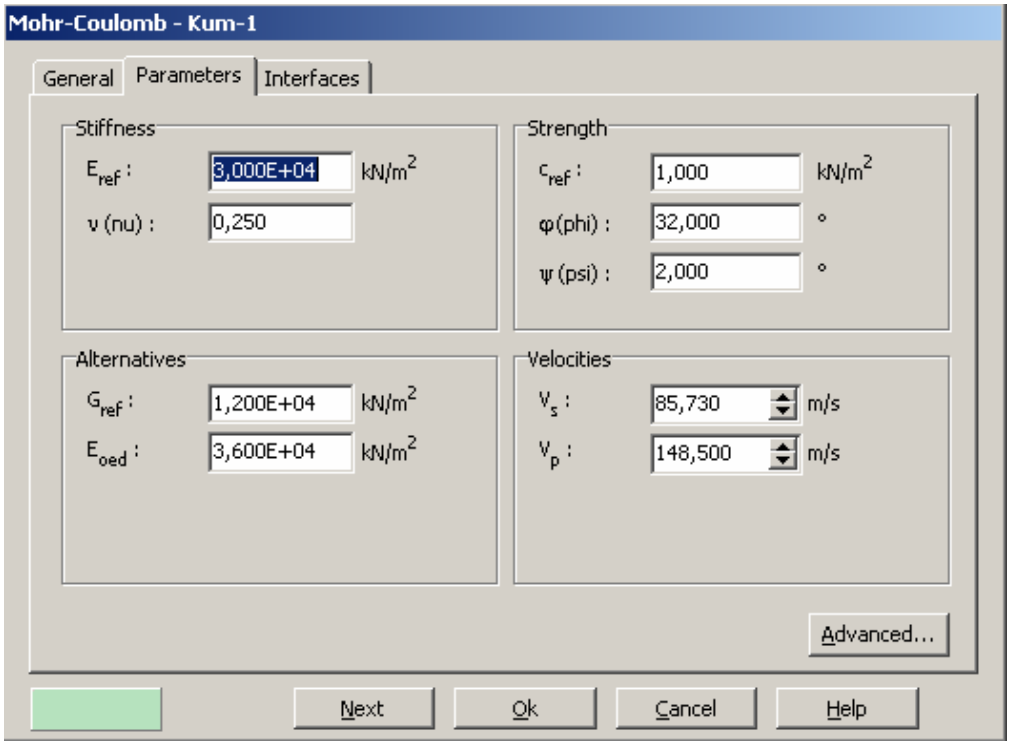
3.3.2.5. Dilatasyon (kabarma / genleşme) açısı (ψ)

Dilatasyon açısı Ψ (psi) derece ile ifade edilir. Aşırı konsolide tabakalar, kil zeminlerde genişleme açısı göstermezler $(\psi = 0)$. Kumların genişleme açısı hem yoğunluğa ve hem de sürtünme açısına bağlıdır. Kuvars kumlarda büyüklük olarak $(\psi = \varphi - 30^0)$ kuralı vardır. Genellikle genişleme açısı $\varphi - 30^0$'den küçük değerler için 0'dır. Küçük negatif değerli genişleme açısı sadece aşırı derecede gevşek kumlarda olabilir (Plaxis V.7).

Aşağıdaki şekillerde, (Şekil 3.11. - 3.12.) Liman Mahallesi zemininin Kum - 1 tabakasının plaxis programıyla çözümünde kullanılan genel ve parametre özelliklerini görülmektedir.



Şekil 3.11. Mohr-Coulomb model Kum-1 tabakası genel özellikleri



Şekil 3.12. Mohr-Coulomb model Kum-1 tabakası parametre özellikleri

3.3.3. Soft Soil modelde istenilen veriler

Normal konsolide olmuş killer ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışını temsil etmekte kullanılan Cam - Clay model Soft Soil modelin temelini teşkil eder. Bu model aşırı konsolidasyon oranı OCR < 2 olan yumuşak zeminlerin davranışını daha iyi modelleyebilmek için geliştirilmiş izotropik, elasto - plastik şekil değiştirme pekleşmeli bir modeldir (Kara ve Elcuman, 2004). Birincil sıkışma durumunu en iyi gösteren modeldir. Soft soil modelin birkaç özeliği şöyledir:

- Sertliğe (katılığa) bağlı gerilme (logaritmik sıkışma davranışı).
- İlk yükleme ve boşaltma – yeniden yükleme arasındaki ayırım.
- Ön konsolidasyon gerilmesinin hesabı.
- Mohr - Coulomb kıstaslarına göre başarısız davranış.

Soft Soil model parametreleri aynı zamanda Soft - Soil - Creep modeli parametreleridir. Bununla birlikte, Soft Soil model, Soft - Soil - Creep modelden farklı olarak zamana bağlı davranışı, modifiye edilmiş sünme indisi μ^*'ü içermez. Sonuç olarak, Soft Soil modelde aşağıdaki zemin parametrelerine ihtiyaç vardır:

Temel parametreler:

λ^* : Modifiye edilmiş sıkışma (konsolidasyon) indisi [-]

κ^* : Modifiye edilmiş kabarma (şişme) indisi [-]

c : Kohezyon [kN/m^2]

φ : Kaya mukavemeti açısı [^{o}]

ψ : Dilatasyon / genleşme (kabarma) açısı [^{o}]

İleri seviyedeki parametrelerde (sabit ayarlar kullanılır):

ν_{ur} : Boşaltma / yeniden yükleme için Poisson oranı [-]

K_O^{NC} : Normal konsolide killerde yatay gerilme katsayısı [-]

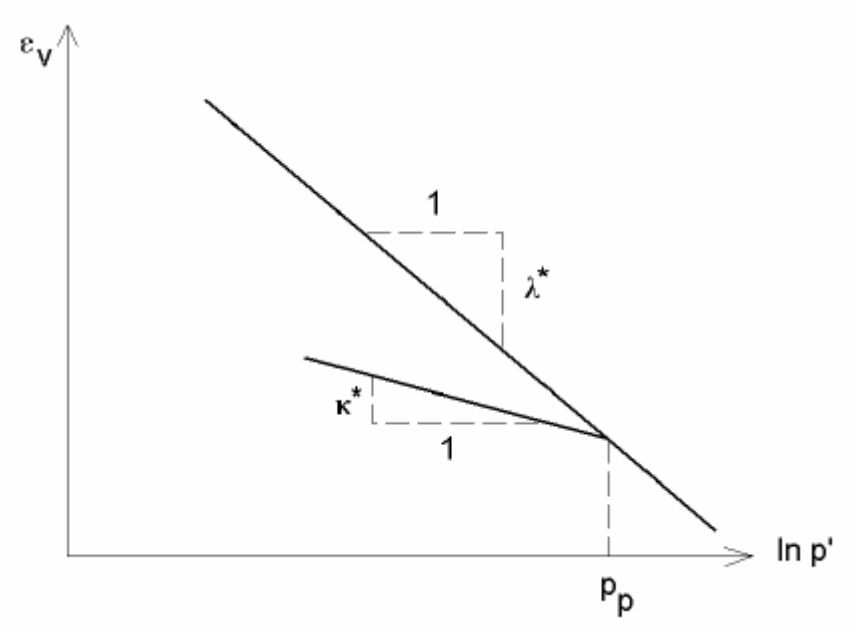
M : K_O^{NC} - parametresiyle ilişkilidir. (Kritik durum çizgisinin eğimi) [-]

$$M = 3.\sqrt{\left(\frac{(1-K_0^{NC})^2}{(1+2.K_0^{NC})^2} + \frac{(1-K_0^{NC})(1-2.\nu_{ur})(\lambda^*/\kappa^*-1)}{(1+2.K_0^{NC})(1-2.\nu_{ur})\lambda^*/\kappa^* - (1-K_0^{NC})(1+\nu_{ur})}\right)} \qquad (3.3)$$

Yukarıdaki Eşitlik 3.3.'de görüleceği gibi M parametresi Poisson oranı ve λ^*/κ^* oranı tarafından da etkilenir. Bununla birlikte M parametresinin değerinin hesaplanmasında K_0^{NC} en büyük rolü oynar. Eşitlik (3.4) yaklaşık olarak aşağıdaki eşitlikten de hesaplanabilir.

$$M \approx 3.0 - 2.8K_0^{NC} \tag{3.4}$$

Modifiye edilmiş sıkışma ve şişme indisleri, boşluk oranı - logaritmik gerilme eğrisinde $(e_v - \ln p')$ bakir sıkışma (konsolidasyon) eğrisinin eğimi λ^* ve kabarma (boşalma) eğrisinin eğimi de κ^*'yı verir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Hacimsel deformasyon ve ortalama gerilme arasındaki logaritmik ilişki

Tek boyutlu konsolidasyon deneyi sonuçlarından, normal konsolidasyon çizgisinin eğiminden λ sıkışma indisi ve boşaltma - yeniden yükleme çizgisi eğiminden κ şişme indisi belirlenebilir. Ayrıca tek boyutlu sıkışma durumunda sıkışma katsayısı C_c boşaltma - yeniden yükleme katsayısı C_s ile $\lambda = C_c / 2.3$ ve $\kappa = C_s / 2.3$ ilişkileri yazılabilir (Kılıç ve Yıldırım, 2000).

Sayısal analizlerde kullanılan modifiye edilmiş sıkışma ve kabarma indisleri λ^* ve κ^* aşağıdaki (Eşitlik 3.5 - 3.6.)'dan hesaplanarak bulunmuştur. λ^* / κ^*: oranı genelde 3 – 7 arasında değer alır (Plaxis V.8).

$$\lambda^* = \frac{C_c}{2.3(1+e)} \tag{3.5}$$

$$\kappa^* = 1.3\left(\frac{1-\nu_{ur}}{1+\nu_{ur}}\right)\left(\frac{C_s}{1+e}\right) \tag{3.6}$$

Yukarıdaki eşitlikte;

e: Ortalama efektif gerilmeye tekabül eden boşluk oranı.

C_c: Sıkışma indisi.

C_s: Kabarma indisi.

ν_{ur} : Poisson oranı.

Poisson oranı ν_{ur} genelde 0.1 - 0.2 arasında değer alır. Soft Soil modelin standart ayarlarında ν_{ur} = 0.15 kabul edilmiştir.

$$\frac{\nu_{ur}}{1-\nu_{ur}} = \frac{\Delta\sigma_{xx}}{\Delta\sigma_{yy}} \tag{3.7}$$

Kabarma açısı (ψ) Soft Soil modelin standart ayarlarında ihmal edilerek 0 derece alınır.

Yatay gerilme katsayısı (K_O^{NC}) aşağıdaki eşitlikten yaklaşık olarak hesaplanabilir (Plaxis V.8).

$$K_O^{NC} = 1 - \text{Sin } \varphi \tag{3.8}$$

3.3.3.1. Soft Soil model teorisi

Soft Soil modelin temelini Modifiye edilmiş Cam - Kili modeli teşkil eder. Ortalama efektif gerilme p' ve hacimsel deformasyon ε_v arasında logaritmik bir ilişki olduğu kabul edilmiştir. Hacim oranının yerine hacimsel deformasyonun ε_v kullanılmasından dolayı Eşitlik (3.9)'da λ sembolü yerine (Burland 1965)'deki gibi modifiye edilmiş sıkışma indisi λ^* kullanılmıştır. Bakir izotropik sıkışma durumunda kırılma aşağıdaki gibidir (Neher ve diğ., 1999).

$$\varepsilon_v - \varepsilon_{v0} = \lambda^* . \ln\left(\frac{p'}{p'_0}\right) \tag{3.9}$$

İzotropik boşaltma / yeniden yükleme durumlarında ise elastik hacim deformasyonu aşağıdaki gibi formüle edilmiştir (Eşitlik 3.10.). Eşitlik (3.10)'daki üst indis ^{e} elastik davranışı ve alt indis $_0$ ise başlangıç durumunu ifade etmektedir.

$$\varepsilon_v^e - \varepsilon_{v0}^e = \kappa^* . \ln\left(\frac{p'}{p'_0}\right) \tag{3.10}$$

Modifiye edilmiş şişme indisi κ^* parametresi, boşaltma / yeniden yükleme durumunda zemin davranışının tanımlanmasında kullanılır. Bu davranış elastik kabul edilmiştir ve elastiklikle ilgili Hook kanununda tanımlanmıştır. Eşitlik (3.10)'da ki lineer gerilme katılık modülünün teğetine bağlıdır.

$$E_{ur} = 3.(1 - 2\nu_{ur}).\frac{p'}{\kappa^*} \tag{3.11}$$

Eşitlik (3.11)'deki ur alt simgesi boşaltma (unloading) ve yeniden yükleme (reloading) ile ilgili olarak kullanılır. κ^* ve v_{ur} elastik deformasyonun hesaplanmasında girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır.

Üç eksenli gerilme durumu için S-S modelin kırılma fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$f = p^{eq} - p_p^{eq} \tag{3.12}$$

Eşitlikte p^{eq} gerçek gerilme durumu ile ilgili ve p_p^{eq} ise (Şekil 3.12.) ön konsolidasyon gerilmesine eşittir.

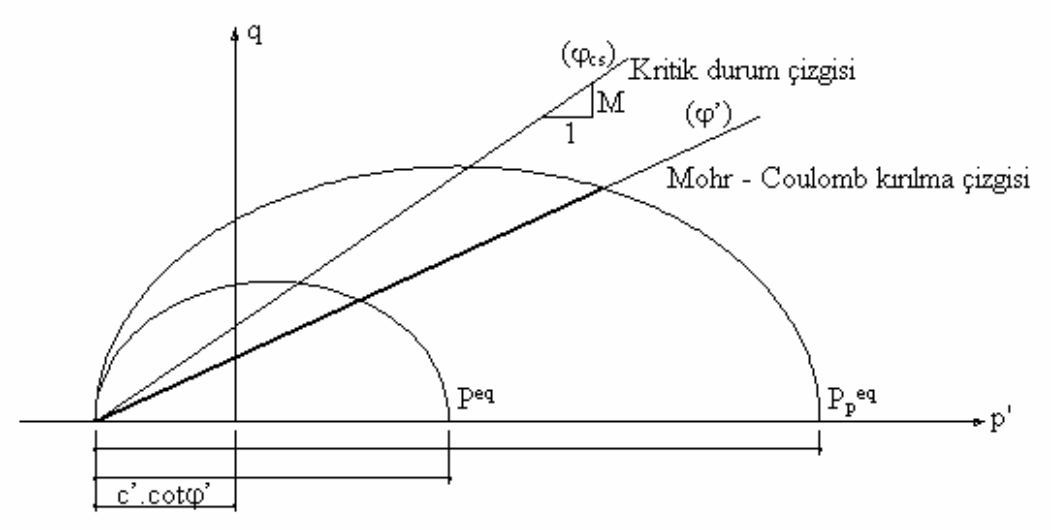
$$p^{eq} = \frac{q^2}{M^2(p' + c'.\cot\varphi')} + (p' + c'.\cot\varphi') \tag{3.13}$$

p_p^{eq} gerilmesi plastik gerilmenin fonksiyonudur.

$$p_p^{eq} = p_{p0}^{eq} \exp\left(\frac{\Delta\varepsilon_v^p}{\lambda^* - \kappa^*}\right) \tag{3.14}$$

Kırılma fonksiyonu f, (Eşitlik 3.12.) $p' - q$ düzleminde elips şeklinde tanımlanmıştır. Elipsin tepe noktasından bir çizgi şeklinde M eğimi geçmektedir. Modifiye edilmiş Cam - Kili modelinde (Burland, 1965, 1967), M çizgisi kritik durum çizgisini temsil eder ki bu en büyük kırılma sınırındaki gerilme durumunu ifade eder. SS-Model'de; MC- kriterleri ile gerilme parametreleri φ' ve c''nin kırılmayı tanımladığı unutulmamalıdır. Hem MC- hattı hem de M- hattı benzer

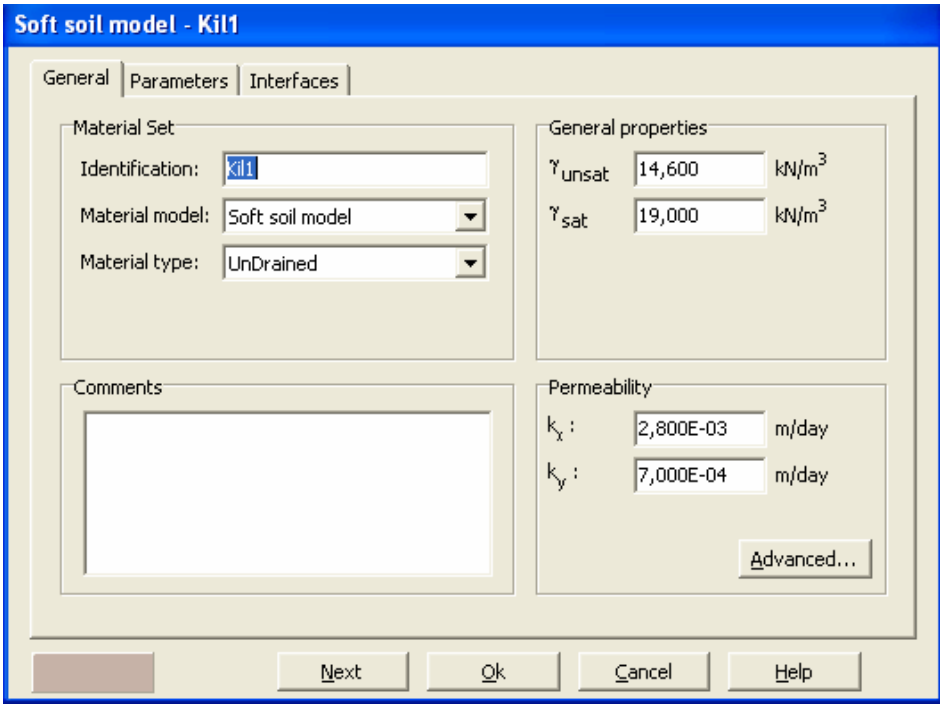
şekilde orijinden $c^{'}.\cot\varphi^{'}$ kadar ileridedir. Bu Şekil 3.14.'de gösterilmiştir ve Eşitlik 3.13.'deki değeri alır.



