

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

**DENİZLİ ŞEHİRİNDE KİLLİ ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜNÜN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

57051

İnş. Müh. Devrim ALKAYA

Temmuz 1996

DENİZLİ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DENİZLİ ŞEHRİNDE KİLLİ ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

İnş. Müh. Devrim ALKAYA

**Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nce
"İnşaat Yüksek Mühendisi"**

Ünvanı verilmesi için kabul edilen tezdır.

Tezin enstitüye verildiği tarih : 29 /07 / 1996

Tezin sözlü savunma tarihi :16 /09 / 1996

Tezin Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim ALYANAK

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Recep YILMAZ

Jüri Üyesi :Doç. Dr. Cevdet BOZKUŞ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Hikmet RENDE

Temmuz 1996

DENİZLİ

Devrim ALKAYA' nın yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Denizli Şehrinde Killi Zeminlerin Taşıma Gücünün Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

16/9/1996

Üye : Prof. Dr. Hikmet ALYARAK

Üye : Doç. Dr. Recep YILMAZ

Üye : Doç. Dr. CEMAL BUZKUP

Fen Bilimleri Enstitüsü yönetim kurulu'nun 18.09.1996 tarihli ve 19/3 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

H. Rende

Prof. Dr. Hikmet RENDE

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çok hızlı sanayileşen Denizli'nin nüfusu da çok hızlı artmakta (Türkiye ortalamasının yaklaşık iki katı) bunun paralelinde konut ve sanayi yapıları için büyük yatırımlar yapılmaktadır. Jeolojik oluşumu açısından karasal çökel olan Denizli aktif faylarla sarıldır. 1.Derece deprem bölgesi olmasına rağmen geoteknik etüdlerin uygulamada tablolardan alınan birkaç basit katsayı alınarak geçştirilmesi güvenli ve ekonomik yapıların yapılmasına engel olmaktadır. Denizli'de karasal çökellerin en önemli özelliği olan sık düşey ve yanal tabaka değişimleri gözlenmektedir. Bunun yanında Denizli adının verilmesine sebep olan yeraltısu seviyesinin yüksek olması olumsuz etkiyi artırmaktadır. Bu durum yapılan her yüksek ve önemli yapının zemin ve temel etüdünün yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle killi zeminlerin geniş alan tutması zemin ve temel etüdlerinin önemini artırmaktadır.

Geoteknik, inşaat mühendisliğinin en önemli konularından birisi olmasına rağmen pratik amaçlara hizmet eden temel geoteknik bilgi birikiminin tamamlandığı söylenemez. Geoteknik bilgi birikiminin istenilen düzeye ulaşmamasının temelinde zemin ve temel etüdüne gereken önemin verilmemesi, temel zemin haritalarının tamamlanmaması, jeolojik etüdlerin aynı amaçla kullanılması vb. nedenler sayılabilir. Bu durum, uygulamada birçok soruna neden olmaktadır. Mühendislik tarihi temel zemininin neden olduğu çok büyük boyutlu problemlerle doludur. Geoteknik problemlerle genellikle kil zeminlerde karşılaşmaktadır. Uygulamada kil zeminler haklı olarak problem zemin olarak anılmaktadır. Bu nedenle çalışma konusu Denizli şehrinde kil zeminler seçilmiştir.

Tez çalışmasında Denizli'de veri tabanı oluşturulmasına yönelik, uygulamalı araştırma yapılmıştır. Denizli zemin haritası hazırlanmasına ön ayak olması amacıyla yapılan ilk geoteknik çalışmadır. Sonuçlar ön temel projelerinin hazırlanmasında kullanılabilir fakat zemin ve temel etüdü yapılması zorunluluğunu ortadan kaldırmayacağı açıktır.

Tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sn. Prof. Dr. İbrahim Alyanak'a, Denizli'de yapılan geoteknik etüd raporlarını temin ettiğim tüm kamu ve özel kuruluş çalışanlarına, arazi ve laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını gördüğüm herkeze teşekkür ederim.

Denizli, Temmuz 1996

Devrim ALKAYA



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Denizli'nin Acıpayam ilçesinde doğdu. İlk ve ortaöğrenimini çeşitli il ve ilçelerde sürdürdükten sonra Denizli Merkez Ortaokulunda tamamladı. Ortaokul sonrası mecburi hizmet karşılığı kurumlar sınavını kazanarak Aydın-Söke Ziraat Teknik Lisesine girdi. 1989 yılında Ziraat Teknisyeni olarak mezun oldu. Aynı yıl 9 Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde üniversite öğrenimine başladı. 1993 yılında fakülteden mezun oldu. Aynı yıl Tarım Bakanlığına mecburi hizmet borcu nedeniyle Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Gümüşhane İl Müdürlüğüne atandı. Bir yıl Proje ve İstatistik şubesinde mühendis olarak Tarımsal Yapılar konusunda çalıştı. 1994 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü Geoteknik anabilim dalı araştırma görevlisi sınavını kazanarak üniversiteye atandı. Bu esnada Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünü kazanarak İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Geoteknik programında yüksek lisans çalışmasına başladı. Ekim 1994'den bu yana Araştırma Görevlisi olarak üniversitedeki görevi halen devam etmektedir.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖNSÖZ	III
ÖZGEÇMİŞ	IV
İÇİNDEKİLER	V
KULLANILAN SEMBOLLER	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KİL MİNEROLOJİSİ	3
2.1. Kil Zeminlerin Mineral Yapısı	3
2.2. Killerin Oluşumu	5
2.3. Kil Minerallarının Tanımlanması	7
BÖLÜM 3. KİL ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	10
3.1. Hacim Ağırlık Bağlılıkları	11
3.2. Killi Zeminlerin Su İle İlişkileri - Kıvam	12
3.3. Kil Zeminlerin Şişme Özellikleri	17
3.4. Kil Zeminlerin Sınıflandırılması ve Dane Boyutu	18
3.5. Kil Zeminlerde Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı	20
3.5.1. Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi	21
3.5.2. Kil Zeminlerin Sıkışması	26
3.5.3. Kil Zeminlerin Kayma Mukavemeti	26
3.5.4. Kayma Mukavemetinin Belirlenmesi	29
BÖLÜM 4. KİL ZEMİNLERDE TASARIM ESASLARI ve TEMEL ZEMİNİ ETÜDLERİ	32
4.1. Kil Zeminlerde İnceleme Esasları	32

4.2. Kil Zeminlerde Zemin ve Temel Etüdüleri	37
BÖLÜM 5. KİL ZEMİNE OTURAN TEMELLER	42
5.1. Zemin Emniyet Gerilmesinin Belirlenmesi	43
5.2. Oturma Hesabında Kullanılacak Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi	47
5.3. Yatak Katsayısı Kavramı	48
5.4. Kil Zemine Oturan Temellerin Boyutlandırılması	49
BÖLÜM 6. DENİZLİ ŞEHİR MERKEZİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	52
6.1. Denizli İli Hakkında Coğrafi Bilgi	52
6.2. Çalışma Bölgesinde Genel Jeolojik Yapı	53
6.3. Kamu ve Özel Kuruluşlarca Yapılmış Geoteknik Çalışmalara Ait Veriler	55
6.3.1. Denizli Eysel Atıksı Arıtma Tesisi Geoteknik Etüdü	55
6.3.2. Denizli Eysel Atıksı Arıtma Tesisi 1.ve 2. Kademe Çamur Çürütme Havuzları Geoteknik Etüdü	57
6.3.3. Denizli Cam Sanayi Ek İnşaatı Geoteknik Etüdü	61
6.3.4. Pamukkale Üniversitesi Kampüs Alanı Geoteknik Etüdü	62
6.3.5. Kiremitçi Mahallesi Darıverenli Camii Karşısı Geoteknik Etüdü	62
6.3.6. İstiklal Mahallesi Tekil Başmüdürlüğü Geoteknik Etüdü	63
6.3.7. Kaleiçi Limoncuoğlu İşhanı ve Katlı Otoparkı Geoteknik Etüdü	64
6.3.8. Çalışma Alanında Statik Penetrasyon Deneyi Sonuçları	65
6.4. Çalışma Kapsamında PAÜ. Geoteknik Laboratuvarında Yapılan Çalışmalar	67
6.4.1. Kayalık Mahallesi Trafik Müdürlüğü Karşısı	67
6.4.2. Gümüşler Belediyesi Belediye Yanı	69
6.4.3. İncilipınar Mahallesi Doğan Demircioğlu Spor Sahası Yanı	71
6.4.4. İnönü Caddesi Çaputçu Fırını Arkası	72
6.4.5. Emek Caddesi	73
6.4.6. Akkonak Mahallesi Fatih Caddesi	74
6.4.7. Anafartalar Caddesi	75
BÖLÜM 7. SONUÇ ve ÖNERİLER	81

KAYNAKLAR**EKLER**

- EK 1. Denizli İli Arıtma Tesisi Sondaj Kesitleri**
- EK 2. Denizli Cam Sanayi Sondaj Kesitleri**
- EK 3. Pamukkale Üniversitesi Kampus Alanı Sondaj Kesitleri**
- EK 4. Kiremitçi Mahallesi Sondaj Kesitleri**
- EK 5. İstiklal Mahallesi Sondaj Kesitleri**



KULLANILAN SEMBOLLER

A	Aktivite
a_v	Sıkışma sayısı
B	Temel genişliği
c	Kohezyon
C_c	Sıkışma indisi
c_v	Konsolidasyon katsayısı
c_u	Kayma direnci
D_f	Temel derinliği
E	Elastisite modülü
e	Boşluk oranı
G_s	Dane özgül ağırlığı
K_o	Sukunetteki toprak basıncı
I_L	Likitide indisi
I_C	Kıvamlılık indisi
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı
N	Standart penetrasyon deneyi darbe sayısı
N_c, q, γ	Taşıma gücü faktörleri
n	Porozite
T_v	Zaman faktörü
w	Su muhtevası
$w_{L, P, R}$	Kıvam limitleri
q_u	Tek eksenli basınç dayanımı
σ	Normal gerilme
τ	Kayma direnci
ϕ	İçsel sürtünme açısı
γ	Birim hacim ağırlığı
v	Possion oranı
ϵ	Birim deformasyon

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1. Önemli kil mineralleri	9
Şekil 3.1. Kil - su ilişkisi	12
Şekil 3.2. Aktivite abağı	15
Şekil 3.3. Plastisite grafiğı	16
Şekil 3.4. Şişme potansiyeli sınıflama abağı	18
Şekil 3.5. İnce daneli Zeminlerin Sınıflandırılması	19
Şekil 3.6. Zeminde genel gerilme - boy değıştirme eğrisi	20
Şekil 3.7. Zamanın boşluk suyu basıncı ve sıkışmaya etkisi	22
Şekil 3.8. Sıkışmanın blok diyagramda gösterilmesi	23
Şekil 3.9. Ödometre ve gözlenen sıkışma davranışı	25
Şekil 3.10. Kayma mukavemeti zarfları	27
Şekil 3.11. CD deneylerinden elde olunan kayma mukavemeti zarfları	27
Şekil 3.12. Serbest basınç deneyi ve sonuçları	29
Şekil 3.13. Kesme kutusu ve deney sonuçları	30
Şekil 3.14. Vane deneyi	30
Şekil 5.1. Kil zemine oturan tmeller için taşıma gücü katsayıları	44
Şekil 5.2. Taşıma gücünde yeraltı suyu için düzeltme	51
Şekil 6.1. Kiremitçi mahallesi zemin kesiti	63
Şekil 6.2. İstiklal mahallesi zemin kesiti	64
Şekil 6.3. Kaleiçi zemin kesiti	65
Şekil 6.4. Kayalık mahallesi zemin kesiti	67
Şekil 6.5. Kayalık mahallesi kesme kutusu deney sonuçları (H=1.5 m.)	68
Şekil 6.6. Kayalık mahallesi kesme kutusu deney sonuçları (H=3 m.)	68
Şekil 6.7. Kayalık mahallesi kesme kutusu deney sonuçları (H=4 m.)	69
Şekil 6.8. Gümüşler zemin kesiti	69
Şekil 6.9. Gümüşler kesme kutusu deney sonuçları (H=2.25 m.)	70
Şekil 6.10. İncilipınar zemin kesiti	71

Şekil 6.11. İncilipınar kesme kutusu deney sonuçları (H=2 m.)	71
Şekil 6.12. İnönü caddesi zemin kesiti	72
Şekil 6.13. İnönü caddesi kesme kutusu deney sonuçları	72
Şekil 6.14. Emek caddesi zemin kesiti	73
Şekil 6.15. Emek caddesi kesme kutusu deney sonuçları	73
Şekil 6.17. Akkonak mahallesi zemin kesiti	74
Şekil 6.18. Akkonak mahallesi kesme kutusu deney sonuçları (H=3.5 m.)	74
Şekil 6.19. Akkonak mahallesi kesme kutusu deney sonuçları (H=4 m.)	75
Şekil 6.20. Anafartalar mahallesi zemin kesiti	75
Şekil 6.21. Anafartalar mahallesi kesme kutusu deney sonuçları	76
Şekil 6.22. Denizli jeoloji haritası	81



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması	3
Tablo 2.2. Bazı kil minerallerinin özellikleri	6
Tablo 3.1. Kil minerallerinin tipik birim hacim ağırlıkları	11
Tablo 3.2. Plastisite derecesinin plastisite indisine göre belirlenmesi	13
Tablo 3.3. Arazide zeminlerin plastisitesinin tanımlama kriterleri	14
Tablo 3.4. Çeşitli minerallerin aktivitesi	14
Tablo 3.5. Zeminlerin kıvamlılık indisine göre sınıflandırılması	16
Tablo 3.6. Kıvam limitlerinin diğer özelliklere etkisi	16
Tablo 3.7. İndeks özelliklerine göre kil zeminlerin şişme yüzdesi ve derecesi	18
Tablo 3.8. Drenajsız elastisite modülleri	21
Tablo 3.9. Sıkışma indisi bağıntıları	24
Tablo 3.10. Zeminlerin sıkışabilirlik özellikleri	25
Tablo 3.11. Zeminlerin sıkışma indislerine göre sıkışabilirliği	25
Tablo 3.12. Kohezyonlu zeminlerin dayanımı	31
Tablo 3.13. SPT deneyi (N)- Serbest basınç dayanımı (q_u) - kıvam ilişkisi	31
Tablo 4.1. Killerin özelliklerinin inceleme kriterleri	35
Tablo 4.2. Kil zeminlerin sistematik etüdü	39
Tablo 5.1. K_1 ve K_2 değerleri	43
Tablo 5.2. Taşıma gücü katsayıları	44
Tablo 5.3. Kil zeminlerdeki yapılarda toplam oturma limitleri	46
Tablo 5.4. Yapıların dayanabileceği kaykılmalar	47
Tablo 5.5. Aşırı konsolide killerde yatak katsayıları	49
Tablo 6.1. Standart penetrasyon deneyi N değerleri	55
Tablo 6.2. Tabii su muhtevaları ve ve kıvam limitleri	56
Tablo 6.3. Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi sonuçları	56
Tablo 6.4. Konsolidasyon deneyi sonuçları	56