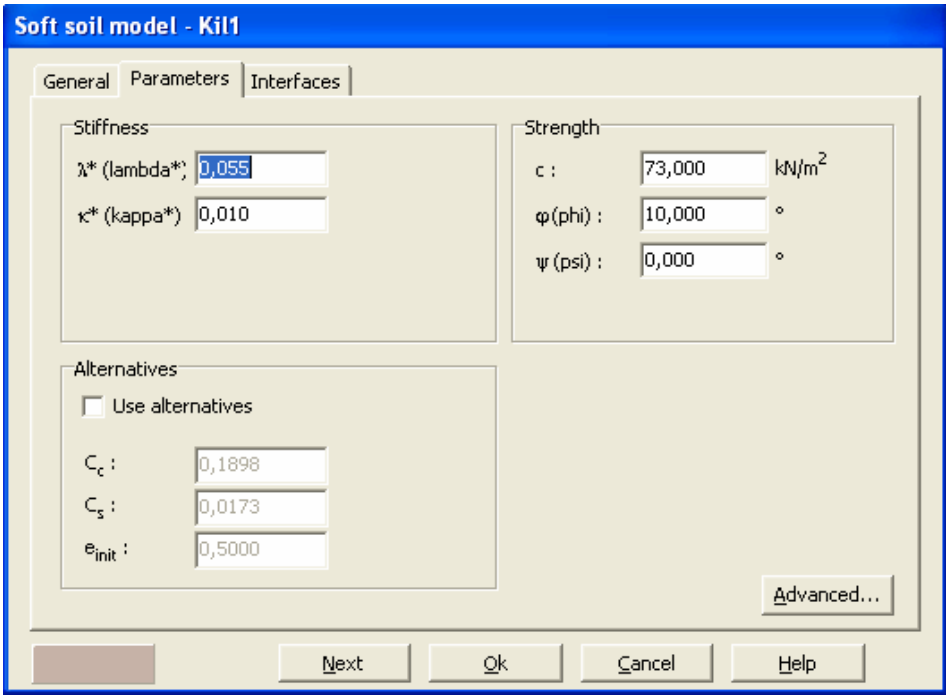
Şekil 3.14. $p^{'}-q$ düzleminde SS-modelin kırılma yüzeyi (Neher ve diğ., 1999).

Şekil 3.14.'de görülen toplam kırılma hattı sınırı elastik alanın sınırıdır. MC-kırılma çizgisi sabittir fakat p_p^{eq} elipsinin tepe noktası birincil sıkışmadan dolayı artarak değişebilir (Neher ve diğ., 1999).

Aşağıdaki şekillerde, (Şekil 3.15 - 3.16.) liman mahallesi zemininin Kil-1 tabakasının Soft Soil modeliyle çözümünde kullanılan genel ve parametre özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.15. Soft-Soil model Kil-1 tabakası genel özellikleri



Şekil 3.16. Soft-Soil model Kil-1 tabakası parametre özellikleri

Plaxis zemin programında Soft - Soil ve Mohr - Coulomb modeliyle çözümde kullanılan beş tabakanın tüm verileri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Soft-Soil ve Mohr-Coulomb modeli parametreleri

Zemin Tipi	**Malzeme Modeli**	**Malzeme Tipi**	γ_k kN/m^3	γ_d kN/m^3	k_x m /gün	k_y m/gün	E_{ref} kN/m^2	ν	λ^*	κ^*	**c** kPa	ϕ o	ψ
Kil-1	S-S	Drenajsız	14,6	19,0	$2{,}8.10^{-3}$	7.10^{-4}	-	-	0,055	0,010	73	10	0
Kum-1	M-C	Drenajlı	16,0	20,0	0,010	0,010	30000	0,250	-	-	1	32	2
Silt-1	S-S	Drenajsız	17,0	20,0	2.10^{-3}	5.10^{-4}	-	-	0,060	0,011	60	8	0
Kum-2	M-C	Drenajlı	16,0	20,0	0,010	0,010	30000	0,250	-	-	1	32	2
Silt-2	S-S	Drenajsız	14,0	18,4	2.10^{-3}	5.10^{-4}	-	-	0,060	0,011	68	8	0

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

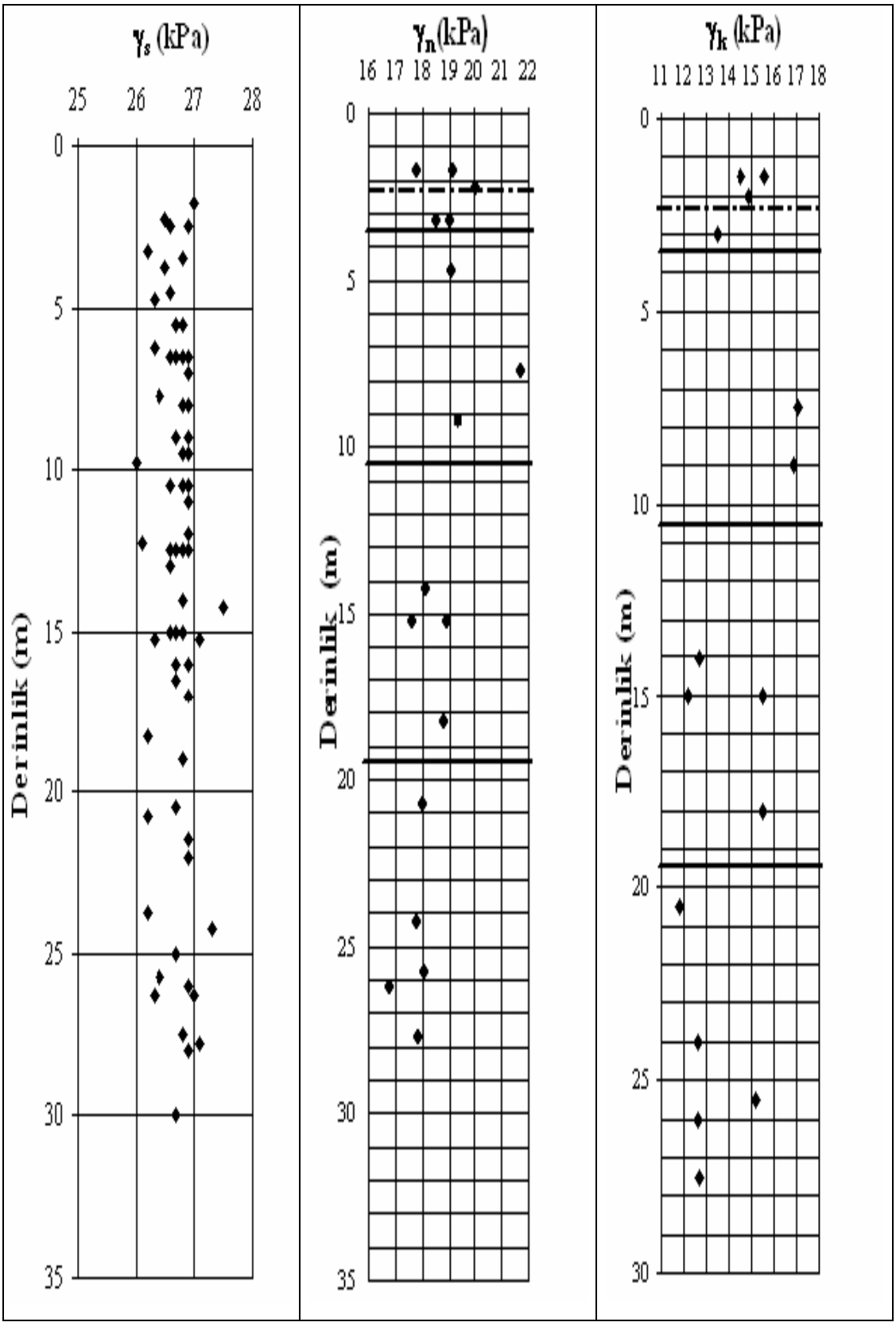
4.1. Konyaaltı Lagün Kilinin Geoteknik Özellikleri

4.1.1. Fiziksel özellikleri

Konyaaltı bölgesi zemininin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için 12 adet 30 m derinliğinde sondaj kuyusu açılarak yaklaşık 1.5 m aralıklarla shelby tüplerine örselenmemiş zemin numuneleri ile örselenmiş numuneler alınarak laboratuar ve arazi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

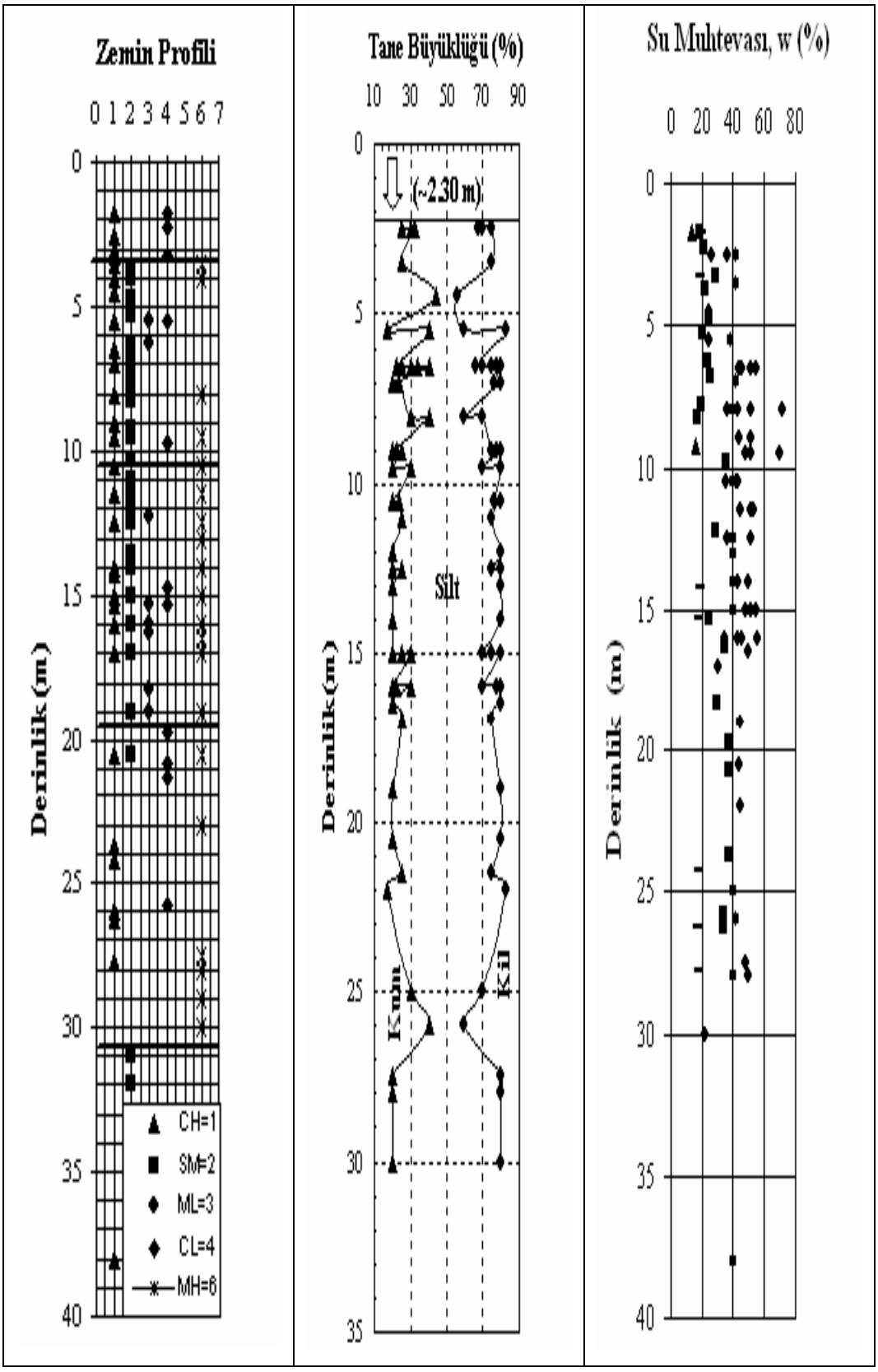
Şekil 4.1.'de Liman Mahallesi Kili'nin tane birim hacim ağırlığı (γ_s), doğal birim hacim ağırlık (γ_n), kuru birim hacim ağırlık (γ_k) parametrelerinin derinlikle birlikte değişimi görülmektedir.

Granülometri analizi sonuçlarına göre; 30 m'lik zemin profilinin 4 ana tabakadan meydana geldiği söylenebilir. Bu tabakalar zemin yüzeyinden itibaren (0-3.5 m) yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH - CL) "Kil - 1" tabakası, (3.5 - 10.5 m) kum - silt karışımı ve yüksek plastisiteli kil (CH) ve siltten (MH) oluşan "Silt - 1" tabakası, (10.5 - 19.5 m) yüksek plastisiteli silt (MH), yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH - CL)'den oluşan "Silt - 2" tabakası ve (19.5 - 30.0 m) yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH - CL) "Kil - 2" tabakası şeklinde sıralanabilir. (Şekil 4.2.).



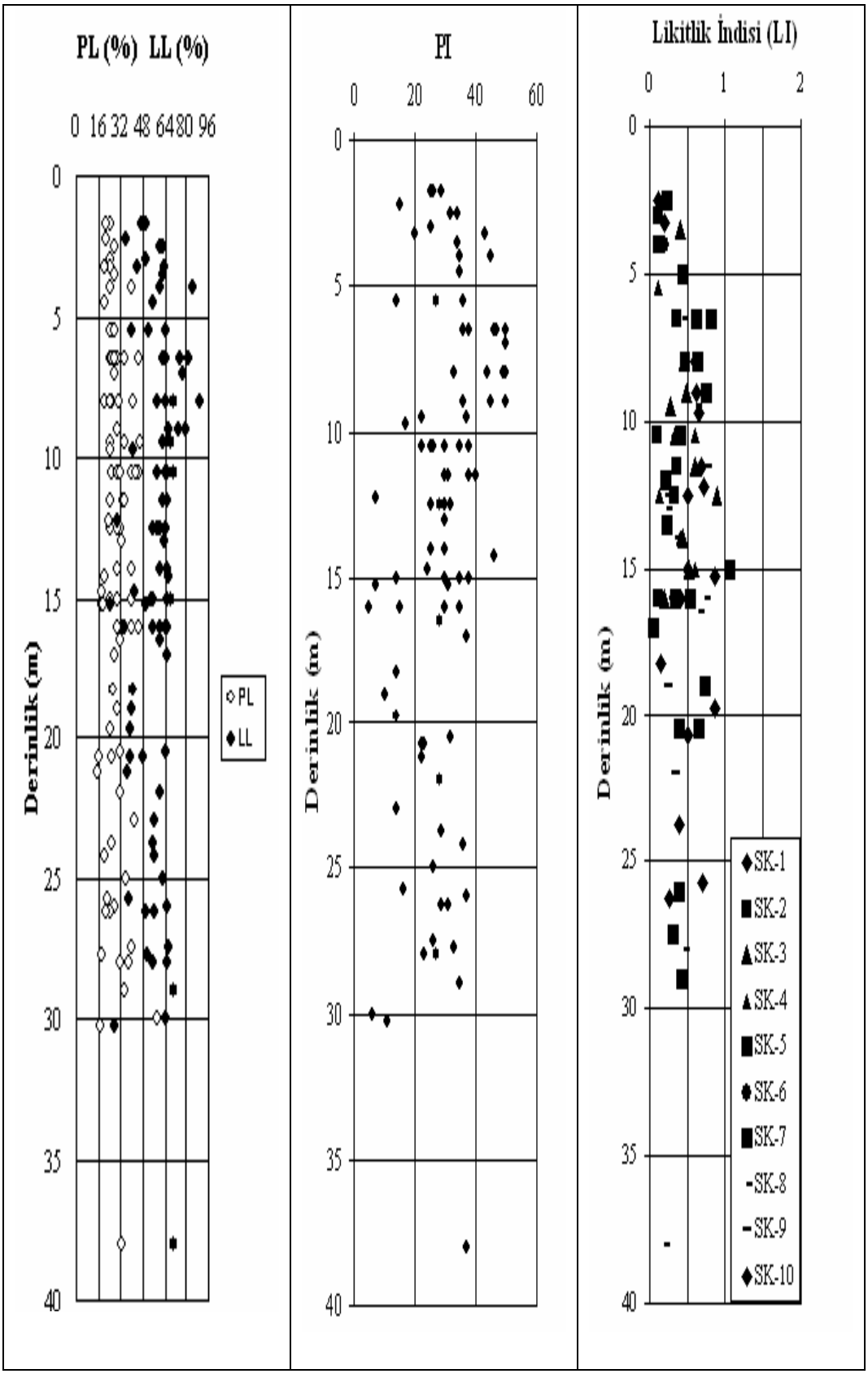
Şekil 4.1. Liman mah. kilinin(γ_s), (γ_n) ve (γ_k) parametrelerinin derinlikle değişimi

SPT - N grafikleri dikkate alınarak (Şekil.4.13.a,b,c.) modelleme yapılırken bu tabakalar arasına 1 m yüksekliğinde kum bantları yerleştirilmiştir. Yine Şekil 4.2 dikkate alınarak tabaka kalınlıkları modelleme sırasında geoteknik bulgulardan daha fazla alınarak genelleme yapılmıştır. Kil - 1, ve Silt - 1 tabakaları 9 m ve Silt - 2 tabakası da 10 m kalınlığında alınmıştır. Derinlikle birlikte tane büyüklüğü (%), doğal su muhtevası (ω_n) değişimi grafiklerle gösterilmiştir. Bölgede daha önce yapılan jeolojik etüt raporlarında yer altı su seviyesinin mevsimsel olarak yağışlı dönemlerde (-1.0 m)'de ve kilin suya doygun olduğu belirtilmiştir (Aykurt, 2003). Arazi çalışmaları sırasında çok değişken yer altı su seviyeleri ile karşılaşılmıştır. Sonlu elamanlar yöntemiyle modelleme yapılırken yer altı su seviyesinin (-2.00 m)'de olduğu kabul edilmiştir (Şekil 4.2.).



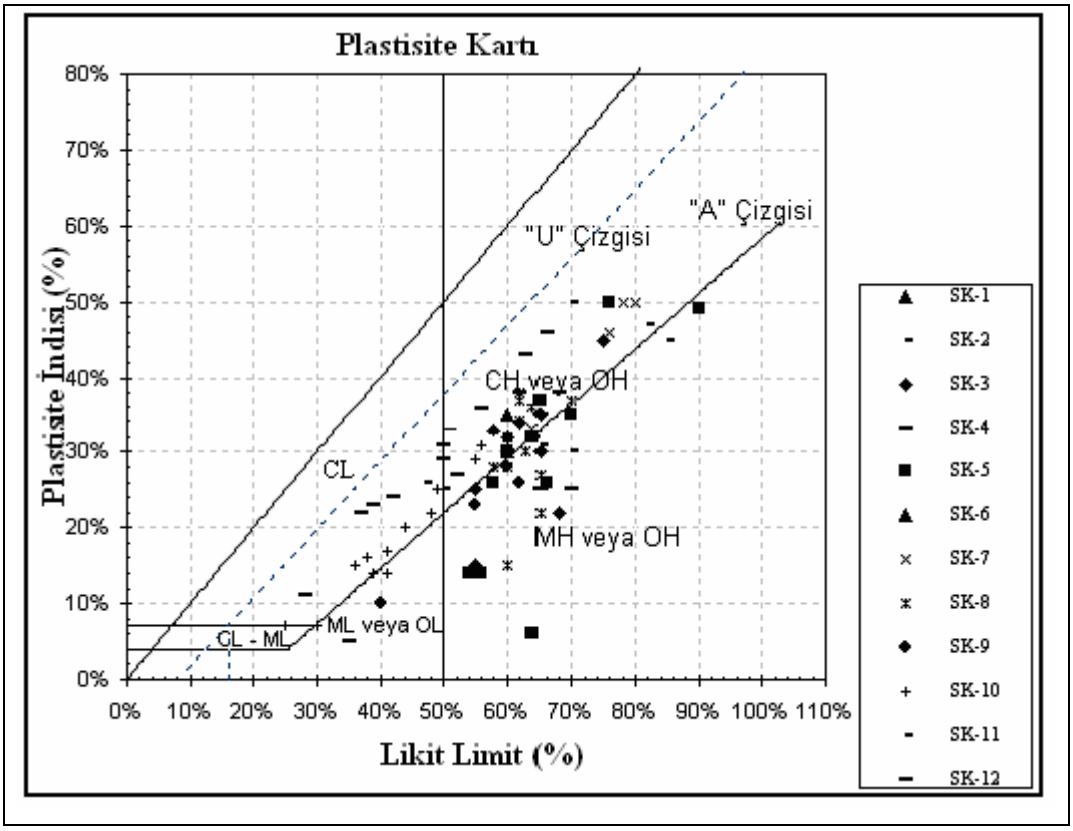
Şekil 4.2. Liman Mahallesi kilinin tipik indeks özellikleri

Kıvam limitleri tayini için; No:40 elek altı zemininden alınan numunelerle likit limit (LL) ve plastik limit (PL) deneyleri yapılarak plastisite indisi değerleri bulunmuştur. PL / LL ve plastisite indisi (PI)'nin derinlikle değişimi grafikle gösterilmiştir. Yine değişik derinlikler için likitlik indisi (LI) değerleri bulunarak derinlikle değişimi grafikle gösterilmiştir (Şekil 4.3.). Plastisite kartı üzerinde likit limit (LL) - plastisite indisi (PL) dağılımı işaretlenerek bölge zemininin ağırlıklı olarak yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH-CL) ve düşük plastisiteli silt (ML) tipi zeminlerden oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4.).

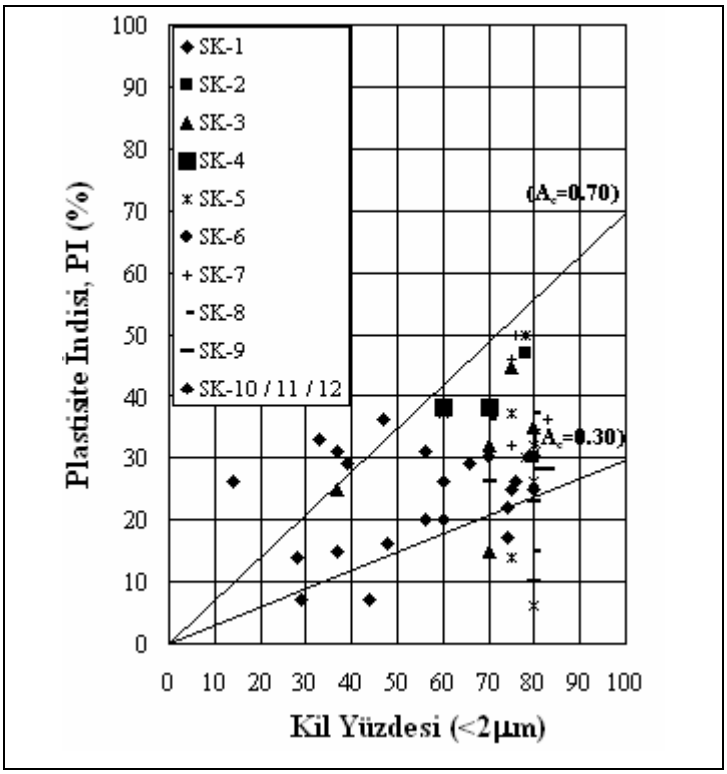


Şekil 4.3. Liman Mahallesi kilinin tipik kıvam özellikleri

Aktivite katsayısı (A_c) zemin içindeki kil mineralleri türü hakkında fikir vermektedir (Özaydın, 1999). Liman mahallesi killerinin aktivitesi (Şekil 4.5.)'de kil yüzdesi - (< 2 μm) plastisite indisi (PI) gösterilmiştir. Şekilde görüleceği gibi Liman Mahallesi killeri ağırlıklı olarak orta - yüksek aktiviteye sahiptirler.



Şekil 4.4. Liman Mahallesi kilinin plastisite kartı

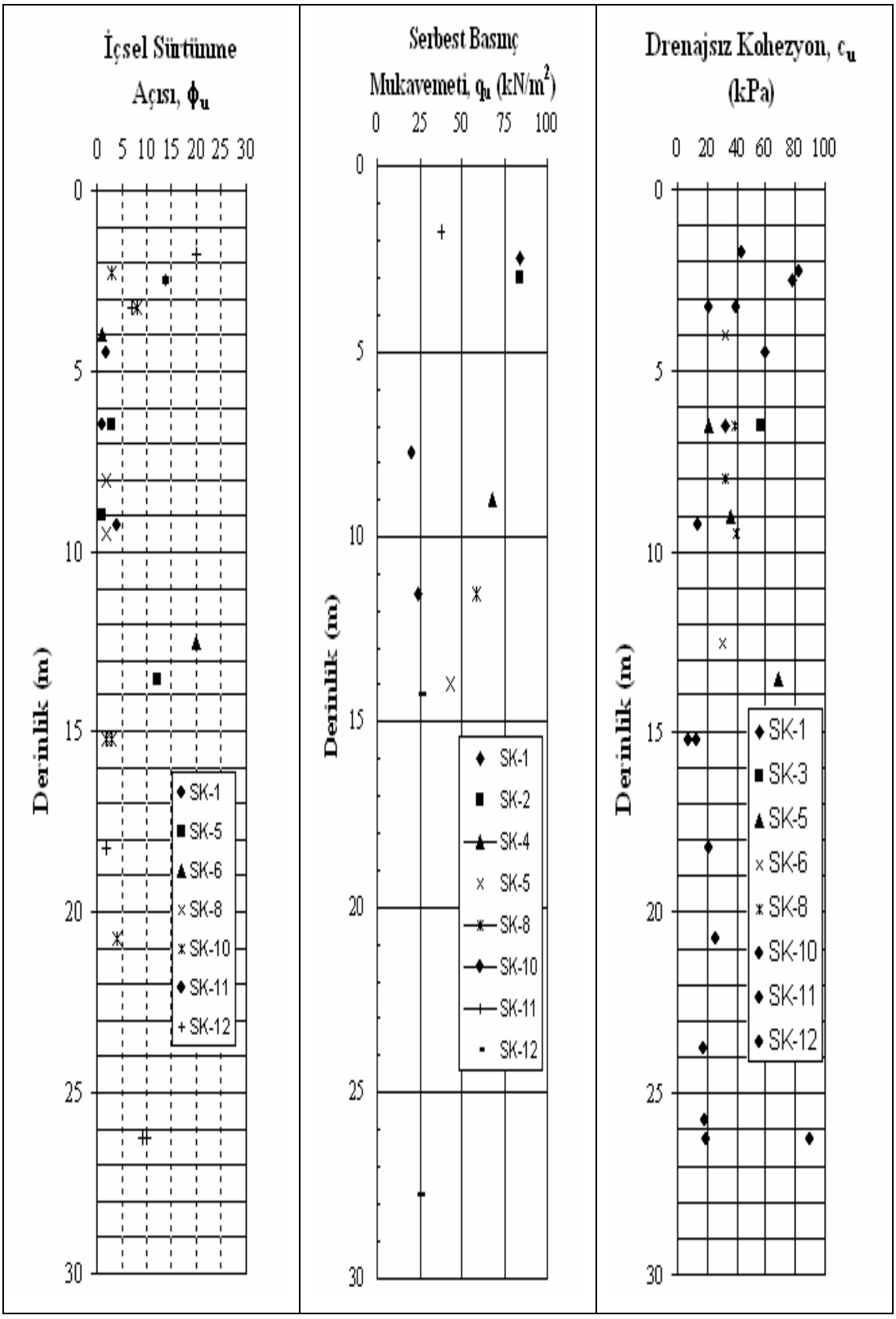


Şekil 4.5. Liman Mahallesi kilinin aktivite kartı

4.1.2. Mukavemet özellikleri

Değişik derinliklerden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan deneylerle drenajsız koşullarda kohezyon parametreleri belirlenmiştir. Kayma drenci parametrelerinden içsel sürtünme açısı (φ_u)'nin derinlikle değişimi Şekil 4.6.'da görülmektedir.

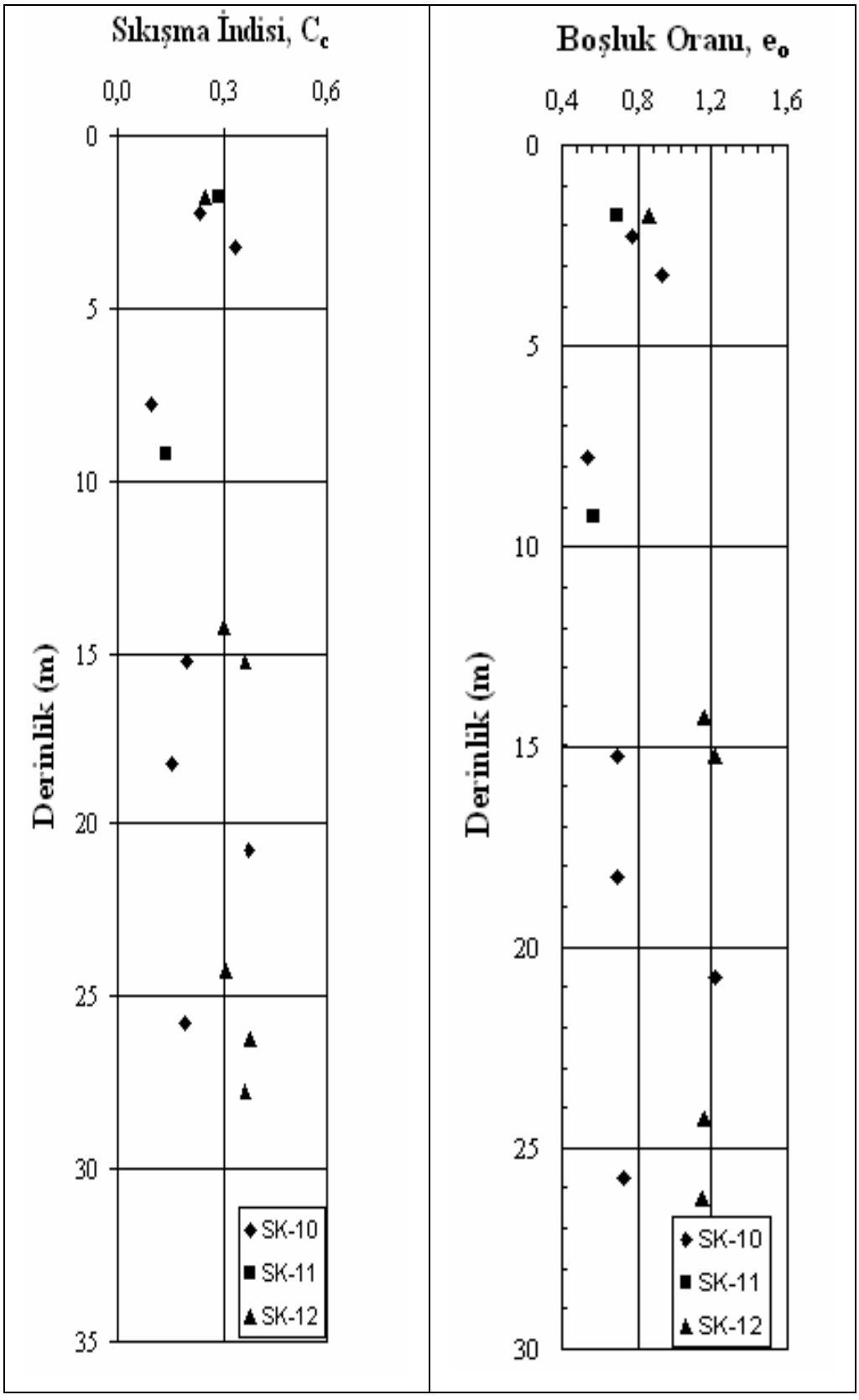
Serbest basınç mukavemeti (q_u) ve üç eksenli basınç cihazında yapılan konsolidasyonsun-drenajsız (UU) deneylerden belirlenen kohezyonun (c_u) derinlikle değişimi gösterilmiştir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Liman Mahallesi kilinin (ϕ_u), (q_u) ve (c_u) değerlerinin derinlikle değişimi.