Tablo 6.5. Kıvam limitleri	57
Tablo 6.6. Sondaj derinlikleri	58
Tablo 6.7. Tabii su muhtevaları ve kıvam limitleri	58
Tablo 6.8. Konsolidasyonsuz - drenajsız üç eksenli basınç deneyi sonuçları	59
Tablo 6.9. Konsolidasyon deneyi sonuçları	60
Tablo 6.10. SPT deney sonuçları	60
Tablo 6.11. Su muhtevası ve kıvam limitleri	61
Tablo 6.12. Shellby tüpü numune derinlikleri ve SPT sonuçları	61
Tablo 6.13. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları	62
Tablo 6.14. Kiremitçi mahallesi SPT sonuçları	63
Tablo 6.15. İstiklal mahalesi SPT sonuçları	64
Tablo 6.16. Çalışma alanında yapılan CPT deneyleri sonuçları	65
Tablo 6.17. Kayalık mahallesi zemin sınıfları	67
Tablo 6.18. Kayalık mahallesi taşıma gücü değerleri	68
Tablo 6.19. Gümüşler kıvam limitleri ve zemin sınıfı	69
Tablo 6.20. Gümüşler taşıma gücü değerleri	70
Tablo 6.21. İncilipınar kıvam limitleri ve zemin sınıfları	71
Tablo 6.22. İncilipınar taşıma gücü değerleri	71
Tablo 6.23. İnönü caddesi kıvam limitleri ve zemin sınıfı	72
Tablo 6.24. İnönü caddesi taşıma gücü değerleri	72
Tablo 6.25. Emek caddesi taşıma gücü değerleri	73
Tablo 6.26. Akkonak kıvam limitleri ve zemin sınıfı	74
Tablo 6.27. Akkonak mahallesi taşıma gücü değerleri	75
Tablo 6.28. Anafartalar kıvam limitleri ve zemin sınıfı	76
Tablo 6.29. Anafartalar taşıma gücü değerleri	76
Tablo 6.30. Örnekleme noktalarının jeoloji bölgelerine göre dağılımı	77

ÖZET

Killer birçok mühendislik bilim dalı tarafından araştırmalara konu edilmiş ve birçok bilim adamı tarafından incelenmiştir. Günümüzde de killer üzerine araştırmalar devam etmektedir. İnşaat mühendisliği açısından killer daha çok temel zemini olarak incelenmektedir. Kil zeminler uygulayıcı mühendisler tarafından haklı olarak problem zemin olarak adlandırılmıştır. Bunun nedeni kil zeminlerin tarih boyunca sorun çıkarmasıdır. Mühendislik tarihi kil zeminlerin oluşturduğu yapı sorunları ile doludur. Bu nedenle Denizli killi zeminlerinin geoteknik özellikleri çalışmanın konusu olmuştur.

Killerin minerolojik bileşimi, killi zeminlerin mühendislik özellikleri, gerilme-şekil değiştirme davranışı, kil zemine oturan temellerin taşıma gücü ve davranışı ayrı bölümlerde incelenmiştir.

Güvenli ve ekonomik yapıların inşa edilebilmesinin ilk basamağı olan zemin ve temel etüdüleri sonrası uygun bir temel seçimi ve inşaatı sağlanır. Kil zeminlerin etüdüleri için belirlenmesi gereken özellikler tablolar halinde verilmiş ve sistematik bir yöntem önerilmiştir.

Denizli şehrinde killi zeminler geniş alanlar kaplamaktadır. Killi zeminlerin geoteknik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmeye çalışılmış, killi zemine oturan temellerin taşıma gücü nedir sorusuna cevap aranmıştır. Killi zeminlere oturacak temeller için öneriler sunulmuştur.

SUMMARY

Clays was the subject of many engineering branches and examined by many scientist. Today resaarches are continuing about clays. For civil engineering clays are examining as afoundation soil. Clay soils are named by engineers as problem soils. Because engineering history is full of problems which occured by clay soils. So the geotechnical properties of clays in Denizli will be the subject of this study.

In this study, mineralogic components of clays, engineering properties of clays, strain - deformation behaviour, bearing capacity of foundation located on the clay soils are examined in different chapters.

Soil examines, in order to get a suitable foundation which is the first step constructing safety and economical buildings. The properties which must be determined for clay soils are given as tables and a systematic way for solition is offered.

Clay soils covers great areas in Denizli city. In this study Geotechnical properties of clay soils are try to be determined by using field and laboratuary experiments. An answer was located for what is the bearing capacity for foundations located on clay soils. Some advices are offered for this type of foundations.

BÖLÜM 1

1.1. GİRİŞ

Kil zemin sorunları ile yapılaşmanın başladığı dönemlerde karşılaşılmaya başlanmış ve killi zeminler üzerinde incelemeler başlamıştır. Killi zeminlerin farklı su içeriklerinde davranışının değişmesi ve oturma problemleri oluşturması bu tür zeminlerde inşa edilen mühendislik yapılarında ya pahalı temel çözümleri gerektirmiş, ya da bu tür zeminler üzerinde yapılaşmadan kaçınılmasına neden olmuştur. Nüfusun her geçen gün artması, teknolojinin hızla ilerlemesi daha ağır yapıların daha küçük alanlar üzerine inşa edilme zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Geniş bir alan kaplayan, problemlili zemin olarak nitelendirilen killi zeminlerin temel zemini olarak daha yaygın kullanılması gerekli hale gelmiştir.

Kil zemin üzerine inşa edilmiş olan Pisa Kulesi tarihi yapılar içinde kil zeminin oluşturduğu problemle karşılaşan en ünlü yapıdır. Dünyada ve ülkemizde eski ve yeni yapılar incelendiğinde, kil zeminlerin oluşturduğu problemlerle karşılaşmış pek çok yapıyla karşılaşılır.

Killer üzerinde kimya, jeoloji, inşaat mühendisliği açısından bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. İnşaat mühendisliği açısından, kil zeminlerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi, mühendislik yapılarına etkisi, istatistik çalışmalar, malzeme olarak kullanılması, killerin toprak sanayiinde kullanılması konulu araştırmalar devam etmektedir.

Kil zeminler üzerinde ülkemizde yapılmış bazı önemli çalışmalar; Önalp A. ve Balta İ. "Doğu Karadeniz killerinin oluşumu, özellikleri", Toğrol E. , Güler E. , Özüdoğru K., Ersoy T. , Aksoy İ. H. 1986 ve Ansal A., Yıldırım H. 1987 "Haliç kili, oluşturduğu problemler ve

çözüm yolları”, Kayalar A. Ş., Yılmaz R. ve Ülküdaş M.E. “İzmir ve çevresinde killi zeminler”, Kasapoğlu E. K. ve Kiper B. “Ankara kilinin mühendislik özellikleri”, Ansal A. “Killilerin konsolidasyon özelliklerinin incelemesi”, Özudoğru K.1979 ,Özaydın K.1982, Ansal A. 1981, Erken A. 1982 ve bir çok araştırmacı tarafından “Kil zeminlerin dinamik davranışı”, Ansal A., Lav A. 1986, Beyazıt 1982 “Kil zeminler üzerine istatistik çalışmalar”, Aytekin M. “Kil zeminlerin şişme basınçları”, Trak B. “Doğal killerin temel davranış biçimleri ve bunların stabilite hesaplarına etkisi”, Özkan Y. “Killi zeminlerde kuruma ile meydana gelen fisür ve çatlaklar, Kasapoğlu E., Aksoy H. 1995, Afyon kenti killi birimleri, Keskin N.1996 Isparta killi zeminlerin geoteknik özellikleri konuları kapsamaktadır.

Bu çalışmada; kil zeminlerin inşaat mühendisliği açısından önemli olan özellikleri belirlenmiş, killi zeminlerde yapılacak etüdüler için bir yöntem önerilmiş ve Denizli imar bölgesinde killi zeminlerinin geoteknik özellikleri laboratuvar ve arazi deneyleri ile belirlenmeye çalışılmış, killi zemine oturan temellerin taşıma güçleri için örnek hesap yapılmıştır.

1.2. AMAÇ VE KAPSAM

Çalışmanın amacı; Denizli şehir merkezinde killi zeminlerin geoteknik özelliklerini belirlemek ve killi zemine oturan temellerin taşıma güçlerinin hesaplanmasına esas verilerin oluşturulmasıdır. Böylece Denizli şehirde geoteknik bilgi birikimi ve kent geoteknik haritasının oluşumuna katkıda bulunmaktadır.

Çalışmanın kapsamı; Denizli şehir merkezinde killi bölgelerde açılan temel çukurlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak geoteknik özellikleri belirlenmesi ve killi zemine oturan temellerin taşıma güçlerine ait parametrelerin belirlenmesidir. şehir merkezinde, özel ve kamu kuruluşlarınca yapılmış geoteknik çalışmaların verileri de derlenerek harita üzerine işlenmiştir. Yapılan çalışma veri toplanmasına, oluşturulmasına ve değerlendirilmesine yönelik uygulamalı bir araştırma niteliğindedir.

BÖLÜM 2

KİL MİNERALOGİSİ

2.1. Kil Zeminlerin Mineral Yapısı

Zemin danelerinin büyüklüğü, şekli, fiziksel ve kimyasal özellikleri mineral yapılarıyla yakından ilişkilidir. Zemin, hatta kayaçların mühendislik özelliklerini bileşimlerinden kestirmek mümkün değilse de bunların mineral yapısını anlamak bazı ana bilgiler için önem taşır.

Kil minerallerinin büyük bir bölümü oksijen ve silisyumdan oluşan silikat bileşikleridir. Bir silisyum atomu dört oksijen atomunun ortasındaki boşluğa oturarak bir silis tetrahedronu (dört yüzlü prizma) oluşturur. Silikatlı malzemeler tetrahedronların diziliş şekline bağlı olarak farklı isimler alırlar. Yer kabuğunun üst bölümlerinde bulunan malzemenin % 99'unun silikatlerden oluştuğu tahmin edilmektedir (1,2,3,5,6,7,17,18).

Kil minerallerinin yapısı oldukça karmaşık hidratlanmış alüminyum silikat kristalleridir ($Al_x Si_y O_w(OH)$). Kristaller yapılarına göre üç ana gruba ayrılabilir ve bu gruplarda içerilen killerin kabaca aynı fiziksel özelliklerini göstereceği söylenebilir. Killerin diğer zemin minerallerine oranla çok farklı özellikler göstermeleri büyük ölçüde danelerin çok küçük olmalarından kaynaklanmaktadır. Bir mikrondan küçük kristallerde kenarlardaki molekül sayısına oranla fazla olduğundan kum ve silt danelerinin hakim yer çekiminin aksine, yüzey kuvvetleri önem kazanır. Ancak danelerin küçük olması her mineralin kil özelliklerini göstereceği anlama gelmez. Dolayısıyla fiziksel özelliklerde kil için görülen 2 mikronluk üst limit tanımlama için konulmuş olup, muhakkak kil minerallerinin varlığını belirtmeyebilir (1,2,3,5,9).

Kil minerallerinin oluşmasını birbirinden çok farklı iki doğal ortam sağlar. Birinci ortam yüzeye yakın, ayrışma ve yıpranmanın etkin olduğu bölgedir. Burada atmosfer basıncı ve sıcaklıkları sürdürdüğünden su genellikle sıvı fazdadır. Bundan çok farklı ikinci ortam ise, derinlerde hidrotermal koşulların oluşturduğu durumdur. Su büyük basınç altında ve buhar olarak bulunmaktadır. Birinci ortamda kilin oluşumu çözeltilerden kristalleşme, kayaçtaki silikat minerallerinin ayrışması, iyon değişimi ve yeniden katılma mekanizmaları ile tamamlanır. Hidrotermal ortamda kil oluşumu yukarıdaki koşullara oranla daha azdır (1,2,5,6).

Kil mineralleri, bazen filossilikat olarak tanımlanan tabakalı sekonder silikat grubundandır. Ancak serpantin, pirofilit, talk, mika ve klorit gibi mineraller de yeterince küçük daneler halinde bulunurlarsa kil olarak kabul edilebilmektedir. Değişik kil mineralleri arasındaki farklılık kristal yapısındaki izomorf yer değiştirme tipi ve miktarından kaynaklanmaktadır. İzomorf yer değiştirme; kristal yapısında herhangi bir değişiklik olmadan içindeki iyonların eşit veya farklı değerlikli başka iyonlarla yer değiştirmesi olarak bilinmektedir.

Kil minerallerinin yapısında iki temel yapı bloku vardır. Silis tetrahedronunda bir silisyum iyonu dört oksijen atomuyla birleşmiştir. İkinci elamanda aliminyum veya magnezyum iyonu altı hidroksil iyonuyla bağlı olup sekiz yüzlü oktahedron oluşturmuştur. Aliminyum oktahedronlarının oluşturduğu tabakalara gibsit, magnezyum oktahedronların oluşturduğu tabakalara ise drusit denir. Tetrahedronların oluşturduğu tabakaların kalınlığı 4.63 angstrom, oktahedronların ise 5.05 angstrom olarak ölçülmüştür.

Kil minerallerinin oluşumunda üç etken bulunmaktadır. Bunlar;

1. Tabaka kalınlığı
2. Tabakanın iyonik içeriği
3. Tabakaların üst üste diziliş düzeni

Tablo.2.1. 'de verilen sınıflandırma üçüncü özelliğe göre yapılmış olan sınıflandırma ile killerin karmaşık gruplarını basit olarak vermektedir (1,2,5,6).

Yerkabuğunda en çok karşılaşılan kil mineralleri 1:1 tipinden kaolinit ve halloysit; 2:1 tipinden montmorilyonit, illit ve vermikullitlerdir (Şekil 2.1). Farklılık mineral yapısındaki iyon türü ve aradaki su moleküllerinden meydana gelmektedir (1,2,5,6).