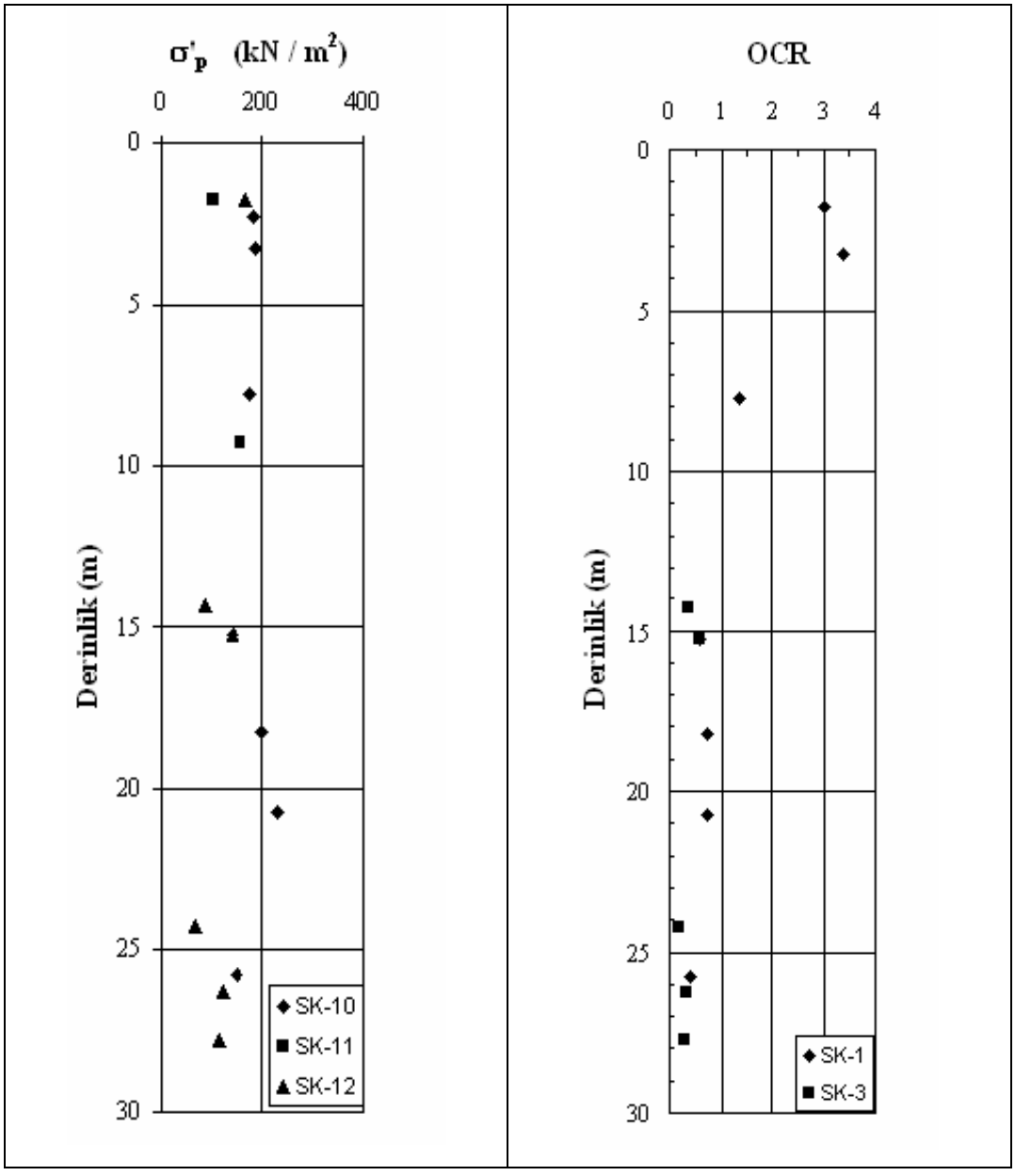
4.1.3. Sıkışabilirlik özellikleri

Sıkışabilirlik özelliklerini tayin etmek için; ring çapı 7.5 cm ve yüksekliği 20 mm olan konsolidasyon aletinde deneyler yapılmıştır. Deneyler her yük kademesinde 24 saat beklemeli ve TS 1900'da öngörülen sürelerde okuma alınarak gerçekleştirilmiştir. Sıkışma indisi değerlerinin derinlikle değişimi (Şekil 4.7.)'de gösterilmiştir. Sıkışma indisi (C_c = 0,095 ~ 0,380) arasında değerler almaktadır. Konsolidasyon deneyinden elde edilen boşluk oranı (e_o)'nın derinlikle değişimi (Şekil 4.7.)'de gösterilmiştir.



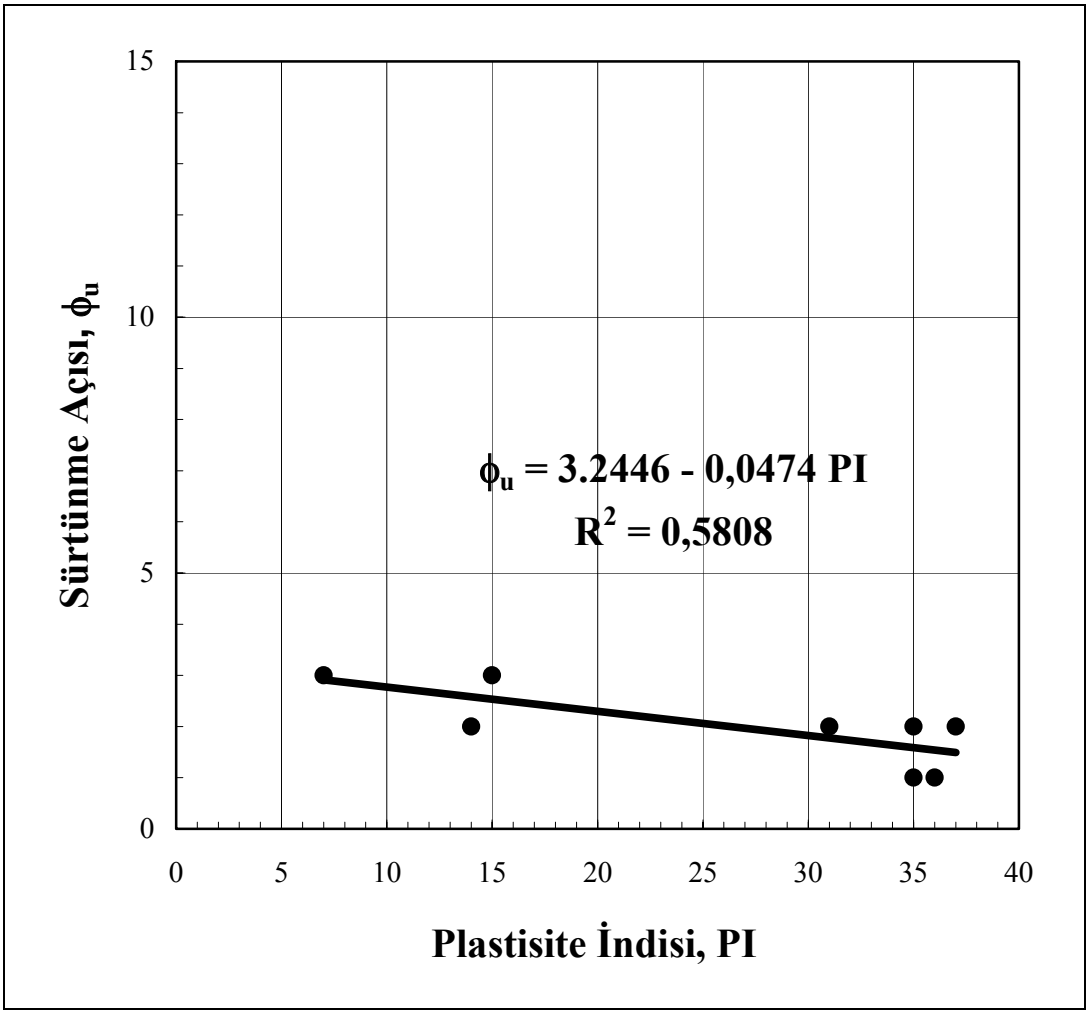
Şekil 4.7. Liman Mahallesi kilinin (C_c) , (e_o) değerlerinin derinlikle değişimi

$e - \log \sigma'$ eğrilerinden ön konsolidasyon basıncı σ'_p değerleri bulunarak (Şekil 4.8.)'de derinlikle değişimi gösterilmiştir. Ön konsolidasyon basıncı değerleri ve oluşturulan zemin profili özelliklerinden efektif jeolojik basınç değerleri hesaplanmış ve aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerleri bulunarak (Şekil 4.8.)'de OCR' nin derinlikle değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Liman Mahallesi kilinin (σ'_p), (OCR) değerlerinin derinlikle değişimi

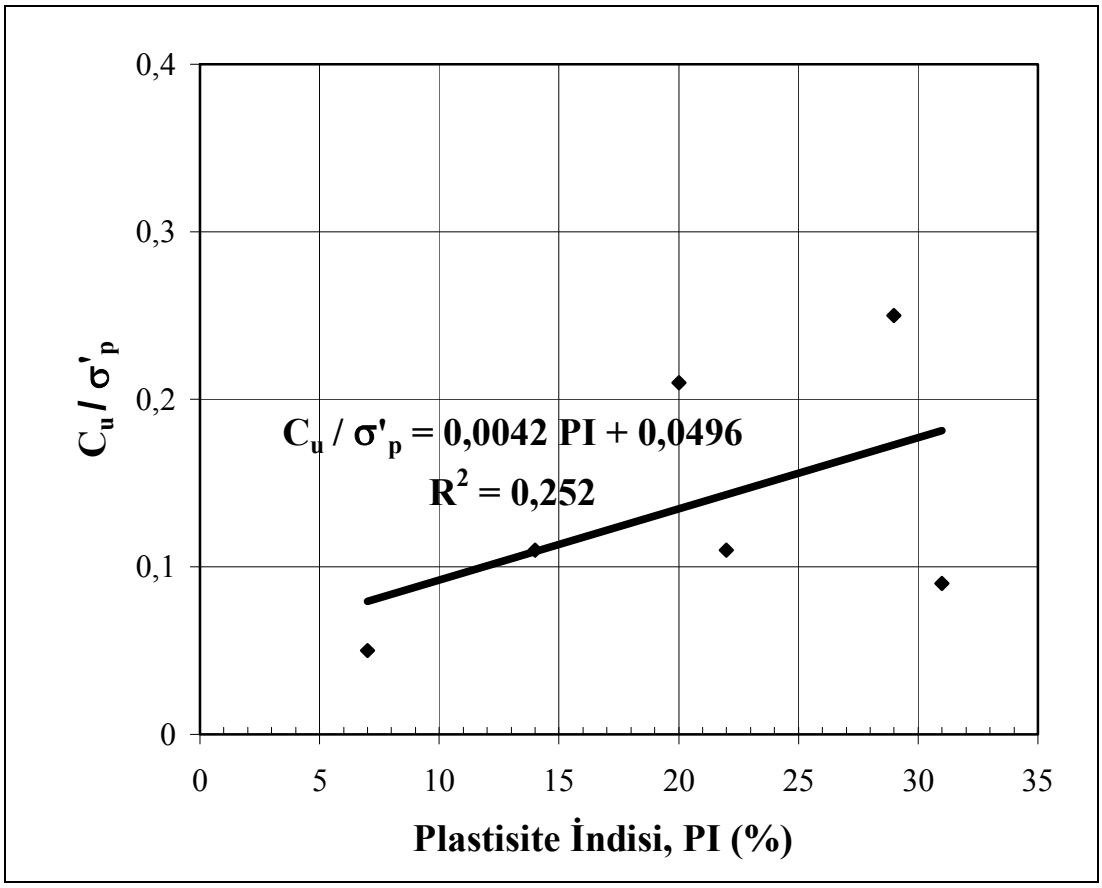
İçsel sürtünme açısı (ϕ_u)'nın plastisite indisi (PI) ile korelâsyonu Bjerrum ve Simons (1960) ve Yin (1999) tarafından Hong Kong killeri için yaptıkları çalışmalardaki gibi grafikle gösterilmiş ve Liman Mahallesi killeri için aşağıdaki ilişki bulunmuştur (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Liman Mahallesi kilinin (ϕ_u) - (PI) korelasyonu

$$\phi_u = 3.2446 - 0.0474 \times \mathrm{PI} \qquad (4.1)$$

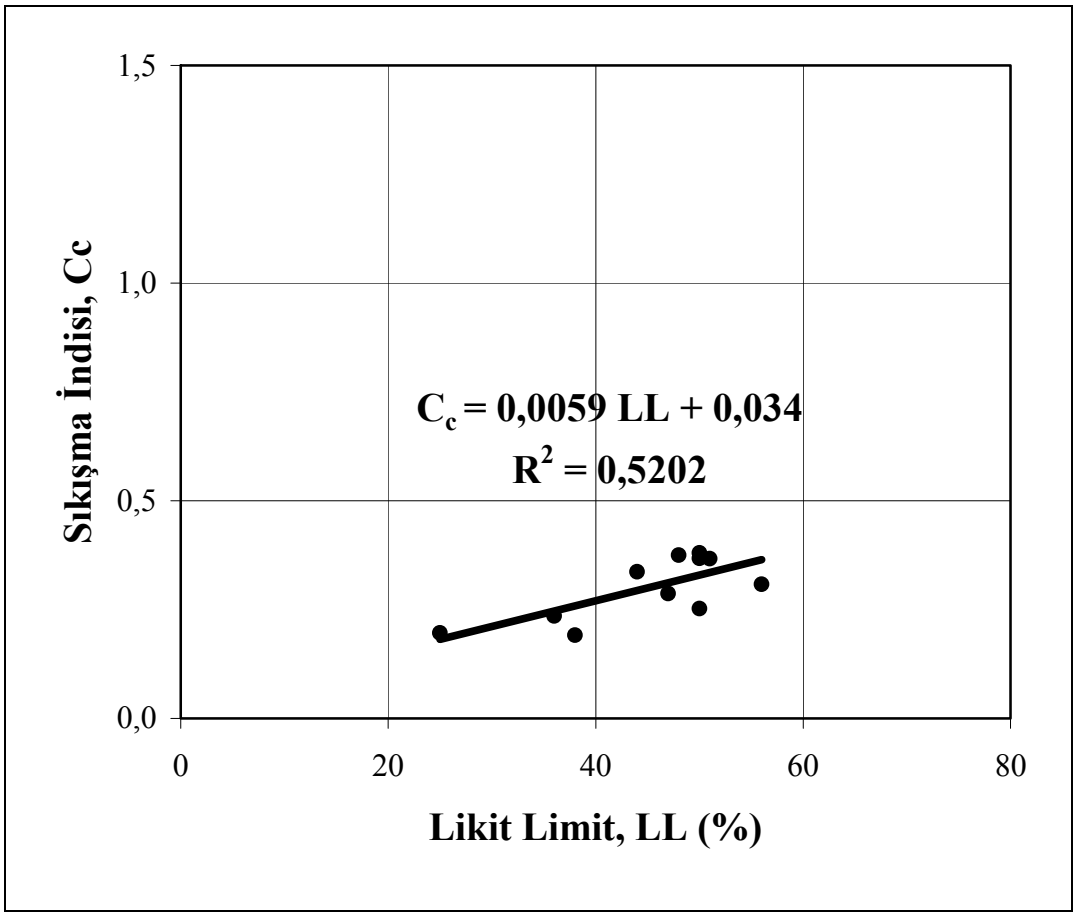
Üç eksenli basınç deneyinde elde edilen drenajsız kohezyon (c_u) ile ön konsolidasyon basıncının σ'_p değeri (C_u / σ'_p) oranı ile plastisite indisi (PI) korelasyonu Bjerrum (1973)'deki gibi grafikle gösterilmiş ve aşağıdaki eşitlik bulunmuştur (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Liman Mahallesi kilinin (C_u / σ'_p) - (PI) korelasyonu

$$C_u / \sigma'_p = 0.0042 \times PI + 0.0496 \qquad (4.2)$$

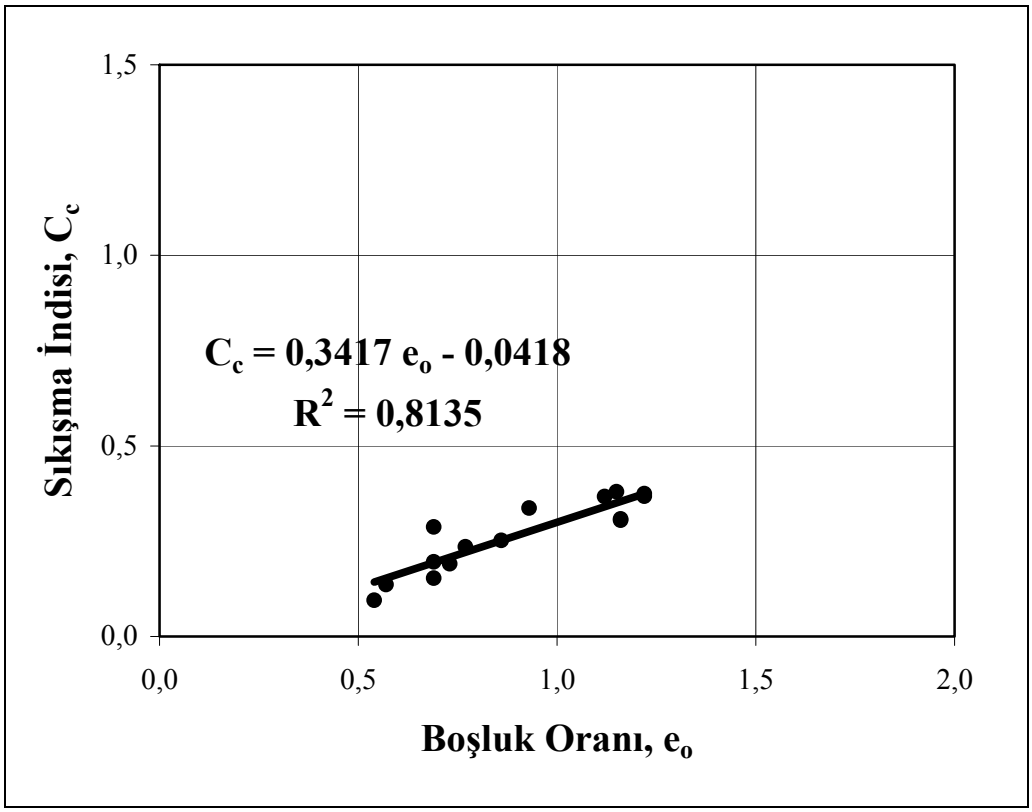
Liman mahallesi killerinin sıkışma indisinin (C_c) likit limitle (LL) korelasyonu (Şekil 4.11.)'de aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi Leroueil ve diğ.(1983) referans alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. Liman Mahallesi kilinin (C_c) - (LL) korelasyonu

$$C_c = 5,9 \times 10^{-3} \times LL + 0.034 \qquad (4.3)$$

Sıkışma indisi, (C_c), doğal boşluk oranı (e_o) ilişkisi (Şekil 4.12.)'de işaretlenmiştir.



Şekil 4.12. Liman Mahallesi kilinin (C_c) - (e_o) korelasyonu

Sıkışma indisi ile doğal boşluk oranı arasındaki korelasyon aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$C_c = 0.3417 \times e_0 - 0.0418 \quad (4.4)$$

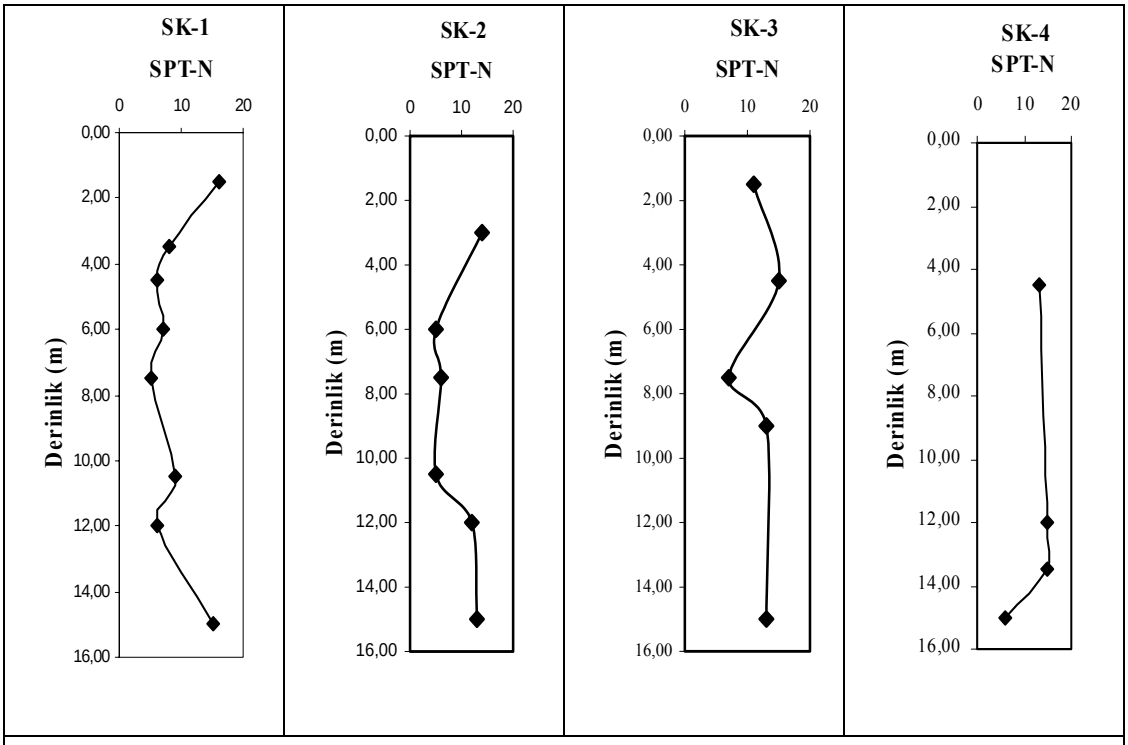
4.1.4. SPT deneyi sonuçları ile geoteknik özellikler arasındaki ilişkiler

Arazi deneyi olarak SPT (Standart Penetrasyon Test) yapılarak her sondaj kuyusundan belirli aralıklarla örselenmemiş numuneler alınmıştır. Yeraltı su düzeyi -1,0 m de ve kil suya doygun durumda olduğu durumlarda Uzuner (1995) tarafından önerilen aşağıdaki (Eşitlik 4.5.-4.6.) düzeltmeleri yapılmıştır.

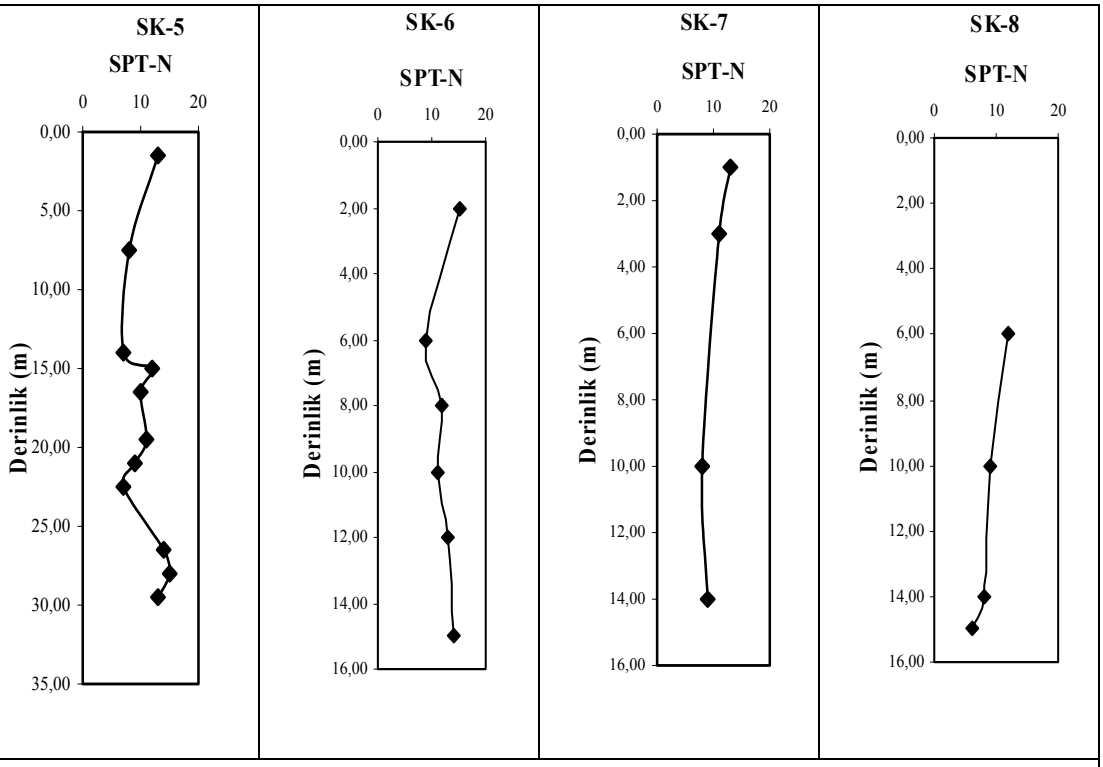
$$N_{düzeltilmiş} = 15 + \frac{1}{2}(N_{ölçülen} - 15) \quad (4.5)$$

$$N_{düzeltilmiş} = C_N . N_{ölçülen} \quad (4.6.)$$

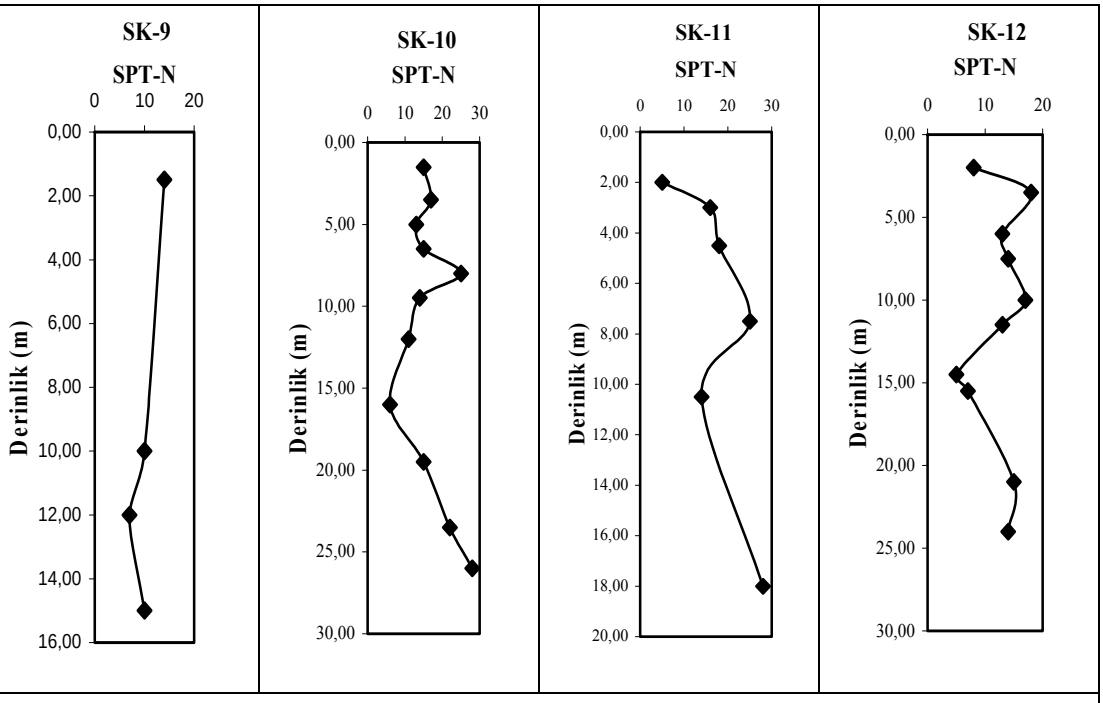
12 adet düzeltilmiş SPT sonucunun derinlikle değişimi (Şekil.4.13.a,b,c.)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13.a. SK-1 – SK-4 SPT - N değerlerinin derinlikle değişimi

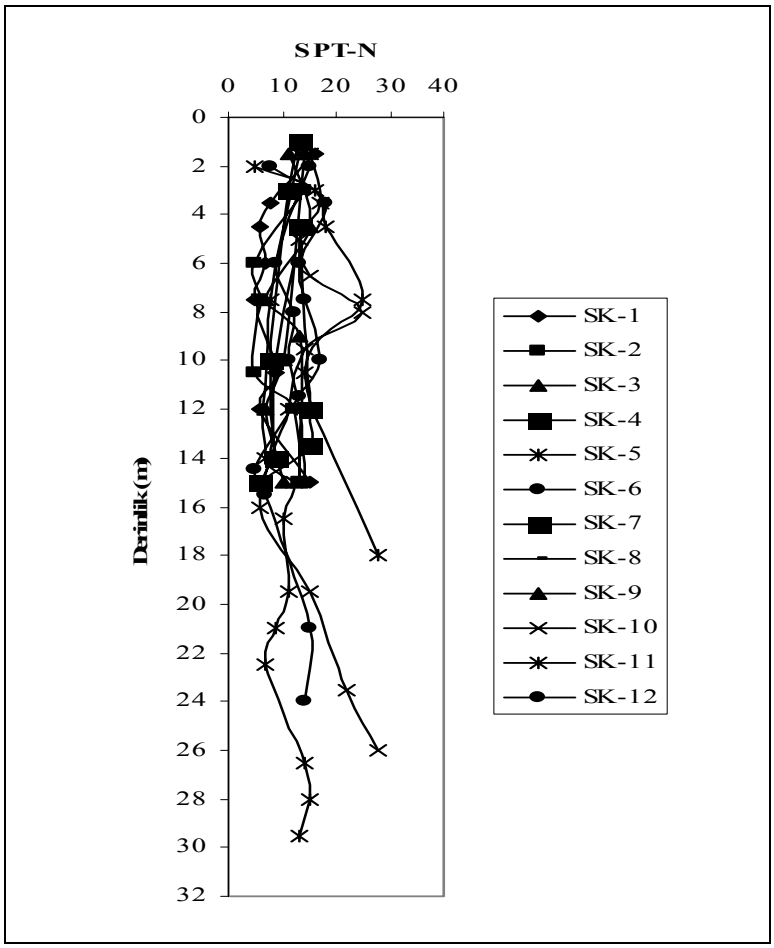


Şekil 4.13.b. SK-5 – SK-8 SPT - N değerlerinin derinlikle değişimi



Şekil 4.13.c. SK-9 – SK-12 SPT - N değerlerinin derinlikle değişimi

Tüm SPT sonuçlarının derinlikle değişimini gösteren (Şekil.4.14.) incelendiğinde bölge zeminini temsil eden SPT – N değerlerinin 5 – 20 arasında yoğunlaştığı söylenebilir.



Şekil 4.14. Tüm SPT - N sonuçlarının derinlikle değişimi

(Tablo 4.1)'e göre SPT-N aralığı 4 – 8 orta-sert, 8 – 15 arası sert zemin olarak Uzuner (1995)'de tarif edildiğinden incelenen bölge zemininin kıvamı orta - sert şeklinde tanımlanabilir.

Tablo 4.1. SPT - N ile kıvam ve serbest basınç direnci arasındaki ilişki

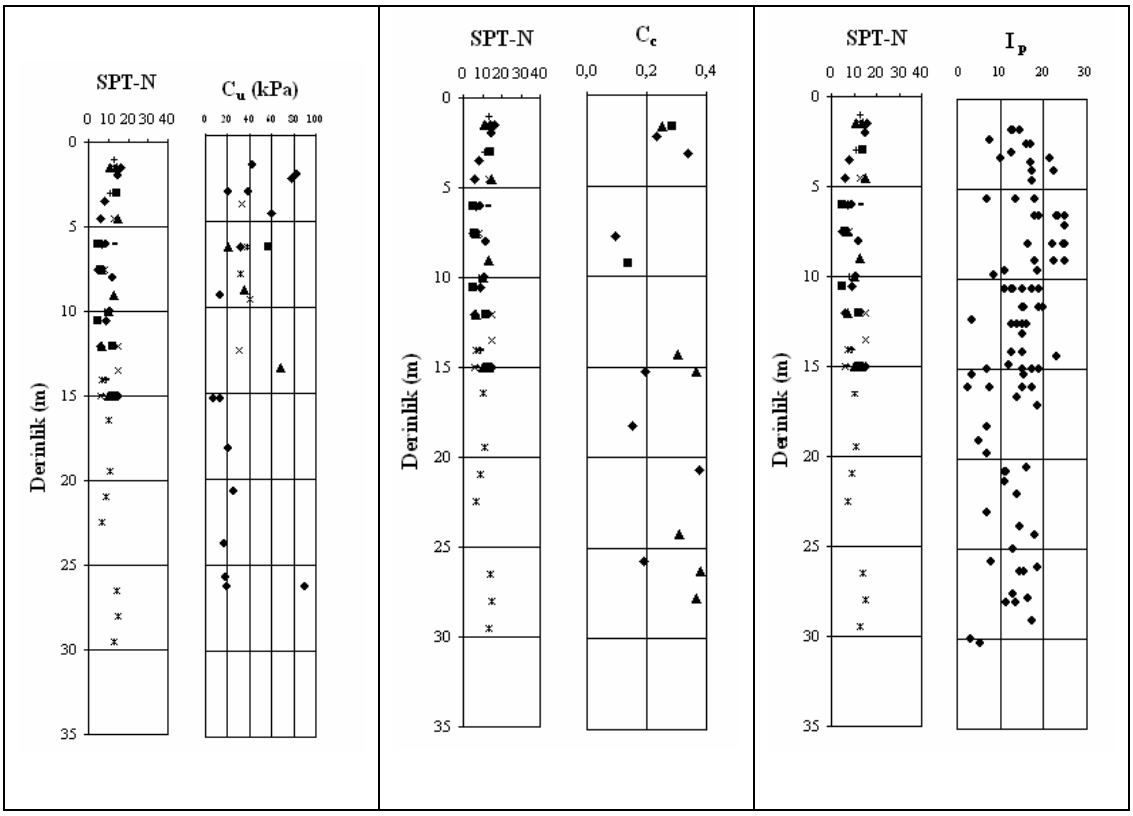
SPT-N	**Kıvam**	**Serbest Basınç Direnci, q_u (t / m^2)**
0-2	Çok yumuşak	<2,5
2-4	Yumuşak	2,5-5
4-8	Orta Sert	5-10
8-15	Sert	10-20
15-30	Çok Sert	20-40
>30	Katı	>40

(Tablo. 4.2.)'ye göre SPT-N aralığı 4 – 10 gevşek, 10 - 30 orta-sıkı zemin olarak Uzuner (1995)'de tarif edildiğinden incelenen bölge zemininin sıkılık durumu ise gevşek - orta sıkı olarak tanımlanabilir.