Tablo 2.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması (Önalp, 1983)

TİP	GRUP	ALT GRUP	ÖRNEK
1:1	Kaolinit - Serpantin	Kaolinitler, Serpantinler	Kaolin, Halloysit Antigorit, Lizardit
2:1	Pirofilit-Talk Montmorilyonit-Saponit	Prifolitler, Talkler Montmorilyonitler	Profilit, Baydellit Montromilyonit, Saponit
2:1	Vermikulit Mika	Di-oktahedral vermikulit Tri-oktahedral vermikulit Di-oktahedral mika Tri-oktahedral mika	Muskovit, Paragonit Biyotit
2:1:1	Klorit	Di-oktahedral Di-tri-oktahedral Tri-oktahedral	Donbasit Sudoit

Montmorilyonit türünden bentonit ticari adıyla bilinen, çok ince volkanik kökenli kil % 500'e kadar su alabilmekte ve bu özellikleri nedeniyle sondaj çamuru olarak ve zeminlerin suya geçirimsiz hale getirilmesi için kullanılır. Mika grubunun en çok görülen türü illittir. Yapısı montromilyonitin aynı olmakla birlikte yapı blokları arasına giren potasyum iyonları bağın bir miktar kuvvet kazanmasını sağladığından su moleküllerinin araya girmesi bir ölçüde önlenmiş olmaktadır. Bazı kil minerallerinin özellikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir (1,2,5,9,17,18).

2.2. Killerin Oluşumu

Killerin oluşumunda ortam koşulları önemli rol oynamaktadır. Aynı mineralin gölde veya denizde çökmesi sonucu oluşan iki kilin fiziksel özellikleri çok farklı olabilmektedir. Aynı kil farklı gerilmeler altında farklı davranışlar göstermektedir.

Tablo 2.2. Bazı Kil Minerallerinin Özellikleri (Önalp 1983)

	MONTMORİLLONİT	İLLİT	KAOLİNİT	KLORİT
Dane Büyüklüğü	10 A - 1 μ	0.1 μ - 2 μ	0.1 μ - 5 μ	5 μ
Dane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	6 köşeli pul	pul
Dane Çapı	10 A	30 A	0.05 - 0.2	
Tipik Formülü	$Si_8Al_4O_{20}(OH)_4 nH_2O$	$Si_8Fe_4O_{20}(OH)_4$	$Si_4Al_2O_{10}(OH)_8$	$(SiAl)_8Mg_6O_{10}$
Özgül Yüzeyi m ² /g	50 - 800	65 - 100	10 - 20	5 - 50
Likit Limit (%)	110 - 710	60 - 120	29 - 70	44 - 47
Plastisite İndisi	51 - 100 ^{***}	34 - 60	26 - 38	8 - 12
Şişme-Büzülme	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Özgül ağırlık Kn/m ³	23.5 - 27	26 - 30	26 - 28	26 - 28

Yerinde oluşan (rezidüel) killer tropik iklim koşullarında özellikle kor kayaçların (mağmanın) ayrışması ürünüdür. Ilıman iklimlerde rezidüel killer daha çok kil kökenli kayaçların ayrışmasıyla meydana gelir. Genç vadi yamaçlarındaki sağlam kayaçların ayrışması sert killeri oluşturmaktadır. Ancak bir heyelan sonucunda su ile karıştığında hızla yumuşama meydana gelmektedir. Volkanik küllerin su alarak ayrışması ve kuruması sonucu oluşan tüfler aşırı plastik killerin kökenidir.

Taşandıktan sonra tatlı yada tuzlu su ortamında çökerek oluşan killere tortul adı verilir. Bu tür killer suda ve çoğunlukla durgun ortamda biriktiğinden oldukça yumuşaktır. Ancak jeolojik olaylar sonucu üzerlerine yük geldiğinde sıkışarak sertleşmektedirler. Bu tür killere aşırı konsolide veya önceden yüklenmiş denir ve içindeki kil minerali oranının fazlalığı oranında yapısında çatlaklar bulunur. İçinde silt bulunan konsolide killerde çatlaklar çok daha azdır. Bu tür için tipik örnek varvli kildir.

Killer buzul ortamlarında da oluşabilirler. Buzul çağı Avrupa, Asya, Kuzey Amerika'nın önemli bir bölümünde zeminlerin oluşmasında çok etkili olmuştur. Bunların en tipik örneği çakıl kilidir. Till buzulun erimeden biriktirdiği kil türüdür. Türkiye'de buzulların etkin olduğu bölgeler çok kısıtlı olduğundan buzul kökenli killer önem taşımamaktadırlar.

Yamaçlarda heyelan ve akma sonucu topukta biriken malzemenin killeşmesi o yörenin jeolojik özelliklerinden farklı depoların oluşmasını sağlamaktadır. Eğer yuvarlanan kitle aşırı şekil değiştirmiş ya da parçalanmışsa bunlara göçme blokları denebilir. Malzeme dağlardan çamur akmasıyla inmişse kilin aşırı yuğrulmuş ve ana kayacın özelliklerini hiç yansıtmadığı görülür. Haliç'te karşılaşılan killer bunun canlı örneğidir. Denizli'de üniversite kampüsünde içinde bulunduğu bölgede killi yamaç molozları bu tür zeminlere örnek verilebilir.

2.3. Kil Minerallerinin Tanımlanması

Kristal yapıları gözle veya normal laboratuvar mikroskopları ile görülemeyen kil minerallerinin tanımlanması X- ışınları, diferansiyel termik analiz, elektron saçımı, elektron mikroskobu ve kızılötesi ışınları emme yöntemlerinden biriyle yapılabilir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında X- ışınları ve diferansiyel termik analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (1,2,5,6,17,18).

Zemin ve benzeri malzemeler ısıtıldığında içindeki minerallerin özelliklerine bağlı olarak farklı sıcaklıklarda fiziksel ve kimyasal değişimler olmaktadır. Bu reaksiyonlar su kaybetme, kristal oluşumu, faz değişimi ve oksitlenmedir (7,17,18).

Hidratasyon suyu 100-300 °C arasında buharlaştırılabilir. Sıcaklık düştüğünde kil yüzeyine yeniden birikir. Kristal kafesindeki OH iyonu halindeki suyun çıkması endotermik bir reaksiyon olup kil minerallerinin tanımlanmasında önemli bir göstergedir. Kristal kafesindeki suyun çıkması mineral yapısını tümüyle değiştirmektedir.

Diferansiyel termik analizde; zeminin oda sıcaklığından 1100 °C' nin üzerine yaklaşık 10 °C/dak hızla ısıtılması sırasında deney örneğinin gösterdiği tepkime özelliklerinden faydalanarak mineral tanımlanabilmektedir.

Zemindeki ince danelerin minerolojik tanımlanması için en çok kullanılan yöntem X- ışını kırılma deneyidir. Deneyde kristal içinde atomların dizildiği düzlemler arasındaki uzaklıklar

ve X- ışınlarının bu düzlemlerden yansıma şiddeti ölçülür. X- ışınları bir maddeye çarptıklarında çeşitli olaylar belirmektedir. Mineral analizi için kullanılan X- ışını difraktometresinde dalga uzunlukları 0.71-1.54-2.29 Å ayarlanmış ışınlar çok ince öğütülmüş örneğin üzerine yollanır. Kil kristallerinde atomik düzlem aralıkları 1 Å civarında olduğundan ışınlarla uyum sağlandığında düzenli olarak yansıyan ışınlar bir fotoğraf kağıdına yansıyarak yada sayaçta ölçülür. Her kristalin atom yapısı farklı olduğundan emilen ve yansıyan ışın yoğunluğu aynı değildir. Kil minerallerinin tanımlanmasında son derece elverişli olan X- ışınları yönteminde değişik kil minerallerinin tanımlanması için standart kartları kullanılır (1,2,3,7,8).

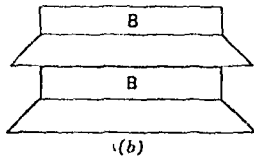
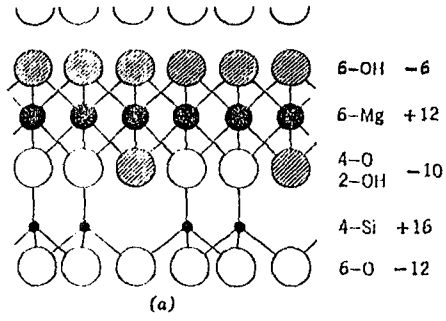
Kimyasal maddelerle boyama yöntemiyle kil mineralleri benzidin, safranin ve malachite yeşili gibi kimyasal maddelerle boyanır ve aldıkları renklerle birbirinden ayırt edilmeğe çalışılır.

Kil mineralleri elektron mikroskopu yardımıyla 20 000'den fazla büyütülerek belirlenebilir. Minerallerin biçimleri, kristal şekilleri ve büyüklükleri mikroskop yardımıyla tesbit edilebilmektedir.

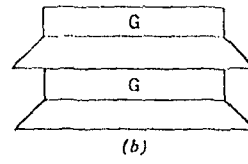
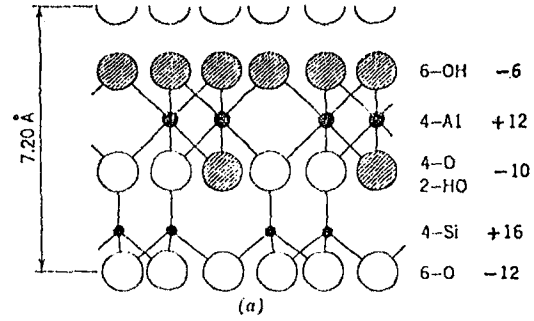
Doğada rastlanılan killer yalnız bir çeşit kil mineralinden ibaret değildir. Birkaç çeşidin ve kolloidal maddelerin karışımından oluşmuştur. İçerlerinde kuvars, feldispat, limonit, organik maddeler vs. çok zaman görülür.

Denizli'de agrega amacıyla malzeme alınan alüvyon alanlardan alınan örnekler, diferansiyel termik analiz ve X ışınları kırınım analiz yöntemleri ile incelenerek kil boyutlu malzemelerin mineral türleri belirlenmiştir. Daha çok illit, klorit, muskovit, dolomit ve antigorite rastlanmıştır (31).

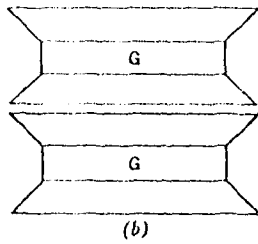
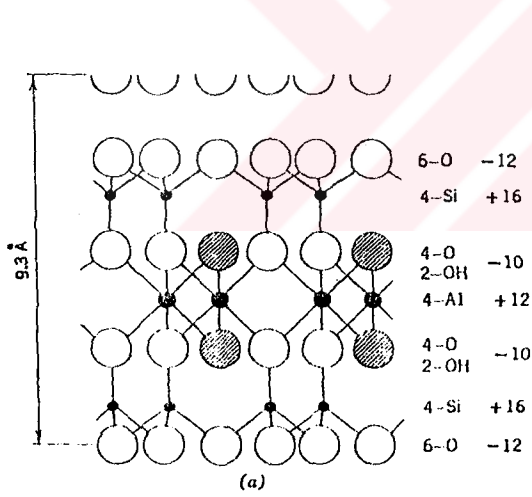
Kaklık çimento fabrikası kil depolarından alınan örnekler üzerinde yapılan XRD analizinde kalsit, dolomit, klorit ve feldispat grubu mineraller tesbit edilmiştir (32).



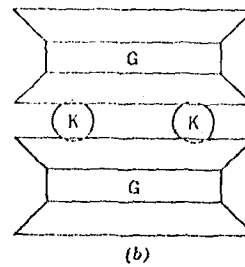
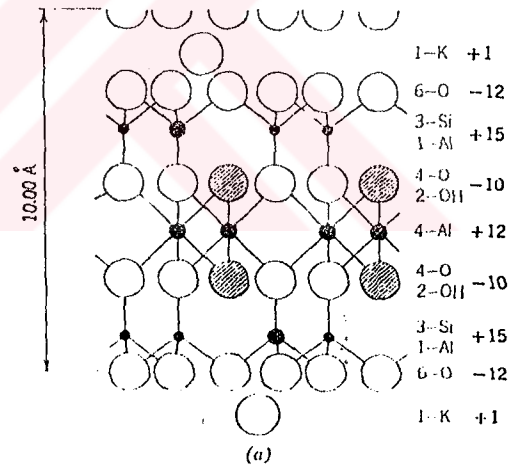
Serpantin



Kaolinit



Profilit



Muskovit

Şekil 2.1. Bazı Kil Minerallerinin Kristal Yapısı (a) Atomik yapı, (b) Sembolik yapı (Lambe 1979)

BÖLÜM 3

KİLLİ ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Zeminler; kayaların ufalanmasıyla dağılmasıyla oluşan sulp danelerin meydana getirdiği bağılı olmayan tüm malzemelerin karışımıdır. Bu karışımında cisimler katı, sıvı, gaz hallerinde bulunurlar. Bu hallerin arasındaki oran diğer etkenler yanında zeminin özelliğini değiştirebilir. Killi bir zemin; içinde fazla su bulundurduğu için sıvı durumda iken su kaybetme sonucu katıya dönüşür. Gevşek durumda iken suyu geçiren zeminler sıkıştırıldığında bir başka değişle içerisindeki boşluk oranı azaldığında pratik olarak tamamen geçirimsiz hale gelebilir (1,2,5).

Kil zeminler suyla karşılaştıklarında büzülme, çamurlaşma gibi kıvamında önemli değişiklik gösterirler. Kil zeminlerde daneler çok küçük olduğundan kılcallık ve bunun da ötesinde moleküler kuvvetler etkindir. Kil zeminlerin bu davranışı kohezyon denilen özelliğini oluşturur.

Kil zeminlerin tanımlanmasında şu kriterler göz önüne alınır.

- Plastiklik (kıvam)
- Örselenmemiş durumda kıvam
- Yoğrulma sonucu kıvamda değişiklik
- Doğal su muhtevası
- Boşluk sıyunun kimyasal özellikleri

Kil zeminin arazide tanımlanmasında; zemin örneği su ile karıştırılarak plastik hale getirilir. Plastik kil avuç içinde sıkıştırılınca deforme olur. Ancak rengi değişmez. Zemin örneği elle yoğrulurarak ince çubuk haline getirilebilir. Çubuğun inceliği zeminin kil içeriğine ve kil mineralojisine bağlıdır. Zemin örneği parmaklara bulaştığında yapışkan ve yağlı bir his verir ve havada kurutulduğu zaman dayanımı yüksektir (1,2,3,5,7,12,14).

3.1. Hacim - Ağırlık Bağlılıkları

Bir zemin örneğinde dane, su ve hava bulunur. Zemin içerisindeki su, hava, katı hacimlerinin ağırlık ve hacimlerinin hesabı için blok diyagram kullanılabilir. Blok diyagram kullanılarak zeminin tüm fiziksel özellikleri hesaplanabilir.

Blok diyagramda katı olarak gösterilen bölüm zemin iskeletini oluşturan danelerin toplam net ağırlık ve hacmidir. Önceki bölümde anlatılan zeminlerin minerolojik yapılarının farklı olmalarından dolayı her zeminin dane özellikleri farklı olacaktır.

Dane birim hacim ağırlığı (γ_s); danelerin oluştuğu minerallerin 1 cm³ hacmine karşılık ağırlığına denir. Killerin dane birim hacim ağırlıkları 2.7 g/cm³ (27 kN/m³) civarındadır.

Birim hacim ağırlık (γ); zeminin birim hacmine karşılık gelen ağırlıktır. Birim hacim ağırlığı danelerin dizilişi ve büyüklük dağılımı, su muhtevası ve içerisindeki organik maddelere bağlı olarak değişiklik gösterirler. Özgül ağırlıktan küçük, su birim hacim ağırlığından büyüktür. Tablo 3.1' de kil minerallerinin tipik birim hacim ağırlıkları verilmektedir.

Tablo 3.1. Kil minerallerinin tipik birim hacim ağırlıkları

Kil	B.H.A.(KN/m ³)
İllit kil	26 - 27
Kaolinit	26 - 26.20
Bentonit	21.3 - 21.80
Cips	23 - 24
Mika	27 - 23.1

Doğal birim hacim ağırlığı (γ_n); zeminin arazide örselenmemiş durumdaki değeridir.

Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k); zemin içindeki suyu hesaba katmadan hesaplanan değerdir.

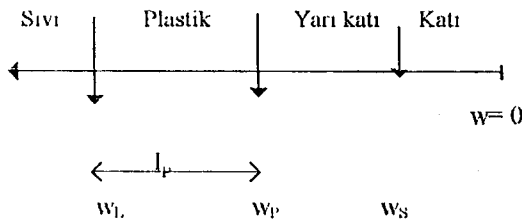
Killi zeminlerde örselenmemiş numune alınması mümkün olduğu için laboratuvarında hacim - ağırlık bağımları kolayca bulunabilir (1,2,5,7,11,12,13,14).

3.2. Killi Zeminlerin Su İle İlişkileri - Kıvam

Mekanikte plastisite, malzemenin aldığı gerilme ile kırılmadan, hacim değişikliği (plastik deformasyon) göstermeden ve yaptığı deformasyonun gerilmenin kaldırılmasından sonra geriye gelmeme özelliği olarak tarif edilir. Genel anlamda zeminlerin hacim değişimine uğramadan ve kırılıp dağılmadan geriye dönmeyen deformasyona uğrama özelliğidir. Zeminlerde plastisite sadece ince daneli zeminlerin gösterdiği bir özelliktir. Kil harici diğer zeminler plastik kıvama gelmezler. Basit deyişle çamur sadece killi zeminde oluşur (1).

Çok miktarda su ile karıştırılarak sıvı hale getirilmiş kilin yavaşça kurutulması halinde şekil 3.1. de gösterilen hal değişimi görülecektir. Uygulanan kesme gerilmesi her noktada deformasyon oluşturur. Yeterince kurumadan sonra karışım plastik duruma dönüşür. Plastiklik, deformasyonun (τ_0) ilk direncinden sonra yine sürekli olmasıyla ifade edilebilir. Yarı katılık çamurun şekil değiştirme sırasında yüzeyinde çatlaklar belirmesiyle ayırdedilebilir.

Katı hal ise farkedilecek değere yükselmiş τ_0 yenilme gerilmesine kadar deformasyon göstermeyen karışımın birden kırılma yada kopmasıyla tanınabilir.



Şekil 3.1. Kil - su ilişkisi

Su - kil karışımının kıvamındaki değişiklikler Atterberg tarafından deneysel olarak tanımlenmiştir. 2 mikrondan küçük kuvars tanelerinin plastiklik göstermediğini buna rağmen

aynı boyuttaki kil tanelerinin boyutunun küçülmesiyle artan plastiklik gösterdiği bulunarak Arterberg (kıvam) limitleri tarif edilmiştir. Yüzey ve kenarlarında elektriksel yük taşıyan kil daneleri bir mıknatıs gibi pozitif ve negatif yüklü su molekülleri ile sıkı bir ilişkiye girmektedir. Suyun azlığı ve aşırı fazlalığı kıvamın katıdan sıvıya değişimine neden olmaktadır.

Likit limit (w_l) sıvı halde bulunan karışımın plastik duruma dönüştüğü su muhtevasıdır. Zeminin kendi ağırlığı ile aktığı minimum su muhtevası olan likit limit laboratuvarında standart alette örnekte açılan oyuguğun 25 vuruşta kapanması için gereken su muhtevasıdır. Likit limit düşen koni yöntemiyle de belirlenebilir.

Plastik limit (w_p) zeminin kırılmadan yaklaşık 3 mm çapında, 3 - 4 cm. boyunda bir silindir haline getirilebildiği minimum su muhtevasıdır.

Rötre limiti (w_R) daha fazla su kaybının zeminin hacminde bir azalmaya sebep olmadığı andaki su muhtevasıdır.

Bir zeminin plastik halde bulunduğu su muhtevalarının sınırlarını gösteren bir ölçü (I_p) Plastisite İndisidir. Likit limit ile plastik limitin farkıdır. Plastisite indisine göre plastisite derecesinin belirlenmesi Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Plastisite derecesinin plastisite indisine göre belirlenmesi (Leonards, 1962)

Plastisite İndisi $PI(\%)$	Plastisite Derecesi	Kuru Dayanım
0 -5	Plastik değil	Çok düşük
5 - 15	Az plastik	Düşük
15 -40	Plastik	Orta
> 40	Çok plastik	Yüksek

Killi zeminlerin plastisitesinin arazide belirlenmesinde bazı yardımcı kriterler bulunmaktadır. Bunlar Tablo 3.3' de verilmektedir (1,2,16).

Tablo 3.3. Arazide zeminlerin plastisitesin tanımlama kriterleri (Şekercioğlu 1993)

Tanım	Değerlendirmede yardımcı kriterler
Düşük plastisiteli	Örnek güçlükle çubuk şeklinde yuvarlanabilir. Plastik limit durumundan daha kuru iken yumru yapılamaz.
Orta plastisiteli	Örneğin çubuk şekline getirilmesi kolaydır. Plastik limite kısa sürede erişilir. Çubuk şekline almış örnek plastik limite eriştikten sonra tekrar yuvarlanmaz. Plastik limitten daha kuru konumdaki örnek topağı kırılır.
Yüksek plastisiteli	Plastik limite erişilmesi için örneğin çubuk şekline getirilmesi uzun sürer. Plastik limite erişildikten sonra da çubuk tekrar yuvarlanabilir. Örnek plastik limitten kuru olsa da kırılmadan toprak haline getirilebilir.

Killerin değişen su muhtevalarında hacim değişimlerini gösteren indise kilin aktivitesi (A_c) denir. Aktivite kil boyutundaki tanelerin plastiklik derecesidir. (Şeki! 3.3.)

$$A_c = I_p / \% < 0.002 \text{ mm} \quad 3.1$$

Killer aktivitelere göre aşağıdaki şekilde ayrılabilir.

Aktif	$A_c < 0.75$
Normal	$0.75 < A_c < 1.25$
Düşük Aktiviteli	$A_c < 0.75$

Montmorilyonit kökenli killer aktif, kaolinit killeri ise düşük aktivitelidir. Plastikliği düşük olan kaolin killerinin sıvıdan yarı katı hale dönüşürken az hacim değişikliği göstermesi beklenir. Seramik yapımında kullanılan bu killerin çatlamadan kuruma özelliği göstermesi en önemli özelliğidir. Çeşitli minerallerin aktiviteyi Tablo 3.4' de verilmiştir

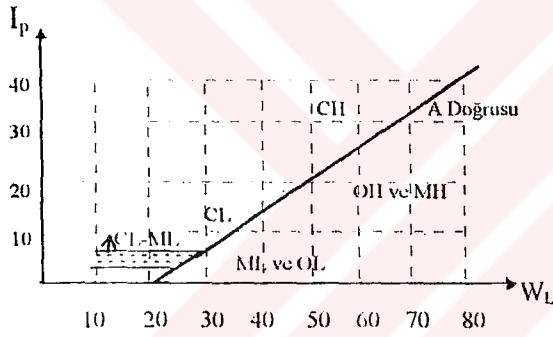
Tablo 3.4 Çeşitli kil minerallerin aktivitesi

Mineral	Aktivite
Na - Montmorillonit	4 - 7
İllit	0.5 - 1.3
Kaolinit	0.3 - 0.5
Mika	0.2

Tablo 3.5 Zeminlerin kıvamlılık indisine göre sınıflandırılması (Şekercioğlu, 1993)

Kıvamlılık Indisi (I_c)	Sınıflama
< 0.05	Çok yumuşak
$0.05 - 0.25$	Yumuşak
$0.25 - 0.75$	Sıkı
$0.75 - 1.00$	Sert
> 1.00	Çok sert

Kıvam limitlerinin uygulamada en faydalı olduğu alan killi zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Casagrande bu amaçla bir çok kilin likit limit ile plastisite indisini bir grafikte toplamıştır. Kil grupları özelliklerine göre belirli bölgelerde toplanmıştır. Aynı zemin kitlesinden alınan örnekler şekil 3.3. de görüldüğü gibi A doğrusuna paralel yer almışlardır.



Şekil 3.3. Plastisite Grafiği

Kıvam limitlerinin farklı zemin özelliklerini yansıtması iki zeminin karşılaştırılması ile belirlenebilir. Aşağıdaki tablo bu amaçla hazırlanmıştır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Kıvam limitlerinin diğer özelliklere etkisi (Önalp 1983)

Karşılaştırılan özellik	İki Zeminin W_L Eşit, Birinin I_p büyük	I_p Aynı, Birinin W_L rtıyor
SIKIŞABİLİRLİK	Eşit	Artar
GEÇİRİMLİLİK	Azalır	Artar
HACİMSEL DEĞİŞME	Azalır	Bilinmiyor
KURU DİRENÇ	Azalır	Azalır

3.3. Kil Zeminlerin Şişme Özellikleri

Suya doygun olmayan kil zeminlerin su emerek hacminin artması veya su emdiği halde hacminin artmasının engellenmesi durumunda basınç artışı oluşturmasına şişme özelliği denir. Bu tür zeminler su içeriği azaldığında da hacim azalmasına (büzülmeye) uğrarlar.

Kil zeminin şişme özelliği bir çok faktöre bağlıdır. Şişme özelliği olmayan bir zemin arazideki şartlar ne olursa olsun şişmeye uğramaz. Şişme özelliğine sahip kil zeminler, başlangıçtaki fiziksel durumuna, daha sonra uğrayacağı gerilme ve su içeriğine bağlı olarak az veya çok şişebilir ve hatta çökme gösterebilir. Kil zeminlerin şişme özellikleri, şişme potansiyeli olarak tanımlanan şişme yüzdesi ve şişme basıncı olarak iki şekilde gözönüne alınır.

Şişme potansiyeli; laboratuvarında belli şartlarda sıkıştırılmış veya bozulmamış zemin numunesinin belirli yük altında, sıfır yanıl deformasyon durumunda suya doygun duruma gelinceye kadar uğradığı düşey şişme miktarının, örneğin ilk kalınlığa oranı olarak tanımlanır. Şişme potansiyeli zeminin içerdiği kil minerali ve kil içeriğine bağlıdır. Seed, Woodward, Lundgren, 1962 şişme potansiyelini aşağıdaki formülle tanımlamışlardır (16).

$$S=3,6 \cdot 10^{-5} \cdot A^{2,44} \cdot C^{3,44}$$

3.4

S: Şişme potansiyeli

A: Aktivite

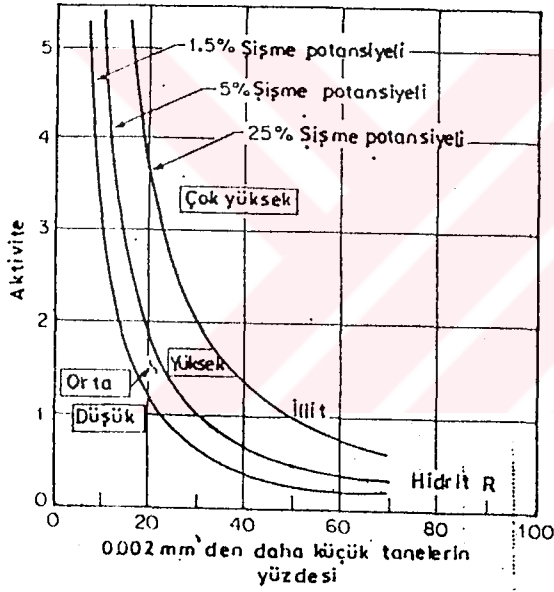
C: Kil yüzdesi (< 0,002 mm)

Çeşitli araştırmacılar şişme potansiyelini, zeminin içerdiği kil tipi ve yüzdesini yansıtan indeks özelliklerine bağlı olarak tanımlamışlardır. (Tablo 3.7)

Tablo 3.7. İndeks özelliklerine göre kil zeminlerin şişme yüzdesive derecesi (Holtz ve Gibbs, 1956)

Kolloid % (>0 .001mm)	Plastisite indisi	Büzülme Limiti	Şişme yüzdesi	Şişme derecesi
> 28	> 35	< 11	> 30	çok yüksek
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	yüksek
13 - 23	13 - 28	10 - 16	10 - 20	orta
< 14	< 10	> 15	< 10	düşük

Seed, Woodward ve Lundgren şişme potansiyelini bir abak ile düzenlemişlerdir (Şekil 3.4).