Tablo 4.2. SPT - N ile kumların sıkılığı arasındaki ilişki (Uzuner 1995)

SPT-N	**Rölatif Sıkılık, Dr**	**Sıkılık Durumu**
0-4	0-0,15	Çok gevşek
4-10	0,15-0,35	Gevşek
10-30	0,35-0,65	Orta sıkı
30-50	0,65-0,85	Sıkı
>50	0,85-1	Çok sıkı

Liman mahallesi lagün zeminine özgün c_u, C_c ve PI değerleri ile SPT - N değeri arasında korelasyonlar oluşturmak amacıyla öncelikli olarak (SPT - N / c_u), (SPT - N / C_c), (SPT - N / PI)'nin aynı derinlikteki değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.15.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.15. SPT-N / c_u, SPT-N / C_c, SPT-N / PI'nin karşılaştırılması

Liman mahallesi lagün zeminin parametreleri c_u, C_c ve PI değerleri ile SPT - N değerleri arasında korelasyonlar kurularak bölge zeminine özgü bu değişkenlere bağlı grafikler (Şekil. 4.16.)'da ve denklemler (Eşitlik 4.7, 4.8 ve 4.9)'de elde edilmiştir.

c_u ile SPT - N arasında incelenen bölgeye özgü aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

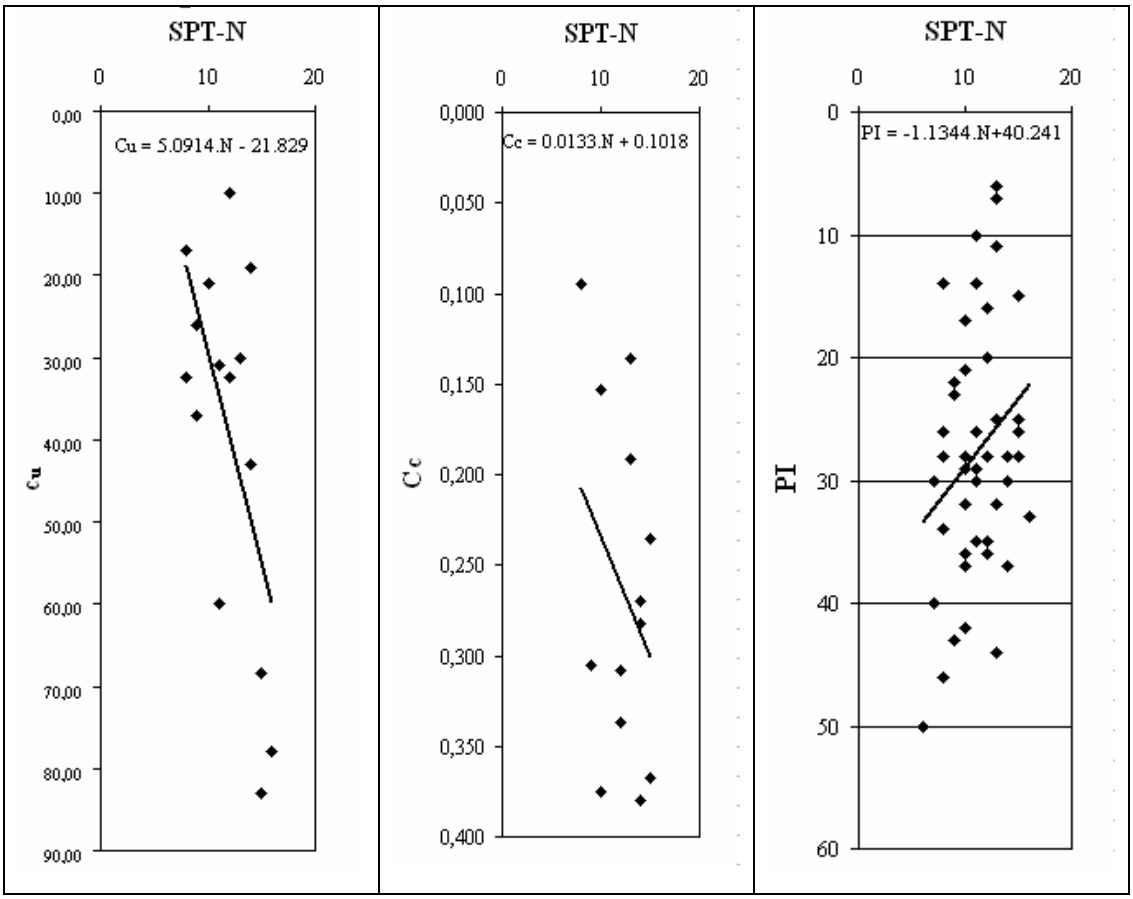
$$c_u = 5.0914 \times N - 21.829 \tag{4.7}$$

C_c ile SPT - N arasında incelenen bölgeye özgü aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$C_c = 0.0133 \times N + 0.1018 \tag{4.8}$$

PI ile SPT - N arasında incelenen bölgeye özgü aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

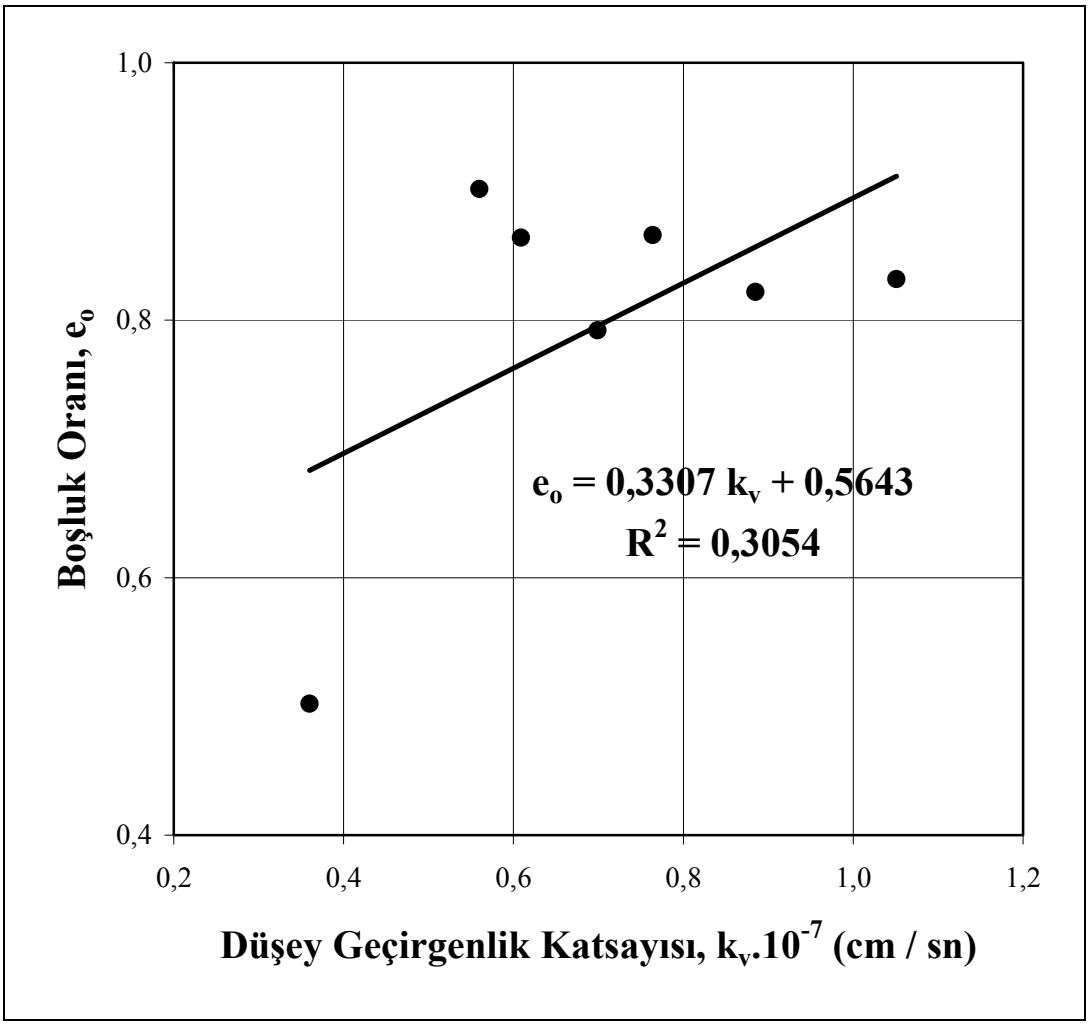
$$PI = -1.1344 \times N + 40.241 \tag{4.9}$$



Şekil 4.16. c_u, C_c ve PI ile SPT - N arasındaki korelasyonlar

4.1.5. Hidrolik geçirgenlik özellikleri

Hidrolik geçirgenlik özelliklerinin tespiti maksadıyla konsolidasyon deneylerinden yararlanılmıştır. Değişik derinlikler için yapılan konsolidasyon deneylerinden her yük kademesi için ayrı ayrı düşey geçirgenlik katsayıları (k_v) bulunmuş, bulunan k_v katsayılarından yük artış oranının 1 - 2 kg / cm^2 olduğu ana gelen düşey geçirgenlik katsayısı ile doğal boşluk oranı arasında Tavenas ve.diğ. (1983)'deki gibi (Şekil 4.17.)'de ki grafik elde edilmiş ve bölge zeminine özgü (e - k_v) arasındaki eşitlik elde edilmiştir (Eşitlik 4.10.).



Şekil 4.17. Düşey geçirgenlik katsayısı ile doğal boşluk oranı arasındaki ilişki

$$e_o = 0.3307 \times k_v + 0.5643 \quad (4.10)$$

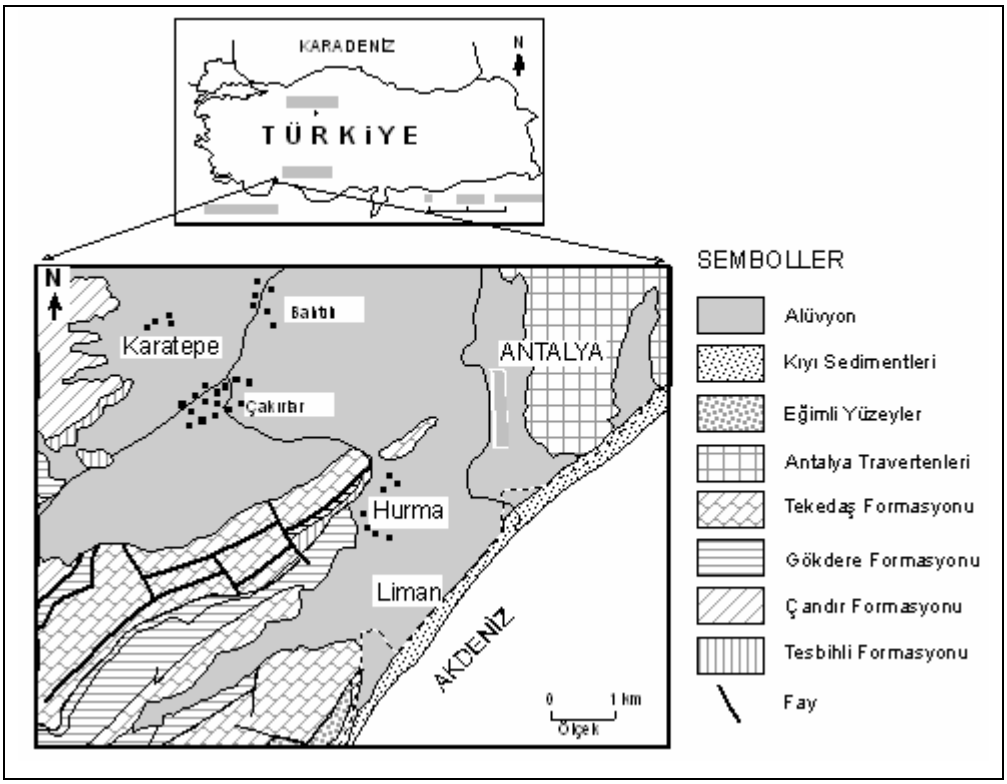
4.2. Konyaaltı Lagün Kilinin Mineralojik Özellikleri

XRD veya elektron kırınım yöntemlerinin mineralojik tanımlama prensipleri aynı olup, her bir kristalen maddenin kendisine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları veya elektronları karakteristik bir düzen içerisinde kırma esasına dayanır. X-Ray difraksiyonu; kohezyonlu zeminlerin minerallerini belirlemek ve kristal yapılarını tayin etmek için yaygın olarak kullanılan bir metottur.

Özellikle kil minerallerinin tanımlanmasında çok uygun olan x-ışınları yansıması kil olmayan fakat zeminde bol bulunan diğer mineralleri de belirleyebilir (Keskin 1993).

MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı Mineraloji Araştırmaları Koordinatörlüğü'nde 11 adet numune üzerinde XRD detay kil analizleri yapılmıştır. Numuneler 1 m ile 22,50 m arasında değişen derinliklerden alınmıştır. Bölgede alüvyon zeminde yapılan sondajlardan alınan örneklerin XRD çekimlerinde belirlenen mineral türleri; kuvars, kalsit, smektit (Ca - montmorillonit), feldispat, klorit, mika grubu kil mineralleri, kaolinit, amfibol, dolomit, hematit, amorf silika, serpantin, kristobalit, tridimit, karışık tabakalı kil (klorit + kaolinit, smektit + klorit, smektit + illit, illit + kaolinit, klorit + illit) gibi minerallerdir. X-Ray difraksiyon eğrileri Ek-2'de verilmiştir.

Bu mineraller Şekil 4.18'de gösterilen Antalya Naplarını oluşturan Tesbihli, Çandır, Gökdere ve Tekedağ Formasyonlarını oluşturan kayaçların aşınması ve akarsularla taşınması sonucu çökelen depozitlerdir.



Şekil 1. Antalya bölgesi jeolojik haritası

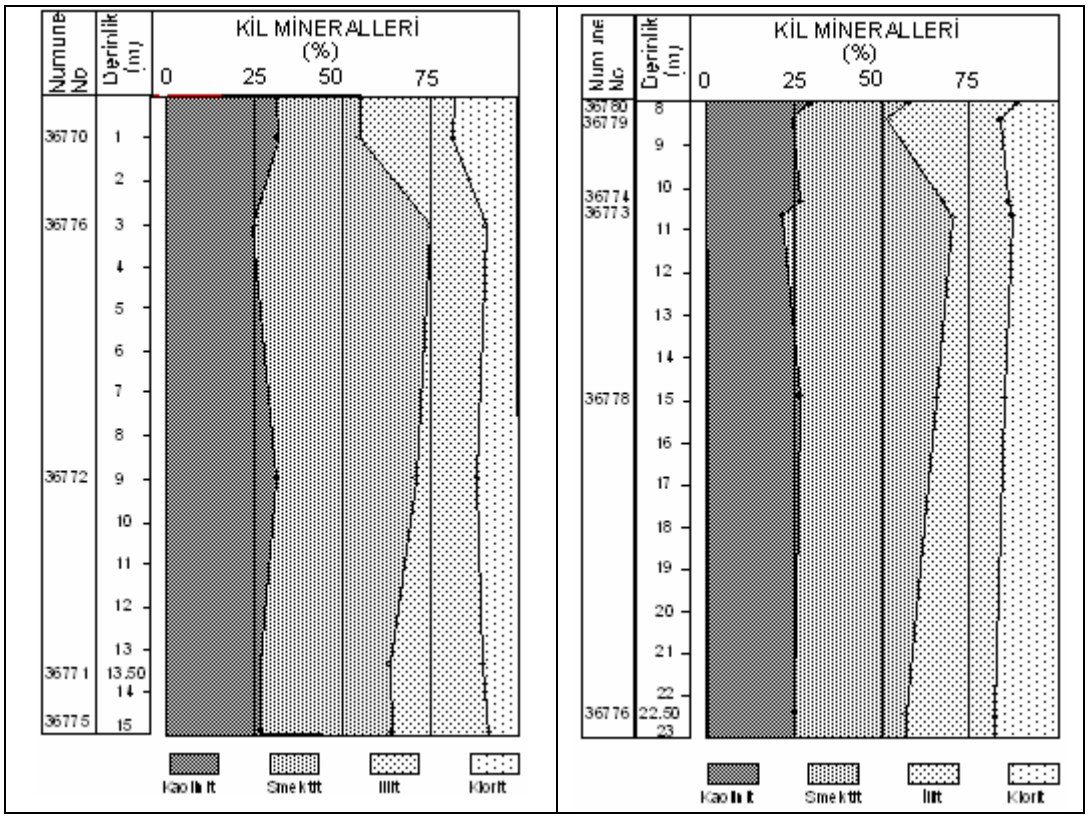
XRD çözümlemeleri Philps marka ve PW 1830-40 model x-ışınları difraktometresinde CuK ışıması kullanılarak yapılmış, ince taneli kayaçların tüm kayaç ve kil boyu bileşenleri (< 2 μm) tanımlanmış ve yarı nicel yüzdeleri hesaplanmıştır. (Brindley, 1980). Sedimantasyon yöntemi ile ayrılan kil fraksiyonu difraktogramları, normal, etilen glikollü ve fırınlanmış çekimler yapılarak elde edilmiştir. Çekimlerde Gonyometre hızı 1^0 / dak. ve kayıt aralığı $2\theta = 2 - 30^0$ olarak ayarlanmıştır. Daha sonra difraktogramlardan kil minerallerinin tanımlaması (001) bazal yansımalarına göre pik şiddetlerinden yararlanılarak kil minerallerinin yarı nicel yüzdeleri hesaplanmıştır.