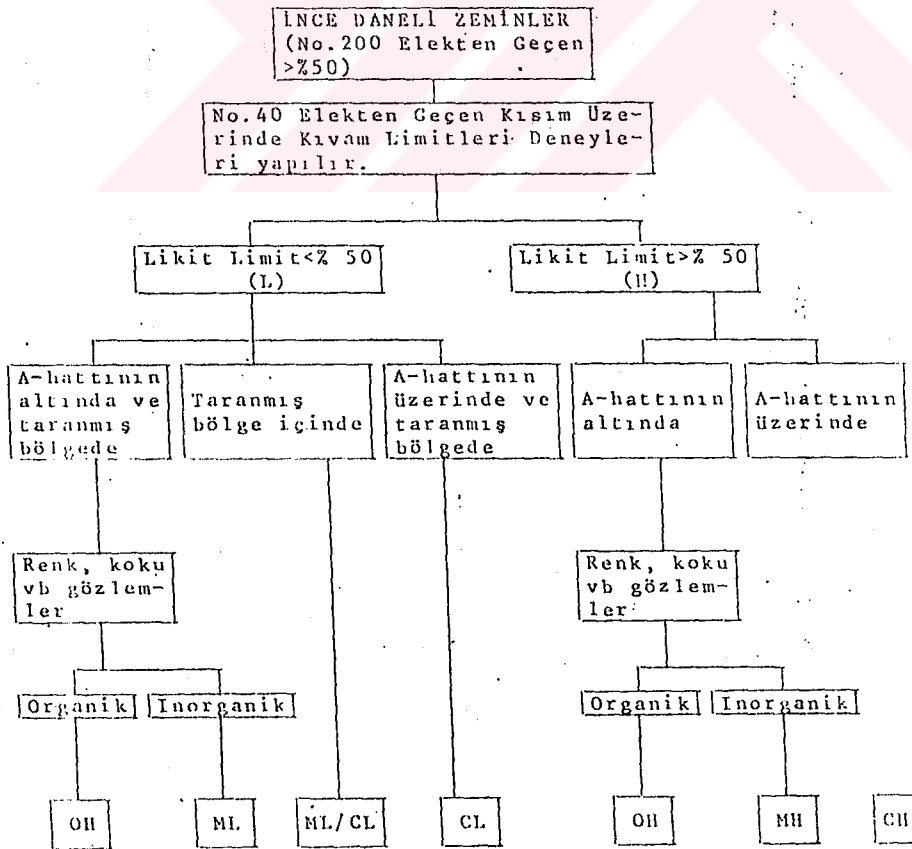
Şekil 3.4 Şişme potansiyeli sınıflama abağı (Seed, Woodward, ve Lundgren, 1962)

3.4. Kil Zeminlerin Sınıflandırılması ve Dane Boyutu

2 mikrondan küçük olanlar kil boyutlu malzeme olarak tanımlanır. Kil elek analizi ile belirlenemez. En ince elekten dahi kil boyutlu malzeme geçer. Bu nedenle dane büyüklüğü ıslak analiz (çökeltme) ile Stokes yasasından yararlanılarak bulunur. Dane boyutu pipet yada hidrometre kullanılarak iki yöntemle yapılabilmektedir.

Kil daneleri çok küçük olduğu için daneler ancak elektron mikroskopunda ve özel yöntemler ile görülebilirler (Bölüm 2). Bunların şekilleri pul ve çubuk olarak ayrılır. Kil danelerinin boyutları ve özgül yüzeyleri mineral yapısına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir.

Zeminler doğada çoğunlukla tek bir mineralden oluşmuş saf şekilde nadiren bulunurlar. Jeolojik olaylar farklı dane boyutlarında diğer zemin türleri ile karışık halde olmalarını sağlar. Bu nedenle zeminlerin ayrımı danelerin büyüklüğü, dane dağılımı, kıvam limitleri gibi bazı davranışlarıyla yapılır. Farklı inşaat mühendisliği uygulamaları için birçok sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. Temel zeminleri için Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması ile kil içeren zeminler iri daneli GC, SC ve ince daneli ML, CL, OL, MH, CH, OH olarak isimlendirilirler (Şekil 3.5). Fakat isimlendirme diğer zemin sınıflarında hiç kil bulunmaz anlamına gelmez. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi sadece elek analizi ve kıvam limitleri özelliklerini dikkate alır. Ancak mühendislik uygulamalarında zeminlerin eksiksiz tanımlanabilmesi için diğer geoteknik özelliklerinin verilmesi gereklidir.



Şekil 3.5. İnce daneli zeminlerin sınıflandırılması

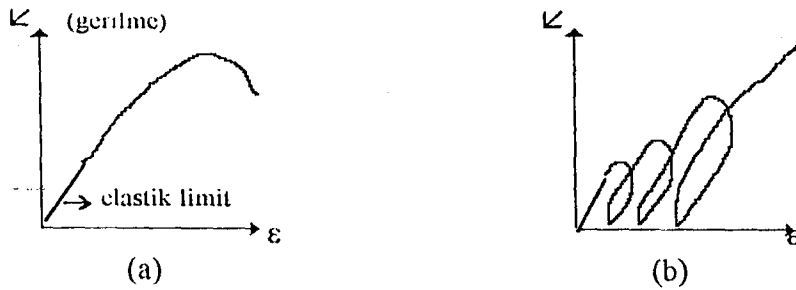
3-5 Kil Zeminlerde Gerilme - Şekil Değişirme Davranışı

3.5.1- Gerilme - Şekil Değişirme İlişkisi:

Her tür malzemede olduğu gibi zeminler de gerilme artışları sonucu şekil değiştirirler. Gerilmelerin belirli limitin üzerine çıkmasıyla kırılma yada akma olayı meydana gelir. Zeminler diğer malzemelerden farklı olarak çekme dayanımları sınırlıdır. Zeminlerde elastik davranışı gerilme - şekil değiştirme eğrisinin alt kısmında (Hooke bölgesi) dahi görebilmek zordur (Şekil 3.6). Buna rağmen belirli kabullerle zemin mekaniği uygulamalarında elastisite teorisi kullanılır ve zeminlerin elastisite modülleri hesaplanır (Tablo 3.7). Her yük boşalmasından sonra geri gelmeyen kalıcı deformasyon Şekil.3.6b'de gösterilmektedir. Zeminin bu davranışı başlıca yedi özelliğiyle açıklanabilir (1).

1. Oluşumu sırasında aldığı gerilmeler
2. Zemin iskelet yapısı
3. Daneler arası kohezyon
4. Danelerin şekli, boyutu, dayanımları
5. Doğal birim hacim ağırlığı
6. Doygunluk derecesi
7. Geçirimlilik

Bu etkenler zemin daneleri arasında kimyasal moloküler bağ olmaması ve ortamda danelerle birlikte su ve havanın bulunması sonucu ile özetlenebilir.



Şekil 3.6 Zeminde genel gerilme - boy değiştirme eğrisi

Zemin üç eksenli gerilme sistemine tabi tutulduğunda bu zemin elamanının denge denklemleri ve süreklilik denklemlerini sağlaması gerekmektedir (1,13).

Tablo.3.7. Drenajsız elastisite modülleri (Özüdoğru,Tan,Aksoy 1988)

Zemin Cinsi	E_u (MN/m ²)
Yumuşak kil	2 - 5
Katı kil	4 - 8
Sert kil	7 - 20
Kumlu kil	30 - 40
Siltli kil	7 - 20

Kil zeminlerde her yükleme kademesinde kılalmanın zamana bağılı olarak önemli artışlar göstermektedir. Yükleme yapıldıktan sonra kısa sürede sıkışma oluşmakta ancak uzun zaman devam etmektedir.

3.5.2- Kil Zeminlerin Sıkışması:

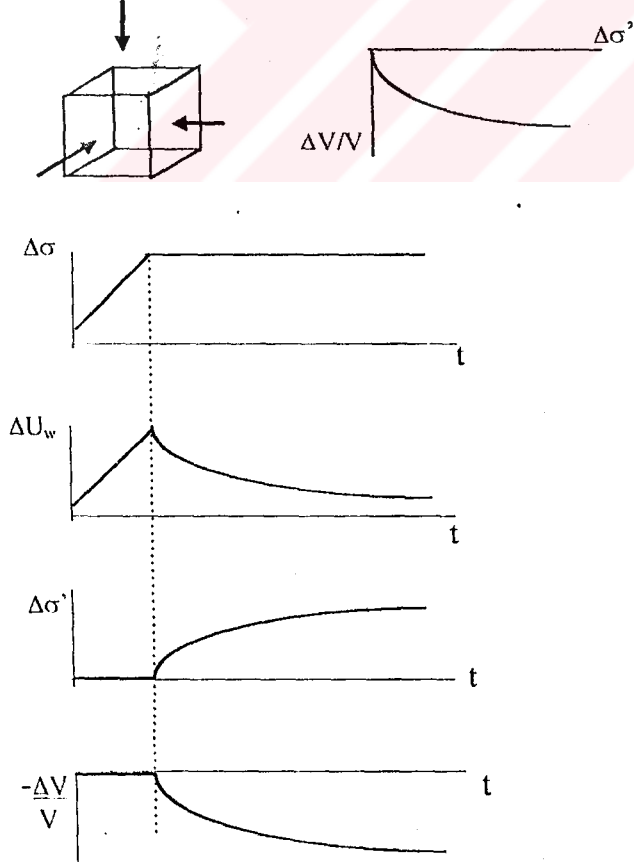
Yüklenen bir zeminin sıkışması, zemin danelerinin sıkışması ve zemin boşluklarındaki hava ve suyun dışarı çıkması sonucu danelerin birbirine yaklaşması ve zeminin toplam hacminin azalması ile meydana gelir.

Su içeren killer önemli sıkışmalar göstermesi nedeniyle problemli zemin olarak nitelendirilmektedir. Yükün kaldırılması kilin yapısının eski haline gelmesini sağlamamaktadır. Zeminde bulunan fazla boşluk suyu basıncının zamana bağılı olarak sönümü olayına konsolidasyon denir. Boşluk oranı aynı olsa bile konsolidasyon kilin yapısında değişim meydana getirdiğinden mekanik özellikleri de değiştirir. Gerilme artışıyla belirli değere yükselen boşluk suyu basıncının zamanla sönümüyle efektif gerilme artmakta ve sıkışma oluşmaktadır. Tam doygun olmayan killerde ani sıkışma havanın sıkışması ve her ortamda sabit hacimle kayma deformasyonları sonucudur. Daha sonra primer (birincil) konsolidasyon oluşur. Killerin permeabilitesinin çok düşük olmasından dolayı yüklenen zeminden suyun dışarı çıkması yavaş olacaktır ve buna bağılı olarak zeminin sıkışması da zamana bağılı olarak gelişecektir (Şekil 3.7). Boşluk suyu basıncının sönümünden sonra toplam gerilme değişmediği halde sıkışmanın sürdüğü izlenecektir. Sıkışmanın sürmesi

zemin iskeletinin gerilme altında özelliğini değiştirmesinin bir sonucu olup sekonder (ikincil) konsolidasyon olarak adlandırılır.

Terzaghi sıkışmanın bir boyutta olduğunu varsayarak bir boyutlu konsolidasyon teorisini tanımlamıştır. Bir kil tabakasının kalınlığı yüklenen alana oranla çok küçükse teori aşağıdaki kabullerle geçerlidir.

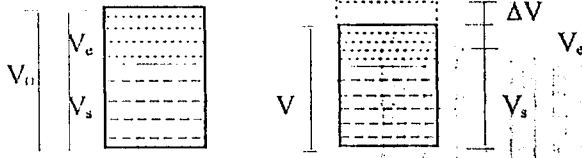
1. Zemin homojendir.
2. Boşluklar sıkışmaz sıvıyla doludur.
3. Danelerin sıkışabilirliği sıfırdır.
4. Darcy yasası her durumda geçerlidir.
5. Su hareketi sadece düşey yönde oluşur. (Yatay doğrultuda engellenmiştir.)
6. Sıkışabilirlik ve geçirgenlik katsayıları sabit olup, gerilmeye bağlı olarak değişmezler.
7. Boşluk oranı efektif gerilmenin fonksiyonu olup, zamanla değişmez.
8. Konsolidasyon sonucu oluşan sıkışmalar kilin kalınlığına oranla ihmal edilebilir düzeydedir.



Şekil 3.7. Zamanın boşluk suyu basıncı ve sıkışmaya etkisi (Önalp 1983)

Bir boyutlu konsolidasyon teorisi aşağıdaki formülle ifade edilebilir (şekil 3.8).

$$\Delta V/V_0 = \Delta H/H_0 = \Delta e/(1+e) \quad 3.6$$



şekil 3.8. Sıkışmanın blok diyagramda gosterilmesi

Kil zeminlerde sıkışma bağıntıları konsolidasyon (ödometre) deneyi sonuçlarından elde edilmektedir (şekil 3.9). Sıkışma katsayısı (a_v), birim basınç artmasında, boşluk oranındaki azalmadır.

$$a_v = \Delta e / \Delta p \quad 3.7$$

Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), basıncın birim artmasına tekabül eden, birim hacimdeki azalma olarak tanımlanmaktadır.

$$m_v = a_v / (1+e) \quad 3.8$$

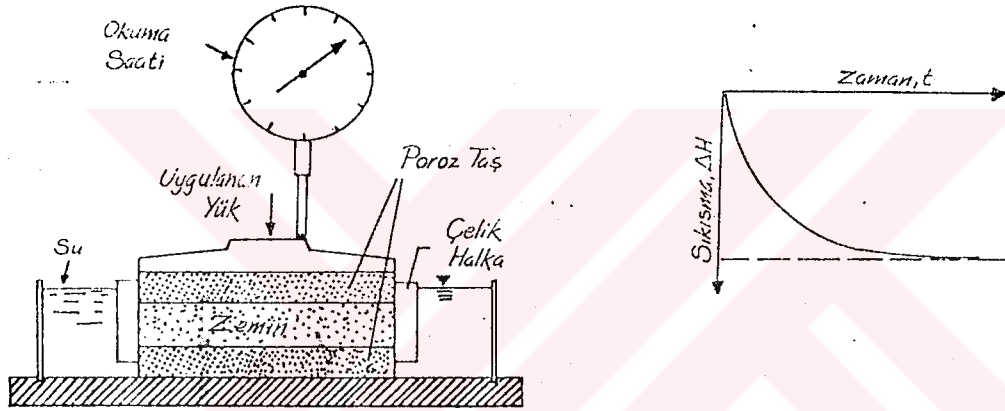
Konsolidasyon deneyi sonucu bulunan ve yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak "H" sıkışabilir tabaka kalınlığı, " Δp " yükleme ile oluşan basınç artmasını gösterirse konsolidasyon oturması 3. 9 bağıntısı ile bulunabilir.

$$\Delta H = m_v \cdot \Delta p \cdot H \quad 3.9$$

Sıkışma indisi (C_c), bakir sıkışma eğrisinin eğimi olarak tanımlanır. Normal konsolide kilerde 3.10 bağıntısı vardır. Sıkışma indisi ancak önyükleme basıncı değerinin üstündeki basınç değerleri için geçerli olmaktadır (1,2,5,7,12,13,14,23,33).

$$C_c = \Delta e / \log((p + \Delta p) / p) \quad 3.10$$

Değişik tür ve kıvamdaki zeminlerin sıkışabilirliği hakkında yapılmış olan istatistik çalışmalarından faydalanılabilir. Ancak su muhtevası ve kıvam limitlerinin kilin yapısı hakkında çok fazla bilgi vermediği düşünülerek bu bağıntıların kullanılması sadece yaklaşım olarak uygundur (Tablo 3.8)(1).



Şekil 3.9. Ödometre ve gözlenen sıkışma davranışı

Tablo 3.8. Sıkışma indisi bağıntıları (Ansal ve Güneş 1987)

Önerilen bağıntılar.	Zemin cinsleri	Kaynak
$C_c = 1.15 (e_0 - 0.35)$	Bütün killer	Nishida (1956)
$C_c = 0.30 (e_0 - 0.27)$	Siltli killer	Hough (1957)
$C_c = 0.75 (e_0 - 0.50)$	Düşük plastisiteli zeminler	Sowers (1970)
$C_c = 0.40 (e_0 - 0.25)$	Bütün doğal zeminler	Azzous, Krizek (1974)
$C_c = 0.01 (W_n - 5)$	Bütün doğal zeminler	Azzous, Krizek (1974)
$C_c = 0.07 (W_L - 7)$	Yoğrulmuş killer	Skempton (1944)
$C_c = 0.009 (W_L - 10)$	Normal konsolide killer	Terzaghi ve Peck (1967)
$C_c = 0.006 (W_L - 9)$	Bütün doğal zeminler	Azzous, Krizek (1974)

Fiziksel ve kimyasal özellikleri aynı olan iki kilin çok farklı sıkışabilirlik gösterdikleri bilinmektedir. Bu farklılık killerin oluşumundan sonra içinde buldukları jeolojik koşullardan kaynaklanmaktadır.

Killer konsolidasyon durumlarına göre üçe ayrılırlar.

1. Normal konsolide olmuş killer: Geçmişte şimdiki yükünden daha büyük yüklere maruz kalmamış olup, mevcut yükler altında konsolidasyonunu tamamlamıştır.
2. Aşırı konsolide olmuş killer (önceden yüklenmiş): Geçmişte şimdiki yüklerinden daha büyük yüklere maruz kalmış killerdir.
3. Konsolidasyonu devam eden killer: Şimdiki yükü altında konsolidasyonunu tamamlamamış, konsolidasyonu devam eden killerdir.

Aşırı konsolide olmuş bir kilin ön konsolidasyon basıncı Casagrande (1936) yöntemiyle belirlenebilir. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) killer için önemli bir parametredir. Geçmişte aldığı gerilmenin şu anda aldığı gerilmeye oranı olarak tanımlanır. Aşırı konsolide olmuş killer, normal konsolide olmuş killere göre daha az oturma davranışı gösterirler. Aşırı konsolide olmuş bir kile ait sıkışma eğrisinin yatık olması nedeniyle sıkışma indisi daha küçüktür. Zeminlerin sıkışabilirlik durumu Tablo 3.9. ve 3.10 'da verilmiştir (1).

Tablo 3.9. Zeminlerin sıkışabilirlik özellikleri (Önalp.1983)

Sıkışabilirlik	m_v (cm ² / kg)	Poisson kat.	Zemin türü
Çok yüksek	0.1	0.43 - 0.35	Göl çökeltisi kil ve siltler
Yüksek	0.1 - 0.02	0.35 - 0.30	Kil ve siltler, Rezidüel zeminler
Orta	0.02 - 0.005	0.30 - 0.25	Kil ve siltler
Düşük	0.005 - 0.001	0.30 - 0.20	Aşırı konsolide kil, kumlu çakıllı siltler
Çok düşük	< 0.001	0.25 - 0.18	Kuruma geçirmiş killer, çamurtaşı

Tablo 3.10. Zeminin sıkışma indisleri ve likit limit değerlerine göre sıkışabilirliği (Sowers, 1979)

Tanım	Sıkışma İndisi (C_c)	Likit Limit (%)
Düşük sıkışabilirlik	0 - 0.10	0 - 30
Orta sıkışabilirlik	0.20 - 0.39	31 - 50
Yüksek sıkışabilirlik	>0.40	>51

3.5.3 Kil Zeminlerin Kayma Mukavemeti

Zeminin kayma dayanımı, belirli koşullar (drenaj, yükleme hızı vb.) altında taşıyabileceği maksimum kayma gerilmesidir. Kil zeminlerde kayma parametrelerinin arazide oluşacak koşullar altında geçerli olacak şekilde saptanması zordur. Kil tabakasının suya doygunluk derecesi, ön gerilme durumu ve kayma gerilmelerinin oluşması sırasında geçerli yükleme ve drenaj koşulları zeminin kayma mukavemetini büyük ölçüde etkilemektedir. Kil tabakalarının davranışı incelenirken, tasarım aşamasında bu faktörlerin göz önüne alınması ve kayma mukavemetinin ona göre belirlenmesi gerekmektedir. Temel mühendisliği problemlerinde çoğunlukla suya doygun killi zeminlerin davranışının saptanması gerekli olmaktadır.

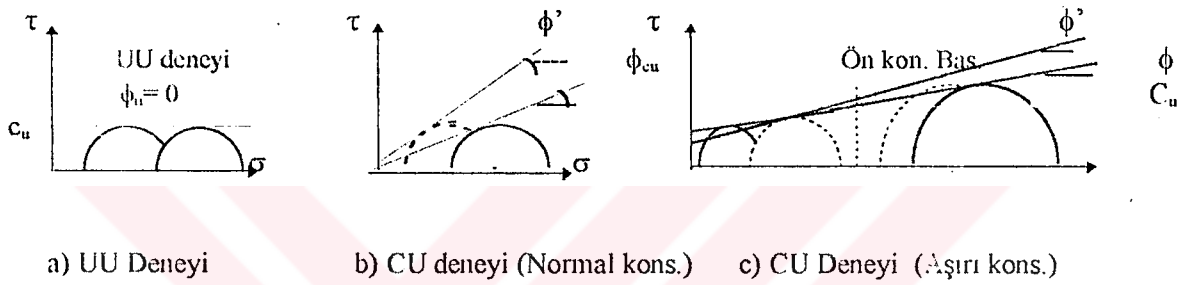
Arazide bir kil tabakası uygulanan dış yük altında konsolidasyona uğramadan ve hızlı olarak yüklenmesi durumundaki kayma mukavemeti, konsolidasyonsuz drenajsız (UU) deneyleri ile bulunabilir. Bu durumda, kayma mukavemeti drenajsız görünen kohezyon (C_u) ile tanımlanmakta ve yanal basınçtan bağımsız olmaktadır.

Arazide kil tabakasının konsolide olduktan sonra, ani yüklemeye (veya drenajsız yüklemeye) tabi olacağı durumlarda, kayma mukavemetinin konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deneylerle saptanması mümkün olmaktadır.

Normal konsolide killerde kayma mukavemeti zarfları sıfır noktasından geçen bir doğru ($c=c'=0$) olurken, aşırı konsolide killerde kayma mukavemeti zarfları (eğimleri) farklı iki doğrusal kısımdan oluşmaktadır. Ön konsolidasyon basıncı değerlerinden büyük basınçlarda kayma mukavemeti zarfları yatayla yaptıkları açı ϕ_{cu} ve ϕ' olan ve uzantıları sıfır noktasından geçen iki doğru halinde olurken ön konsolidasyon basıncından küçük

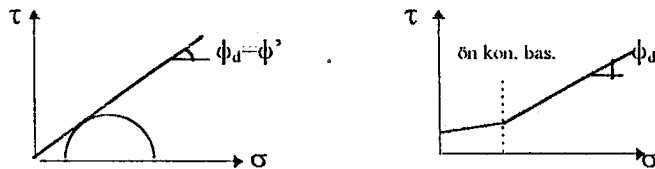
basınçlarda kayma mukavemeti zarflarını eğimi az olan ve düşey eksenini orijinden daha yukarıda kesen ($c > 0$, $c' > 0$) iki doğru ile göstermek gerekmektedir (Şekil 3.10).

Arazideki kil tabakasının, konsolidasyonunu tamamlamasından sonra, drenajlı durumda (çok yavaş ve boşluk suyu basıncı artışlarına meydan vermeden) yüklenmesi söz konusu olan durumlarda ise, kayma mukavemetinin konsolidasyonlu drenajlı (CD) deneylerle saptanması gerekir. Bu koşullarda, normal konsolide ve aşırı konsolide killer için kayma mukavemeti zarfları (Şekil 3.11) de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 3.10. Kayma mukavemeti zarfları

Arazideki kil tabakasının, konsolidasyonunu tamamlamasından sonra, drenajlı durumda (çok yavaş ve boşluk suyu basıncı artışlarına meydan vermeden) yüklenmesi söz konusu olan durumlarda ise, kayma mukavemetinin konsolidasyonlu drenajlı (CD) deneylerle saptanması gerekir. Bu koşullarda, normal konsolide ve aşırı konsolide killer için kayma mukavemeti zarfları (Şekil 3.11) de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 3.11. CD deneylerden elde edilen kayma mukavemeti zarfları

Normal konsolide killerde drenajlı kohezyon, $c_d=0$ olurken, aşırı konsolide killerde ön konsolidasyon basıncında daha düşük basınçlarda $c_d>0$ olmaktadır. Zeminin drenajlı kayma mukavemeti açısı ϕ_d ise, yaklaşık olarak efektif kayma mukavemeti açısı ϕ' ye eşit olmaktadır.

Suya doygun olmayan killerin kayma mukavemetinin belirlenmesi mühendislik projelerinde gerekli olmaktadır. Dolgular, su seddeleri, toprak barajlar vb. sıkıştırılmış toprak dolguların suya doygun olmadığı bilinmektedir. Suya doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti zarfi genellikle bütün gerilme seviyeleri için doğrusal olmamaktadır. Uygulamada, arazideki gerilme aralıkları için kayma mukavemeti zarfi yaklaşık doğrularla gösterilerek c ve ϕ değerleri bulunmaktadır. Böyle zeminlerde, kayma mukavemeti aynı zamanda sıkıştırma su muhtevasına bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda arazideki su muhtevası değişimlerinde hazırlanmış bir seri numune üzerinde deney yapmak ve kayma mukavemeti değişimlerini deneysel olarak saptamak gerekmektedir.

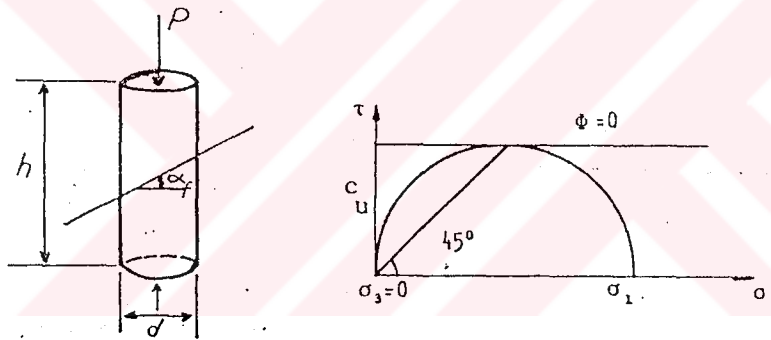
Killerin kayma mukavemetini gerçekçi olarak saptayabilmek için, arazideki başlangıç koşullarını (suya doygunluk derecesi, konsolidasyon basıncı, normal ve aşırı konsolide olması, vb.) ve arazi yüklenmesi sırasında geçerli olacak yükleme hızlarını ve drenaj koşullarını çok iyi olarak değerlendirmek ve onlarla uyumlu deney yöntemlerini kullanmak gerekmektedir. Arazide hızlı yüklenecek killer ile ilgili problemlerde (kazılar, dolgular, temellerin taşıma gücü) genellikle drenajsız kayma mukavemeti parametrelerinin kullanıldığı toplam gerilme analizleri uygulanırken, yavaş yüklemeli veya uzun süreli stabilitenin incelenmesi gereken durumlarda drenajlı (efektif) kayma mukavemeti parametrelerinin kullanıldığı analizlere başvurulmaktadır (1,2,3,12,13,14).

3.5.4 Kil zeminlerin kayma mukavemetinin belirlenmesi:

Temel zemini görevi yapacak zeminin seçilen kırılma kriterine göre kayma direnci tarifinin yapılabilmesi kayma direnci açısı (ϕ) ve kohezyon (C), bunu sağlayacak gerilmelerle boy kısılması bağıntısı ve kesme sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarının bilinmesine bağlıdır. Killi zeminlerin kayma parametreleri laboratuvarında serbest basınç, kanatlı kesici, kesme

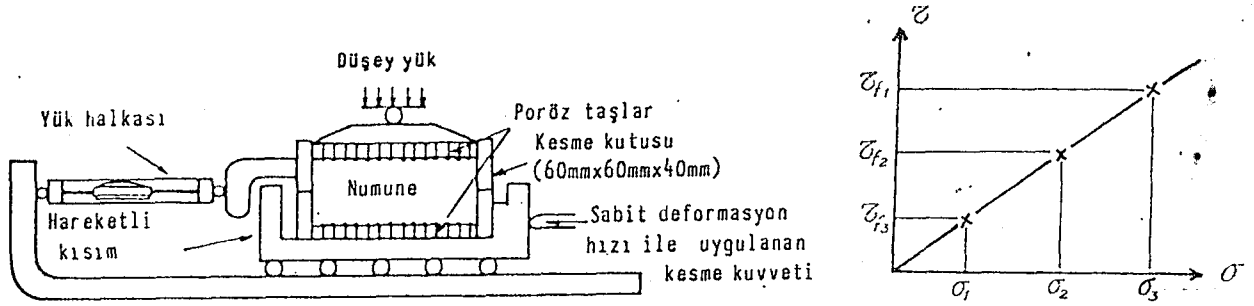
kutusu, burulma ve üç eksenli basınç deneyleri ile bulunur. Bu deneyler aşağıda özet olarak verilmektedir (1,2,5,10,12,13,16).

Serbest Basınç Deneyi: Suya doymun çatlaksız killerde drenajsız kayma direncini (q_u) bulmak amacıyla yapılır (Şekil 3.12). Drenajsız kayma direnci yalnız inşaat sırası ve inşaat sonrası duraylılık analizlerinde kullanılır. UU deneylerinden $\phi=0$ olduğu bilindiğinden ve $c_u = q_u / 2$ alınarak kayma parametreleri belirlenir (Tablo 3.11). Zeminin tabii durumdaki serbest basınç mukavemetinin yoğrulmuş durumdaki serbest basınç mukavemetine oranı yoğrulmaya karşı duyarlılık (sensitivite) olarak tanımlanır. Normal killerde $2 < S_t < 4$ aralığında kalırken, duyarlı killerde $4 < S_t < 8$ arasında değerler almakta, $S_t > 8$ olan killer aşırı duyarlı killer olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.12. Serbest basınç deneyi ve sonuçları

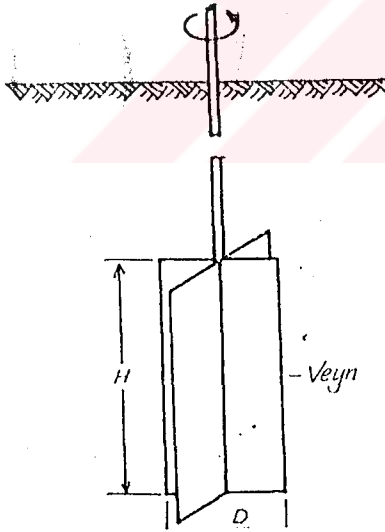
Kesme Kutusu Deneyi: Bu deneyde değişik normal gerilmeler altında konsolide edilen örnekler üzerinde istenen hızda kesme gerilmesi uygulanarak kırılır. σ - τ grafiği çizilerek kohezyon ve içsel sürtünme açısı belirlenir (Şekil 3.13). Deneyin en önemli sakıncası kesme düzleminin kritik düzlemi tam temsil etmeme olasılığıdır. Bu durumda şekil değiştirmeler gerçeğe ilgisi olmayan şekilde oluşur. Drenaj kontrol edilemediğinden deneyin konsolidasyonsuz, yada drenajsız koşullarda yapılması zordur. Tek, çözüm yük uygulandıktan sonra kesmenin hızla yapılmasıdır.