Bölgede yapılan KN ve SK kuyularından alınan örneklerden 11 tanesinde kil fraksiyonu ayrılarak kil minerallerinin difraktogramları elde edilmiştir. Bu difraktogramlarda gözlenen kil minerallerinin yarı nicel yüzdeleri hesaplanmıştır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. 11 adet numunedeki kil mineralleri oranları

Numune No	**Derinlik**	**Kil Mineralleri**			
		Kaolinit	**Smektit**	**İllit**	**Klorit**
KN	(m)	%	%	%	%
36770-KN-2	1.00	30	24	28	18
36776-KN-2	3.00	25	50	15	10
36772-KN-4	9.00	30	40	19	11
36771-KN-3	13.50	28	35	25	12
36775-KN-1	15.00	28	36	20	16
SK					
36780-SK-2	8.00	33	27	27	13
36779-SK-4	8.00	24	29	30	17
36774-SK-1	10.50	27	39	20	14
36773-SK-8	10.50	22	48	17	13
36778-SK-2	15.00	26	38	21	15
36777-SK-8	22.50	25	33	25	17

XRD çekimleri yapılan örneklerin kil minerali bileşimlerini, Şekil 4.19'da ise bu kil minerallerinin KN ve SK kuyuları boyunca dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 4.19. 11 adet kil numunesinin derinlik boyunca dağılımı

Belirlenen kil mineralleri bolluk sırasına göre smektit (24 - 50 %), kaolinit (22 - 33 %), illit (15 - 30 %) ve klorit (10 - 18 %)'dir. Hem KN kuyusu ve hem de SK kuyusu boyunca kil minerali dağılımları arasında belirgin farklar olmayıp birbirlerine benzemektedirler. Kil minerali türleri açısından da zeminin alt ve üst seviyelerinde belirgin değişimler gözlenememiştir.

Kaolinit genellikle feldispatların ayrışmasının son ürünü olarak sığ derinliklerde bulunan bir kil mineralidir. Smektit ise montmorillonit ve bentonitleri kapsayan bir kil minerali olup mühendislik uygulamalarında genişleyen killer grubuna girmektedir. İllitler fillosilikatların önemli bir kil minerali olup genellikle feldispatların hidrotermal alterasyonu veya atmosferik koşullarda bozunması sonucu oluşurlar. Kloritler de düşük dereceli metamorfik kayaçlardan ve ferromagnezyumlu minerallerin bir alterasyon ürünü olarak bulunur. İnceleme alanı yakın yöresinde yüzeyleyen birimler sedimanter, magmatik ve metamorfik litolojilerdedir. Bunlar

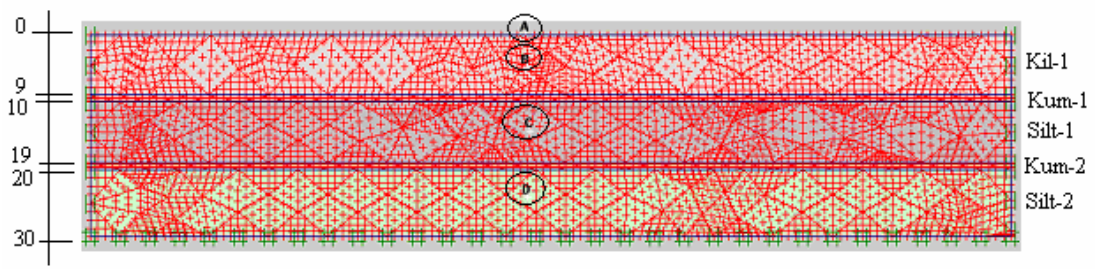
aynı zamanda faylı, kıvrımlı ve naplı yapılar gösterirler. Bu tektonik deformasyonlar sonucu oluşan kırıntılar daha düşük kottaki alanlara taşınıp detritik ve diyajenetik olarak çökelmişlerdir

4.3. Konyaaltı Lagün Kilinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Konsolidasyon Oturması Analizi Sonuçları

Plaxis yazılımının Soft Soil (S-S) ve Mohr - Coulomb (M-C) modelleriyle yapılan deformasyon analizleri sonucu deformasyon (m) – zaman (gün) grafikleri (Ek – 3)'de verilmiştir.

Geometrik model oluşturulurken inceleme alanı 30 m'lik derinlik boyunca Kil-1 (0-9 m), Kum-1 (9-10 m), Silt-1 (10-19 m), Kum-2 (19-20 m) ve Silt-2 (20-30) m şeklinde 5 tabakaya ayrılmıştır.

Grafiklerin çiziminde 4 nokta referans olarak alınmıştır (Şekil 4.20). Bu noktalar A noktası zemin üst seviyesini göstermek üzere şekilde görüldüğü gibi, Kil - 1 ortası (B noktası), Silt - 1 ortası (C noktası). ve Silt - 2 ortası (D noktası) şeklinde 3 ana tabakanın orta noktalarını göstermektedir.



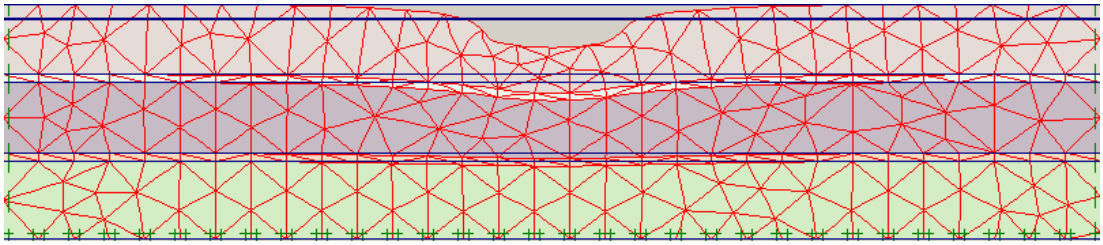
Şekil 4.20. Grafiklerin çizimde kullanılan referans noktalarının görünümü (geometrik model oluşturmak için)

Plaxis yazılımıyla çözümde; normal konsolide olmuş kil ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışını modelleyen Cam Clay modelini temel alan Soft Soil zemin modeli Kil-1, Silt-1, ve Silt-2 tabakalarında kullanılmıştır. Bu model aşırı konsolidasyon oranı OCR < 2 olan yumuşak zeminlerin davranışını daha iyi modelleyebilmek için geliştirilmiş izotropik, elasto plastik şekil değiştirme pekleşmeli bir modeldir (Kara ve Elcuman, 2004). Birincil sıkışma durumunu en iyi gösteren modeldir.

Zemin davranışını temsil etmede birinci yaklaşım olarak bir çok araştırmacı tarafından kullanılan klasik Mohr - Coulomb modeli ise Kum-1, ve Kum-2, gibi kohezyonsuz zemin tabakalarının çözümünde kullanılmıştır.

Mohr - Coulomb ve Soft Soil zemin modelleriyle çözümde iki katlı bir binadan zemine gelebilecek ortalama taban basıncı miktarı 25 kPa tahmin edilerek, zemine gelen yayılı yük miktarları 25 (2 kat), 50 (4 kat), 75 (6 kat), 100 (8 kat), 125 (10 kat), 150 (12 kat), kPa şeklinde seçilmiştir. Yayılı yükün uzunluğu 20 m alınmıştır. Program iki boyutlu hesap yaptığı için yayılı yükün ve zemin tabaklarının şekil düzlemine dik derinliği 1 m kabul edilmektedir. Her yük kademesinde iki aşama uygulanarak hesaplama yapılmıştır. 1. aşama birincil deformasyon aşaması (plastik hesaplama), 2. aşama konsolidasyonlu deformasyon aşaması olup yukarıda belirtilen yükler vasıtasıyla oluşturulmuş ve oturma analizleri yapılmıştır.

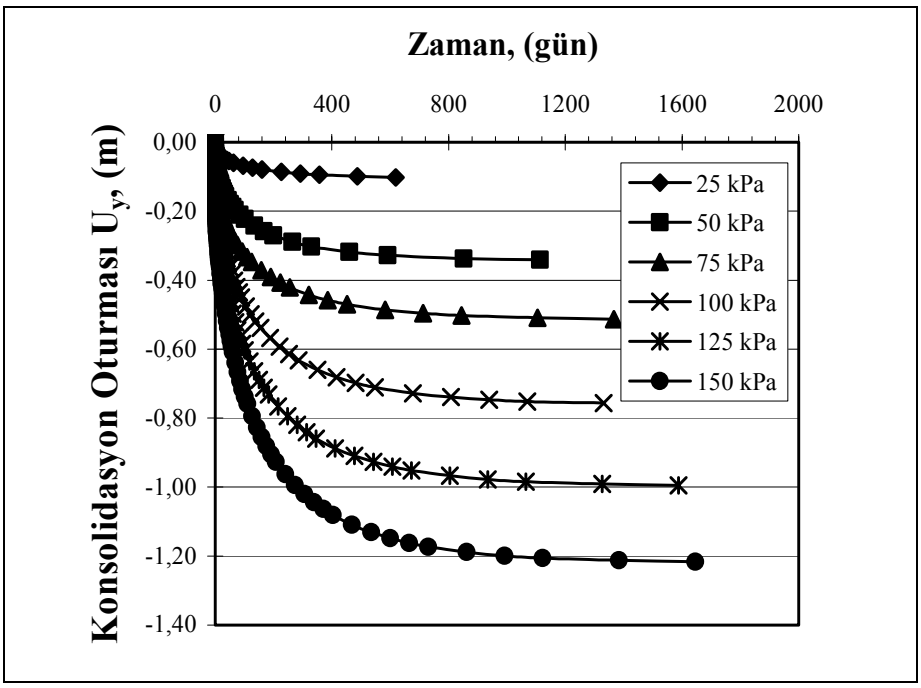
Oturma analizleri sırasında düşey deplasman değerleri, minimum boşluk suyu basıncı 1 kPa seçilerek (boşluk suyunun tamamen sönümlenmesi beklenerek) hesaplanmıştır. Burada konsolidasyon süresi olarak belirli bir zaman seçilmemiş ve boşluk suyu basıncı 1 kPa oluncaya kadar konsolidasyon oturması analizi devam etmiştir. (Şekil 4.21.)'de 150 kPa'lık taban basıncı sonucu zeminde meydana gelen deformasyon şekli görülmektedir.



Şekil 4.21. 150 kPa'lık taban basıncı sonucu meydana gelen oturma

(Ek - 3)'de 25 - 50 - 75 - 100 - 125 - 150 kPa'lık yükler birbirinden bağımsız tek hamlede zemine uygulanarak referans noktalarında (A-B-C-D noktaları) meydana gelen konsolidasyon oturması (m) – zaman (gün) grafikleri gösterilmiştir.

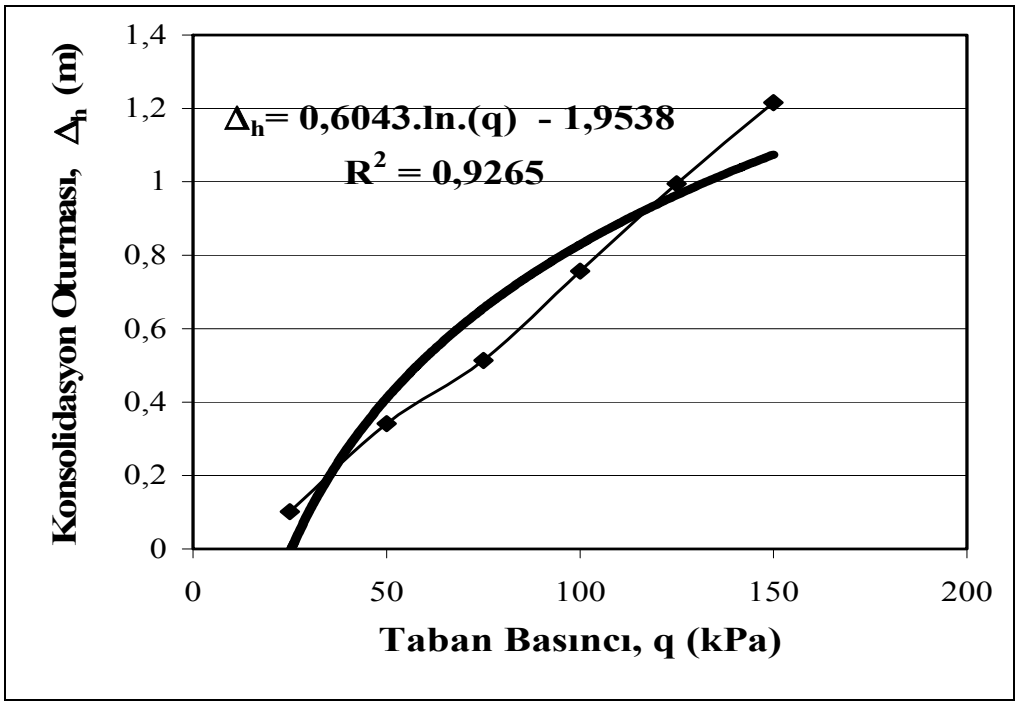
Plaxis yazılımıyla kil ve silt tabakalarında Soft Soil, kum tabaklarında ise Mohr - Coulomb modeli kullanarak birbirinden bağımsız 25 - 50 - 75 - 100 - 125 - 150 kPa'lık yükleme sonunda zemin üst tabakasında (A noktası) meydana gelen konsolidasyon oturması (m) – zaman (gün) grafiği (Şekil 4.22)'de gösterilmiştir



Şekil 4.22. Oturma (m) – zaman (gün) grafiği

Şekil 4.23'de birbirinden bağımsız 25 - 50 - 75 - 100 - 125 - 150 kPa yükleme sonunda oluşan konsolidasyon oturması (m) – taban basıncı (kPa) grafiği gösterilmiş ve taban basıncı ile oturma miktarı arasında aşağıdaki korelasyon oluşturulmuştur (Eşitlik 4.11). Aşağıdaki korelasyon Liman Mahallesi (Konyaaltı) zeminlerinde değişik taban basınçlarında meydan gelebilecek yaklaşık oturma değerleri hakkında bilgi vermektedir.

$$\Delta_h = 0.6043 \times \ln(q) - 1,9538 \qquad (4.11)$$



4.23. Oturma (m) – taban basıncı (kPa) grafiği

Birbirinden bağımsız 25 - 50 - 75 - 100 - 125 - 150 kPa taban basıncı sonucu meydana gelen oturma miktarlarını ön yükleme yöntemiyle daha kısa sürede elde etmek için aşağıdaki tablo (Tablo 4.4) oluşturulmuştur.

Tablo 4.4. Ön yükleme ile oturma (cm) – zaman (gün) ilişkisi

Yayılı Yük (kPa)		Farklı ön yükleme gerilmeleri ile oturma zamanının azaltılması					
		25	50	75	100	125	150
25	(cm)	10	10	10	10	10	10
	t_{90} (gün)	618	11	3	0,6	0,3	0
50	(cm)	-	34	34	34	34	34
	t_{90} (gün)		1110	125	40	23	13
75	(cm)	-	-	51	51	51	51
	t_{90} (gün)			1370	138	68	40
100	(cm)	-	-	-	76	76	76
	t_{90} (gün)				1330	215	110
125	(cm)	-	-	-	-	100	100
	t_{90} (gün)					1590	273
150	(cm)	-	-	-	-	-	120
	t_{90} (gün)						1650

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Konyaaltı Lagün Kilinin Geoteknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

(1) Konyaaltı (Antalya) Liman Mahallesi yumuşak kil zeminlerinin geoteknik özellikleri kapsamlı arazi ve laboratuar deneyleri ile incelenmiştir. Liman Mahallesi killeri için çok basit özelliklerin tanımlanmasında bile kesin doğruluk derecesinde veriler elde etmek amacıyla çok sayıda laboratuar testleri yapılarak bulunan veriler grafiklerle gösterilmiştir. Çeşitli korelasyonlar sonucu bölge zemininin geoteknik özellikleri arasında yeni ilişkiler oluşturulmuştur. Bu eşitlikler kullanılarak ileride bölge ile ilgili elde edilmek istenen geoteknik parametrelere kolayca ulaşılabilir.