Şekil 3.13. Kesme kutusu deney aleti ve deney sonuçları

Burulma Deneyi: Alt ve üst iki halka istenen düşey gerilmeyle yüklendikten sonra burulma sabit hızla uygulanmakta ve direnç ölçülmektedir. Burulma deneyi kayma direncinin istenen miktarda hareketle ölçüldüğü tek deney olma özelliğini taşımaktadır.

Kanatlı Kesici (Vane) Deneyi: Zemine saplanan dört kanatlı bir fırıladağın uygulanan burulma ile oluşan silindirik bir yüzeyde etkiyen kayma direncinin aşıldığı anda dönme sağlanır. Dönmeyi sağlayan moment yardımıyla kesme direnci (C_u = kohezyon değeri) belirlenir.



Şekil 3.14. Vane deney aleti

Üç Eksenli Basınç Deneyleri: Üç eksenli basınç aletinde hem gerilme hem de drenaj koşullarını çok iyi kontrol edebilme olanağı bulunduğu için pratikte en geçerli deneydir.

- Drenajsız hızlı kesme (UU) deneyi: Zeminlerin drenajsız kayma direncini (q_u ve c_u) diğer bir değişle toplam gerilmelere göre kayma parametrelerini belirlemek amacıyla bozulmamış örnekler üzerinde yapılır. İnşaat sırası ve sonu analizlerde kullanılır.

- Konsolidasyonlu - drenajsız kesme (CU) deneyi: Bu deneyde örnek arazideki gerilme durumuna getirilmek üzere konsolide edilir sonra drenajsız olarak boşluk suyu basınçları da ölçülerek kesilir. Bu parametreler, temelin karşılaşılabileceği bütün yükleme durumlarındaki duraylılık analizlerinde kullanılabilir.

- Konsolidasyonlu-drenajlı kesme (CD) deneyi: Bu deneyde de örnek önce arazideki gerilme durumuna getirilmek üzere konsolide edilir. Sonra drenajlı olarak kesilir. Kesme, boşluk suyu basınçlarının sönmülenebileceği kadar düşük hızda yapılır. Deney süresi uzundur. Bulunan kayma parametreleri bütün duraylılık analizlerinde kullanılır.

Táblo 3.11. Kohezyonlu zeminlerin dayanımı (Terzaghi ve Peck 1967)

Tanım	Serbest basınç Dayanımı	
	kg/cm ²	kN/m ²
Çok yumuşak	0 - 0.25	0 - 25
Yumuşak	0.25 - 0.50	25 - 50
Orta	0.50 - 1.00	100 - 150
Katı	1.00 - 1.50	150 - 200
Çok katı	1.50 - 2.00	200 - 250
Sert	> 2.00	> 200

Kayma parametreleri laboratuvar deneylerini azaltmak ve örselenmeden doğan hataları en aza indirmek amacıyla yerinde arazi deneyleri ile de belirlenebilir. Arazi deneylerinin laboratuvar deneylerinden üç üstün yanı vardır.

1. Sondaj ve laboratuvar deney giderlerini azaltmak
2. Zeminin doğal fiziksel ve mekanik koşullarını sağlama zorunluluğunun bulunması
3. Örselenmenin söz konusu olmaması.

Arazi deneyleri; hollanda sondası, statik ve dinamik penetrasyon deneyleri, kanatlı kesici vb. deneyler yardımıyla drenajsız kesme parametreleri ya doğrudan yada dolaylı olarak belirlenebilir. Tablo 3.12’de Standart penetrasyon deneyi ile elde edilen N, Serbest basınç değeri q_u ve kıvam ilişkisi verilmiştir (1,3,4,5,12,13,14).

Tablo 3.12. SPT deneyi N - serbest basınç dayanımı (q_u) - kıvam ilişkisi

SPT (N)	2	4	8	15	30	>30
q_u (kg/cm ²)	0.25	0.50	1	2	4	>4
q_u (kN/m ²)	25	50	10	200	400	>400
Kıvam	Çok yumuşak	yumuşak	orta	katı	çok katı	sert

BÖLÜM 4

KİL ZEMİNLERDE İNCELEME ESASLARI VE TEMEL ZEMİNİ ETÜDLERİ

Günümüzde mühendislik tasarım çalışmalarının önemi yaygın olarak artmakta ve farklı alanlarda yeni tasarım teorileri ve esasları geliştirilmektedir. Bu bölümde kil zeminlerde inceleme esaslarının zemin ve temel mühendisliğine yönelik uygulamaları açıklanmıştır. Zemin ve temel mühendisliğinde önemli bir yeri olan kilin daha önceki bölümlerde belirlenen özellikleri kullanılarak bir inceleme yöntemi önerilmiştir. Kil zeminlerin mühendislik davranışlarının, zemin etüdleryle kazı öncesi belirlenmesi, projelerin daha sağlıklı bir şekilde yapılmasını ve yapının güvenliğini sağlayacaktır (15,21,24,30).

4.1 Kil Zeminlerde İnceleme Esasları

Zemin ve temel mühendisliği incelemelerinde, en iyi tasarımı belirlemek için alternatif çözümleri üretmekte kullanılacak teknik bilgi ve takip edilecek uygun prensipler ve sistematik yöntemler için gerekli kurallar bilinmelidir.

Bieniawski (1992) tarafından kaya mühendisliği için geliştirilen inceleme prensipleri zemin ve temel mühendisliğine de uyarlanabilecektir..

1. Bağımsızlık prensibi: Tasarımın amaçlarını tamamen en iyi şekilde karakterize edebilecek en az bir bağımsız fonksiyonel gerekler olmalıdır.
2. En az belirsizlik prensibi: İyi bir tasarım için jeolojik koşullar en iyi şekilde tanımlanmalı ve tasarımda en az belirsizlik göstermelidir.
3. Basitlik prensibi: Her bir fonksiyonel gereğin yerini tutacak en az sayıda tasarım bileşenleri oluşturarak tasarımın çözümünde ki karmaşıklığı en aza indirilmelidir.

4. Mühendislik uygulama prensibi: En iyi tasarım yüksek teknolojinin mühendislik araştırmalarına yönlendirildiği ve uygulandığı tasarımıdır.
5. Optimizasyon prensibi: Optimizasyon teorisine dayanarak alternatif tasarımları değerlendiren en uygun tasarımı geliştirmektedir.
6. İnşa edilebilme prensibi: İyi bir tasarımın, en uygun inşa metodlarıyla, doğru kişilerle çalışılarak etkin bir şekilde inşa edilmesidir.

Tasarım esasları tasarım teorisinin uygulanmasında kullanılacak basamakların ve tekniklerin birikimidir. Esaslar belirlenen hedefleri en iyi şekilde tanımlamalı ve değerlendirmelidir. Ayrıca tasarımı oluşturmak için kullanılabilecek tasarım prensiplerini de içermelidir. Bieniawski (1988) tarafından önerilen tasarım esaslarını zemin ve temel mühendisliğinde kullanmak mümkündür. Bu esaslar;

1. Mevcut problemin tanımlanması,
2. Amaçların ve bunları destekleyecek gerekli faktörlerin, sınırlamaların, tasarım teorisini prensipleri dikkate alınarak belirlenmesi ve problemin kurulması,
3. Problemin özelliklerini belirlemek ve tasarım analizlerine bir veri tabanı hazırlamak için araştırma, inceleme ve testler yoluyla bilgi toplanması,
4. Problemin doğasına bağlı olarak, önerilen çözüm metodlarından, mevcut hipotezlerden veya yeni yaklaşımlarla problemin formülize edilmesi,
5. Tek bir bölüm tasarımının büyük bir problem olarak tanımlanması ve küçük parçalara bölünerek daha kolay kontrol edilebilir, bileşkeler haline getirilmesi ve analitik gözlem ve ampirik yaklaşımlar kullanılarak çözüm bileşkelerinin analiz edilmesi
6. Düşünölmüş bütün opsiyonları ve analiz edilmiş çözüm bileşkelerini dikkate alarak ayrıntılı alternatif çözümler yaratmak için sentezlerin yapılması,
7. Orjinal fonksiyonel gereksinimler, tasarım konuları, ayrıntılar, tahminler ve sınırlamalar dikkate alınarak çözümlerin değerlendirilmesi ve test edilmesi,
8. Optimizasyon, kaynaklar ve gereksinimler arasında mantıklı bir uzlaşma sağlamaya yönelik çalışmalar,
9. Önerilen tasarımın özellikleri ve yararlı yönleri belirlenerek kapsamlı bir rapor hazırlanması yoluyla tavsiye ve tartışma ortamının oluşturulması (Geoteknik rapor)

10. Tasarım yönteminin son aşaması, eksikliklerin giderilmesi, projenin kurulması ve uygulamaya geçilmesini içerir.

Yukarıda bahsedilen genel esasların zemin mühendisliğine uyarlanması özel geoteknik koşullar; yapı geometrileri, yük koşulları, kilin mühendislik özellikleri, nem ve çevre faktörleri vb. dikkate alınarak uygun temel ve tasarımı yapılmalıdır. Kilerin davranış biçimleri ve bunlardan kaynaklanan mühendislik sorunları daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmasına rağmen zemin etüdlerinde kil zeminler için esas olması açısından bu bölümde de özet olarak verilmiştir (Tablo 4.1),(30).



Tablo 4.1 Killerin özelliklerinin incelenme kriterleri (Gökay, Ünal 1995)

Kilin Tanımı:

Kimyasal bileşimi sulu alüminyum silikat, bazende magnezyum silikat olan, tane boyu 2 mikrondan küçük ve plastik özelliklere sahip doğal malzemedir. Mühendislik açısından kil; ana kimyasal bileşimi sulu alüminyum silikat ve bazı yabancı maddelerden oluşan, plastik ve kohezif özelliğe sahip, kuruduğu zaman büzülen, ıslandığı zaman şişen ve sıkıştığı zaman suyunu dışarı atabilen koloidal dane boyutundaki ince dokulu toprak malzemedir.

Kil ve Kil minerallerinin orijini ve evrimi:

Killerin ana malzemesi: Sedimanter kayalar en önemli malzemedir. Kilin mineralojik ve kimyasal bileşimi, kili oluşturan ana malzemenin bileşimini yansıtır.

Kil minerallerinin oluşumu: Kil minerallerinin oluşumunda iki doğal ortam vardır.

1. Bozunma zonları
2. Hidrotermal hareketlerin olduğu derinlikler

Fiziksel süreç:

Yük azalması
Isıl genişleme ve büzülme
Kristal büyümesi
Organik aktivite
Buhar ve gaz basınçları

Kimyasal süreç:

Karbonatlaşma
Hidroksilleşme
Oksidasyon ve reaksiyon
Serbest medikal etkileşimler
Hidrasyon ve hidroliz

Kil minerallerinin sedimanter çevrim içindeki yeri:

Kil mineralleri aşınma, taşınma ve çökme ortamında her türlü değişikliğe tepki gösterir. Bu tepki daha çok iyon değişimi, ufalanmış minerallerin yeniden yapılanması, yeni kil minerallerinin oluşumu şeklindedir. Kil minerallerinin sedimanter yataklar içerisinde dağılımını etkileyen en önemli süreç tane boyu ayrımıdır.

Killerde çökme sonrası değişimler:

Killerin çökme sırasındaki su içeriği likit değerlerini aşabilir. Artan yükün etkisi ile gözeneklilik oranı azalır. Kuru ortamda tıkrızlaşma, sulu ortamda konsolidasyon oluşur. Konsolidasyonla birlikte killerde, yapısal, kimyasal, fiziksel, mineralojik değişiklikler olur.

Konsolidasyon kuramı:

Sulu ortamda gözeneklilik hacminin azalmasıdır. Doğal olarak çok yavaş bir süreçtir, gözenek hacmi, tane boyu dağılımı, tane şekli ve tanelerin kümelenme geometrisine bağlıdır.

Diğer özellikler:

Killerin oluşturduğu bölge, erozyon geçmişi, organik madde içeriği, çökme ortamı, çökme sonrası geçirdiği süreç, dane yapısı, asidlik derecesi vb.

Killerin sınıflandırılması:**Jeolojik sınıflama:**

1. Yerli killer: Fiziksel ve kimyasal bozunum sonucu oluştururlar.
2. Taşınmış killer: Yerçekimi, buzul, su ve rüzgarın etkisiyle oluşurlar.

Mühendislik sınıflaması:

1. Fiziksel özelliklerine
2. Nem içeriğine bağlı davranış biçimi sınıflaması

Tablo 4.1 Killerin özelliklerinin incelenmesi kriterleri (Devam)

Killerde nem etkileşimi:

Toplam su içeriği ve su tutma enerjisi killerin tüm özelliklerini etkileyen en önemli iki faktördür. Su içeriği; kıvamlilik, dayanım ve yoğunluk gibi temel özellikleri etkiler. Su tutma enerjisi; hacimsel değişme, konsolidasyon ve hidrolik iletkenlik gibi temel özellikleri etkiler. Nem hareketi içsel eğimden kaynaklanan kuvvetlerden oluşur. İçsel eğim, sıcaklık değişmesi, doygunluğunun artması ve kimyasal bileşimindeki değişimlerden kaynaklanır. Nem hareketi sonucu hacimsel değişmeler, konsolidasyon meydana gelir.