(2) Konyaaltı Liman Mahallesi zemininin genelde başlıca üç ana grup zemin sınıfından meydana geldiği ve 30 metrelik zemin profilinin yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH - CL), yüksek ve düşük plastisiteli silt (MH - ML) ve kum karışımları (SM) olduğu görülmektedir (Şekil 4.2.). Plastisite kartı üzerinde bölge zemininin ağırlıklı olarak yüksek ve düşük plastisiteli kil (CH - CL) ve yüksek ve düşük plastisiteli silt (MH - ML) zeminlerden oluştuğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.4.).

(3) Açılan 12 sondaj kuyusundan alınan örselenmiş zemin numuneleri üzerinde yapılan Atterberg limitleri grafikleri incelendiğinde likit limit (% 50 ~ % 70) aralığında, plastik limit (% 20 ~ % 40) aralığında ve plastisite indisi de (% 20 ~ % 40) aralığında değerler almaktadır. Likitlik indisi 0 - 1 arasında değerler aldığı için zeminin plastik kıvamda olduğu söylenebilir (Şekil 4.3.). Aktivite değeri ($0.30 < A_c < 0.70$) olup orta - yüksek aktiftir (Şekil 4.5.).

(4) Serbest basınç mukavemeti (q_u = 20 kN / m^2 ~ 84,2 kN / m^2) aralığında değerler almaktadır (Şekil 4.6.). Ayrıca üç eksenli basınç cihazında yapılan konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) deneylerinde drenajsız kohezyon (c_u = 7 kN / m^2 ~

90 kN / m^2) ve ağırlıklı olarak (ϕ_u = 1^o ~ 8^o) aralığında değişen değerler elde edilmiştir. Şekil 4.6. incelendiğinde (c_u = 15 kN / m^2 ~ 55 kN / m^2) aralığında yoğunlaşmaktadır.

(5) Sıkışma indisi değerlerinin derinlikle değişimi (Şekil 4.7.)'de gösterilmiştir. Sıkışma indisi (C_c = 0,200 ~ 0,380) arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Boşluk oranı (e_o = 0.54 ~ 1.22) arasında değerler almaktadır (Şekil 4.7.). Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerleri 3 m derinlikten sonra genellikle OCR < 1 veya OCR = 1 ~ 1,2 aralığına değişmekte olup liman mahallesi zemininin normal konsolide kil olduğu söylenebilir (Şekil 4.8.).

(6) İçsel sürtünme açısı'nın plastisite indisiyle korelasyonu, drenajsız kohezyon / ön konsolidasyon basıncının ($C_u / \sigma_p^{'}$) plastisite indisi ile korelasyonu, sıkışma indisinin likit limitle korelasyonu ve sıkışma indisi ile doğal boşluk oranı korelasyonlarından ileride bölgede yapılacak çalışmalarda yararlanılabilir (Şekil 4.9.- 4.10- 4.11- 4.12.). Elde edilen eşitliklerde verilerin artırılmasında yarar vardır.

(7) 12 adet düzeltilmiş SPT - N sonucunun derinlikle değişimi ayrı ayrı (Şekil 4.13.a.b.c.)'de görülmektedir. Toplu halde 12 adet SPT - N sonucunun derinlikle değişimini gösteren (Şekil 4.14.) incelendiğinde Uzuner (1995)'e göre bölge zeminin kıvamı orta sert ve sıkılık durumu ise gevşek - orta sıkı olarak tanımlanabilir. Kayma drenci (c_u), sıkışma indisi (C_c) ve plastisite indisi (PI)'nin SPT - N değerleri ile ayrı ayrı ilişkisi (Şekil 4.16.)'da gösterilmiş ve ilgili denklemler bulunmuştur. Şekil 4.17.'de düşey geçirgenlik katsayısı (k_v) ile boşluk oranı (e_o) arasındaki ilişki grafikle gösterilerek ilgili denklem çıkarılmıştır.

(8) Bu mahallede yapılaşma yeterli bir geoteknik araştırma yapılmadan devam etmektedir. Bölge turistik cazibesi nedeniyle çok katlı ve yoğun yapılaşmaya maruz kalmaktadır. Çalışma, yapılaşmaya geçilmeden önce arazinin tüm geoteknik özelliklerinin ayrıntılı bir biçimde ele alınmasına ve buna göre temel sistemi seçilmesine yardımcı olacaktır.

(9). İleride bölgede yapılacak yapılarda yer altı su düzeyinin yüksekliği (yağışlı mevsimlerde yaklaşık -1.0 m) mutlaka dikkate alınarak temel derinliği seçilmeli ve gerekli yalıtım önlemleri alınmalıdır.

5.2. Konyaaltı Lagün Kilinin Mineralojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı Mineraloji Araştırmaları Koordinatörlüğü'nde 11 adet numune üzerinde XRD detay kil analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; bölge zemininin ağırlıklı olarak kuvars, kalsit, smektit (Ca-montmorillonit), feldispat, klorit, mika grubu kil mineralleri, kaolinit, amfibol, dolomit, hematit, amorf silika, serpantin, kristobalit, tridimit, karışık tabakalı kil (klorit + kaolinit, smektit + klorit, smektit + illit, illit + kaolinit, klorit + illit) minerallerinden teşekkül ettiği bulunmuştur.

5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Konsolidasyon Oturması Analizinin Değerlendirilmesi

İnceleme bölgesi olan Antalya (Konyaaltı) Liman Mahallesi zeminlerinin kapsamlı arazi ve laboratuar deneyleri sonucunda bulunan parametrelere göre; Plaxis zemin programının dataları oluşturulmuştur.

Plaxis programı verilen datalar ışığında zemin davranışı kanunlarını kullanarak hesaplamalar yaptığından, imkanlar oranında zemin parametreleri ne kadar çok olursa, hem zeminin geoteknik özellikleri arasında kurulan korelasyonların ve hem de programın veriminin artacağı aşikardır.

Bu datalar referans alınarak plaxis yazılımıyla oluşturulan modelle bulunan kademeli konsolidasyon oturması sonucunun analitik yolla bulunan sonuçlardan yüksek olduğu görülmüştür.

Hesaplanan oturma değerleri inşaat aşamaları sonucunda oluşacak gerilme ve deformasyon değerleri hakkında fikir vermekte ve özellikle temel sistemi seçiminde yardımcı olmaktadır. Programda elde edilen değerlerin tek başına bir anlam ifade etmemesi gerektiği plaxisle yapılan analizin arazide imalat sırasında yapılacak ölçümlerle doğrulanması gerekmektedir.

Sonuç olarak, bu bölgede geoteknik araştırmalar yapılırken sondaj derinlikleri bölgenin düzensiz tabakalaşması nedeniyle 25 - 30 m arasında olmalıdır. Bölgede yapılacak yapılarda taşıma gücü ve oturma hesapları yapılırken drenajsız şartlar en elverişsiz olduğu için özellikle drenajsız koşullarda kohezyon (c_u), doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), temel genişliği (B) ve boşluk oranı (e_o) değerleri önem arz etmektedir. Temel sistemi seçiminde mümkünse derin temel, radye temel veya şerit temel seçilmelidir. Bölgede yer altı su seviyesinin yüksek olmasından dolayı çoğu zaman temel taban pabuçları ve kolonları su ile temas edeceğinden kullanılan hazır betonlarda prizi hızlandırıcı ve geçirimsizliği sağlayıcı katkı maddeleri kullanılmalıdır. Özellikle doğal zemin seviyesi altında kalan kottaki inşaat kısımlarında yalıtım önlemlerine azami önem verilmelidir. Ayrıca suyun uzaklaştırılması için elektro - osmoz yöntemi de kullanılabilir. Bunun için - kutup (katot) işlevini gören metal çubuklar, aralıklarla, karşılılı olarak zemine yerleştirilerek, bunlar arasında doğru akım oluşturulur. Delikli kaplama boruları içine biriken su pompalarla uzaklaştırılır (Uzuner, 1995).

Zemin iyileştirme yöntemlerinden kum drenleri ile ön yükleme yapılması veya özellikle jet - grouting yöntemi önerilmektedir. Jet - grouting yöntemi hemen hemen her zemin koşulunda uygulanabilir. Jet - grout kolonları zemini sıkıştırmakta ve ana gövde etrafında 3 m'ye varan sıkışmış alan oluşturarak mevcut temel zemininin taşıma gücünü arttırmaktadır. Ayrıca fore kazıkları ile birlikte jet - grout yönteminin birlikte uygulandığı kombine sistemlerde son yıllarda büyük projelerde uygulanmaktadır. Bu tür sistemlerde fore kazıkları kazı alanının dış sınırlarına belirli aralıklarla inşa edilerek aralarına jet - grout kolonları yapılmakta böylelikle zemindeki boşlukların tamamen dolup, dayanımının artmasının yanında dıştan gelecek suyun önüne bina çevresinde bir perde oluşturulmuş olmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Adachi, T., Oka, F. 1982. A constituve equation for normally consolidated clays based on elasto-viscoplasticity. Soils and Foundations, 22: 57-70.

Almeida, M. S. S., Borma, L. S. Barbosa, M. C. 2001. Land disposal of river and lagoon dredged sediments. Engineering Geology, 60:21-30.

Aykurt, M. S. 2003. Antalya - Merkez (Konyaaltı) Belediyesi 9962 ada-5 parsel nolu taşınmazın zemin etüt raporu. Toros Jeoteknik Mühendislik Ltd. Şti, Antalya.

Bailey, S. W. 1980. Summary of the recommendations of the AIPEA. Canadian Minerlogist, 18 (2): 143

Bergado, D.T., Youwai, C., Teerawattanasuk, P., Visudmedanukul, P. 2003. The interaction mechanism and behavior of hexagonal wire mesh reinforced embankment with siltly sand backfill on soft clay. Computers and Geotechnics, 30: 517-534.

Bird, E.C.F. 1969. Coasts. Massachusetts Institute of Tecnology Cambridge, Massachusetts, London.

Bird, E.C.F. 1984. Coasts. 3rd edition, Blackwell, Oxford.

Bjerrum, L., Simons, N.E. 1960. Comparison of shear strength characteristics of normally consolidated clay. In Proceedings of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohensive Soils, American Society of Civil Engineers, pp. 711-726.

Bjerrum, L. 1973. Problems of soil mechanics in unstable soils. In Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), Moscow, Vol.3: 111-159.

Borja, R. I., Kavaznjian, E. 1985. A constitute model for the stress - strain - time behaviour of wet clays. Geotechnique, 35 (3), 283-298.

Brandes, H. G., Sadd, M. H., Silva, A. J. 1996. Finite element modelling of a deep sea clay in long – term laboratory creep tests. International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, Vol. 20: 887-905.

Brindley, G.W. 1980. Quantitative x-ray mineral analysis of clays: In: Crystal Structures of Clay Minerals and Their X- Ray Identification. (Eds. By G. W

Brindley and G. Brown), Mineralogical Society of London, p.411-438.

Butterfield, R. 1979. A natural compression law for soils (an advance on $e - \log p'$) (technical note). Geotechnique, 29(4): 469-480.

Burland, J. B. 1965. The yielding and dilation of clay (correspondence). Geotechnique, 15 (2): 211-214.

Burland, J. B. 1967. Deformation of Soft Clay. Ph. D. thesis, Cambridge University.

Chung, S.G., Giao, P.H., Kim, G.J., Leroueil, S. 2002. Geotechnical properties of Pusan clays. Canadian Geotechnical Journal, 39:1050-1060.

Cola, S., Simonini, P. 2002. Mechanical behavior of silty soils of the Venice lagoon as a function of their grading characteristics. Canadian Geotech. Journal, 39: 879-893.

Çelik, M., Karakaya, N. 1998. Sistematik mineraloji. Bizim Büro Basımevi, Ankara.

Den Haan, E. J. 1994. Vertical Compression of Soils. Ph. D. thesis, Delft University.

Dipova, N. 1997. Konyaaltı (Antalya) bölgesindeki zemin davranışlarının belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Dipova, N., Acar, M. H. 2003. Konyaaltı (Antalya) Liman Mahallesi kil zeminlerin ikincil sıkışabilirlik özelliklerinin belirlenmesi. XI. Ulusal Kil Sempozyumu, Ege ve Dokuz Eylül Üniversiteleri, İzmir.

Garlanger, J. E. 1972. The consolidation of soils exhibition creep under constant effective stress. Geotechnique, 22(1):71-78.

Gillott, J. E. 1987. Clay in Engineering Geology. Elsevier, Amsterdam.

Guofu, Z., Yin, J. H. 2000. Elastic visco-plastic consolidation modelling of clay foundation at Berthierville test embankment. International Journal For Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 24:491-508.

Janbu, N. 1985. 25th rankine lecture: Soil models in offshore engineering. Geotechnique, 35(3): 239-281

Kara, H. B., Elcuman, H. 2004. Kayseri serbest bölgesi yumuşak killerinin geoteknik özellikleri ve bir iyileştirme yöntemi analizi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül 2004, syf: 255-262, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Keskin, N. S. 1993. İstanbul Neojen Kilinin şişme davranışına, ön konsolidasyonun, mineralojik özelliklerin ve çevresel faktörlerin etkisi. Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kılıç, H., Yıldırım, S. 2000. Alibey Barajı temel zemini parametrelerinin belirlenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, syf: 111-120, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kılıç, H., Yıldırım, S. 2000. Dolgu altı zeminlerde deformasyonların nümerik olarak belirlenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, syf: 121-129, İstanbu Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kolay, P. K., Singh, D. N., Murti, M. V. R. 2001. Synthesis of zeolites from a lagoon ash. Fuel, 80: 739-745.

Kolay, P. K., Singh, D. N. 2002. Characterization of an alkali activated lagoon ash and its application for heavy metal retention. Fuel, 81: 483-489.

Lapeds, D., N. 1978. McGraw-Hill Dictioanry of scientific and technical terms. Second edition, McGraw-Hill Book Company.

Leroueil, S., Tavenas, F., and Le Bihan, J.-P. 1983. Proprietes caracteristiques des argiles de I'est du Canada. Canadian Geotechnical Journal, 20(4): 681-705.

Lewevre, R. 1967. Un nouvel element dans la geologie du Taurus Lycien: Les nappes d'Antalya (Turquie), C.R. Acad. Sc. Paris, 265: 1365-1368.

Liu, D. M., Carter, P. J. 2002. A Structured Cam Clay Model. Centre for Geotechnical Research, report no:R814, Department of Civil Engineering, The University of Sydney.

Neher, H. P., Wehnert, M., Bonnier, P. G. 1999. An evaluation of soft soil model on trial embankments. Beyond 2000 in Computational Geotechnics-10 years of Plaxis International, Balkema, Rotterdam.

Özaydın, K. 1999. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 23.

Önalp, A. 1997. Zeminler ve Mekaniği. Sakarya Üniversitesi, Yayın No: 27.

Özarslan, M. 2003. Ankara - Eryaman'daki toplu konut bölgesinde bulunan sorunlu zeminlerin "Plaxis sonlu elemanlar zemin bilgisayar paket programı ile geoteknik analizi". Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Plaxis V.7. 1998. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses, User Manual.

Plaxis V.8. 2004. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses, User Manual.

Ricceri, G., Simonini, P., Cola, S. 2002. Applicability of piezocone and dilatometer to characterize the soils of the Venice Lagoon. Geotechnical and Geological Engineering, 20: 89-121.

Sayar, M. 1960. Mineraloji ve Jeoloji. İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

Schmitz, R. M., Schroeder, C., Charlier, R. 2004. Chemo-mechanical interactions in clay: a corelation between clay mineralogy and Atterberg limits. Applied Clay Science, 26: 351-358.

Sekiguchi, H. 1979. Rheological characteristics of clays. In Proceedings 9th. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Enginering, Vol. 1, Tokyo, pp. 289-292.

Simonini, P., Cola, S. 2000. Use of piezocone to predict maximum stiffness of Venetian soils. Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE, 126(4): 362-378.

Sür, A., Sür, Ö., Yiğitbaşıoğlu, H. 2001. Mineraller ve Kayaçlar. Bilim Yayıncılık, Ankara.

Şenel, M. 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya – L 10 paftası. MTA, No:7: 21.

Şenel, M. 1981. Discussion on the Antalya Nappes. (Eds.) O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu, Geology of Taurus Belt. International Symposium, Ankara, p. 41-52.

Uzuner, B. 1995. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, Trabzon.

Tanaka, H., Locat, J., Shibuya, S., Soon, T., T., Shiwakoti, D., R. 2001. Characterization of Singapore, Bangkok, and Ariake clays. Canadian Geotechnical Journal, 38: 378-400.

Tavenas, F., Jean, P., Leblond, P., Lerooeil, S. 1983. The permeability of natural soft clays. Part II: Permeability characteristics. Canadian Geotechnical Journal, 20(4): 645-660.

Zhu, G., Yin, J. 2000. Elastic visco – plastic consolidation modelling of clay foundation at Berthierville test embankment. İnternatioanal journal for numerical and analytical methods in geomechanics, 24: 491-508.

7. EKLER