Hacimsel değişmeler:

1. Hacimsel büyüme: Nem miktarının artmasına bağlıdır. Yeraltı su seviyesinin yükselmesi, yağışlar, herhangi bir şekilde sızan sulardır. Kil üzerine etkileyen yükün ve şişme basıncının bir fonksiyonudur. Şişme potansiyeli indeks değerlerine, tane boyu dağılımına, örtü basıncına ve kil minerallerinin kristal yapısına bağlıdır.
2. Hacimsel küçülme: Nem miktarının azalmasına bağlı nedenler buharlaşma, bitkiler, ısınma sonucu oluşur. Tekrar su alması halinde ilk hacmine ulaşamaz.
3. Don etkisi: Donma zonunun derinliği, kilin türüne, gözenek suyunun kimyasal bileşimine, hava sıcaklığına, 0°C' nin altındaki gün sayısına bağlıdır.

Kilin mühendislik özellikleri ve davranışları:**Killerin mühendislik özellikleri:**

Atterberg sınırları	Porozite
İndeks değerleri	Büzülme oranı
Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı	Tane özgül ağırlığı
Konsolidasyon katsayısı	Doğal birim hacim ağırlığı
Geçirimsizlik katsayısı	Doğal su içeriği
Ön yükleme basıncı	Doygunluk derecesi

Killerde dayanım:

Killerin minerolojisine
Minerallerin oryantasyonuna
Minerallerin bağlayıcı malzemesine
Minerallerin birbiri ile olan fiziksel, kimyasal, mekanik etkisine
Gözenek suyuna bağlıdır.

Killerde gerilme ve birim deformasyon:

Gerilme etkisi altında deformasyon meydana gelir. Deformasyon türleri basit çekme, basit sıkışma dönme, kayma deformasyonlarıdır.

Killerde kesme dayanımı:

Kesme dayanımı örselenmiş ve örselenmemiş kilde farklıdır. Kohezyon, toplam gerilmeler, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı, farklı nem içeriği, fiziksel bileşenler kesme dayanımını etkiler.

Killerde elastisite artışı:

Killerde su içeriğinin azalmasına ve kilin minerolojik bileşimine bağlıdır.

Killerde plastisite:

Belirli nem içeriği aralığına, kilin minerolojik bileşimine, tane boyuna ve kristal büyüklüğüne, su içeriğine ve jeolojik geçmişine bağlıdır.

4.2. Kil Zeminlerde Zemin ve Temel Etüdüleri

Bir yapı tasarımının başlangıcı yeterli bir zemin etüdüdür. Zemin etüdüleri, problemlili zemin olarak nitelendirilen kil zeminler için çok önemli bir zorunluluktur. Su ile ilişkilendiğinde davranışı değişen kil zeminlerin tüm geoteknik parametreleri ve sıkışma davranışının belirlenmesi uygun yer seçimini sağlayacağı ve yapının kullanım emniyetini artıracığı gibi toplam maliyeti düşürücü etki yapacaktır (19,24).

Zemin etüdünün amacı :

- Tabaka değişimlerini, yatay istikamette sürekliliklerini, kalınlıklarını ve uygunsuz ana kayanın derinliğini tesbit etmek,
- Tanımlama, sınıflama ve taşıma gücüne esas olacak laboratuvar deneyleri için numüne almak,
- Yeraltı su durumunu belirlemektir.

Temel zemini araştırması sonucu aşağıdaki geoteknik özellikler belirlenir:

1. İzin verilebilecek temel taban basıncının saptanması,
2. Zeminin yük altında zamanla yapacağı oturmaının saptanması,
3. Yeraltı suyunun durumuna göre izolasyon yapılması gereken kısımlar belirlenmesi,
4. Zeminin ve yeraltı suyunun kimyasal yapısının temel malzemesine zarar verip vermeyeceğinin laboratuvarında belirlenmesi,

Zemin araştırması şu sorunları çözümlenmelidir:

1. Yapı yükünün meydana getireceği zorlamaları yapının oturacağı temel zemini tarafından karşılanmasının sağlanması.
2. Yapı yüklerinden dolayı zeminde oluşan oturmaların yapıya zarar vermeyecek sınırdaki kalmasının sağlanması.
3. Yeraltı ve yerüstü suları etkisi ile su muhtevasının değişmesi sonucu zemin niteliklerinin değişmesi ile zemin davranışının belirlenmesi.

4. Doğal durumuyla dengede bulunan zeminin yapının inşası sırasında gerekli temel kazısının yapılması veya Yeraltı ve yerüstü sularının durumlarını değiştirmesi nedenleriyle, stabilitesinin bozulmaması için gerekli önlemlerin alınması.
5. Özellikle eğimli arazideki yapılarda; yapıdan gelen statik ve dinamik yüklerin etkisiyle, zeminin stabilitesinin bozulması ihtimalinin araştırılması ve gerekli önlemlerin alınması.
6. Mevcut bir yapının yanına yapılacak yeni yapılardan doğan ek gerilmelerle birlikte, mevcut yapıda oluşan oturmaların zararsız olduğunun kontrol edilmesi.
7. Mevcut yapının yanına yapılacak yeni yapının temel derinliği eskisinden çok fazla olabilir. Bu durumda yapı temelinde oluşabilecek bir göçmenin önlenmesi ve alınması gereken desteklemenin belirlenmesi.
8. Temel kazısı için kazı programı ve uygun şev açısının tesbit edilmesi.
9. Temel çukuru kazısının emniyetle yapılması ve civar yapıların emniyetinin sağlanması için uygun iksa sisteminin seçilmesi.
10. Yapı koşulları ve zemin şartlarına uygun temel tipinin belirlenmesi.
11. Zemin tabakalarının deprem davranışının belirlenmesi.

Arazide zemin incelemeleri; muayene çukurları ve sondajlarda arazi deneyleri ve jeofizik yöntemler kullanılarak yapılır. Alınan zemin nünuneleri üzerinde laboratuvar çalışmaları yapıldıktan sonra ön projeden alınan yapı geometrisi, yük koşulları gibi yapısal özellikler kullanılarak zemin taşıma gücü (zemin emniyet gerilmesi) ve temel tipi belirlenir. Tablo 4.2'de kil zeminlerin etüdünde kullanılacak uygun tasarım yöntemi önerilmektedir (1,15,19,20,21,24).

Tablo 4.2 Kil Zeminlerin Sistematik Etüdü (Gökay, Ünal 1995)

- ÖN TASARI -

Problemin Belirlenmesi:

Killerde yeraltı ve yerüstü sistematik kazı tasarımının yapılması ve duraylılığın sağlanması yönündeki çalışmalar.

Hedefler;

Killi formasyonların dağılımına ve geoteknik özelliklerine bağlı olarak uygun kazı yeri ve kazı metodunun saptanması, ayrıca kullanılacak kazı makinalarının en optimum olacak şekilde seçilmesi,

Kazının işlevine bağlı olarak değişebilen zaman süreci içerisinde duraylılığın sağlanması ve buna bağlı olarak tahkimat seçiminin yapılması,

Yapılacak kazının, yeraltı suyu, tektonik hareketler ve çevresel faktörlerden en az etkilenecek şekilde tasarlanması.

Fonksiyonel gerekliliklerin ve sınırlamaların belirlenmeleri:

Kazı yapılacak bölgede killi formasyonların dağılım haritasının çıkarılması,

Kazı makinalarının killi formasyonlarda çalışma kapasitelerinin belirlenmesi,

Kazı metodunun ve kazı boyutlarının killerin kabarma ve şişme özelliğine bağlı olarak seçilmesi,

1. Teknik sınırlamalar 2. Tektonik sınırlamalar 3. Sosyal ve politik sınırlamalar

- Jeolojik ve geoteknik,
- Kazı metodu
- Tektonik, hidrolojik ve sismik etkiler,
- Kabarma ve şişme,
- Sıkışma ve büzülme,

Verilerin Toplanması:

1. Jeolojik verilerin toplanması: Bölgenin jeolojik tarihi hakkında bilgi, jeolojik haritalar, hava fotoğrafları ve yüzey haritaları, jeofizik araştırmalar, sondaj programı ve yeraltı araştırmaları, arazi gerilme ve deformasyon testleri, laboratuvar testleri ve tektonik hareketler.

2. Yerinde gerilmeler: Yeraltı suyu etkileri, penetrasyon deneyleri, uygulanan yükler, jeomekanik özellikler, kilin mineroloji, çevresel etkiler, tane boyu dağılımı, kilin yapısı

3. Kazı programı: Yeraltı veya yerüstü kazısı, kazı makinaları, kazı boyutları, tahkimat seçimi, kazı geometrisi.

Kavramların formülize edilmesi:

Şişme ve kabarma potansiyelinin formülize edilmesi, zemin gerilme ve deformasyonları, sıkışma hesapları, tahkimat hesapları.

Tablo 4.2 Kil Zeminlerin Sistemik Etüdü (Devam)

Çözüm bileşenleri değerlendirme analizleri:

Analitik metodlar:

Matematik modelleme;	-Gerilme ve deformasyonlar
Nümerik modelleme;	-Yenilme türü ve dağılımı
Fiziksel modelleme;	-Zamana bağlı davranışlar
Analog simülasyonlar;	-Duraylılık analizleri
	-Tahkimat analizleri

Ampirik metodlar:

Mühendislik sınırlandırmalar;	-Duraylılık analizleri
Gözlemlerin istatistiksel analizi;	-Tahkimat analizleri
Tecrübe;	-Zamana bağlı davranış
	-Kazı boyutlandırmaları
	-Çevresel etkiler

Gözleme dayanan metodlar:

(Kazı sırasında yapılır)	-Yük - deformasyon ölçümleri
	-Yük- deformasyon- zaman ilişkisi
	-Tahkimat - yük ilişkisi

Alternatif çözümler için sentezler, ayrıntılar:

Yapay zeka;	- Kazı geometrisi ve genişliği
Uzman sistemler;	- Alternatif ek çözümler ve kazı programı
	- Tahkimat türü, düzeni, teknik özellikleri
	- Kazı makinası seçimi ve performansı
	- Emniyet faktörünün belirlenmesi
	- Maliyet tahmini vb.

HAZIRLIK SONRASI TASARIM

Değerlendirme ve test etme, optimizasyon:

Yapay zeka	-Genel performans değerlendirmeleri
Uzman sistemler	-Deneysel sonuçların karşılaştırılması
Bulanık mantık	-Alternatif sonuçların eniyisini seçme analizi
Optimizasyon teorisi	-Risk ve ekonomik değerlendirmeler
Simülasyon programları	-Havalandırma enerji sağlama gibi zemin harici
Yaklaşım analiz programları	faktörlerin, etkilerin değerlendirilmesi

ÖNERİLER VE TARTIŞMALAR

Kapsamlı tasarım raporu;	Fizibilite çalışmaları, ilk tasarım, önerilen
Tartışmalar;	tasarım, tasarıma son şeklinin verilmesi,

Tablo 4.2 Kil Zeminlerin Sistemik Etüdü (Devam)

TASARIMIN TAKİBİ VEYA GERİYE DÖNÜM	
Tasarımın uygulanması;	-Kilin detaylı tanımlanması
	-Paralel kazıların birbirine etkisi
	-Arazi ölçümleri
	-Tahkimat ve duraylılık ölçümleri
	-Kabarma ve şişme ölçümleri vb.
Geriye dönüm;	-Eksik verilerin toplanması ve yeniden değerlendirilmesi
	-Yeni veriler ile değerlendirme ve sonucun karşılaştırılması.

BÖLÜM 5

KİL ZEMİNE OTURAN TEMELLER

Geoteknik mühendisliğinde temel, yapı yüklerini zemine aktaran yapı elemanının yanı sıra temel zeminini de içerisine alır. Temeller taşıdıkları yükün büyüklüğüne, yükün duvar yada kolonlar aracılığıyla gelmesine ve zeminin taşıma gücüne göre çeşitli şekillerde yapılabilirler. Zemin olağan durumlarda, diğer yapı elemanlarına nazaran daha düşük bir mukavemet gösterir. Bu nedenle kolon ve duvarlar yükleri zemine doğrudan doğruya değil, onları daha geniş alana yayan temeller aracılığı ile aktarırlar. Bundan dolayı temel projesi yapılmadan önce temelin oturacağı zeminin iyice tanınması ve bu zemine güvenle yüklenebilecek yük değerinin belli olması gerekir. Temel zemininin yeterince incelenmesi, zemin ve yapı özellikleri yanında zemin-yapı ilişkisini dikkate alan temel sisteminin seçilmesi ile yapı güvenliği sağlanmış olur. Uygulamada problemlili zemin olarak nitelendirilen kil zeminlere oturan temellerin projelendirmesi ve yapımı yukarıda sayılan unsurların önemini arttırmaktadır. Kil zeminler üzerine oturan temeller yapı durumu ve kilin geoteknik özelliklerine bağlı olarak sığ temel yada derin temel olarak projelendirilir. Bilindiği gibi sığ temeller, münferit (tekil) temel, mütemadi (sürekli) temel, radye temel olarak üçe ayrılırlar. Denizli’de yapılan incelemelerde temellerin tümünün sığ temel olarak inşa edildiği görülmüştür (15,19,20,21,22).

Her temel yapısında olduğu gibi kil zemine oturan temelerde birbirinden ayrı kavramlar olan taşıma gücü ve oturma olmak üzere iki şartı sağlaması gerekir. Temelin göçmeye karşı yeter bir güvenliğe sahip olmasını ifade eden taşıma gücü kavramı oldukça önemlidir. Üst yapının kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilmesi için temel zemininde oluşması muhtemel toplam ve farklı oturmaların da kabul edilebilir değerleri aşmaması gerekir.

5.1. Zemin Emniyet Gerilmesinin Belirlenmesi

Temelin göçmeden taşıyabileceği emniyetli taşıma basıncının aşılmaması ve yapının kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilmesi için muhtemel toplam ve farklı oturumların kabul edilebilir değerleri aşmaması gerekir. İki şartı sağlayan izin verilebilir temel basıncı zemin emniyet gerilmesi olarak tariflenir (15,19,20,21,22).

a) Taşıma gücü şartı:

Taşıma gücü temel yapısının göçme olmadan temel zeminine aktarabileceği maksimum taban basıncıdır. Sığ temellerin taşıma gücü temel zemininin birim hacim ağırlığına, kayma mukavemeti ve deformasyon karakteristikleri gibi mekanik özelliklerine, taşıyacağı yapının yapım öncesi temel zeminindeki gerilme ve hidrolik şartlarına, temel yapısının geometrik ve fiziki şartları ile inşa yöntemine bağlıdır.

Sığ temellerin taşıma gücünün belirlenmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli formüller verilmiştir.

Terzaghi taşıma gücünün belirlenmesi için aşağıdaki formülü vermiştir.

$$q_d = K_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot \gamma_2 \quad 5.1$$

K_1 ve K_2 Temel tabanı şekline bağlı katsayılar (Tablo 5.1)

B Temel genişliği (L)

c Kohezyon (F/L^2)

D_f Temel derinliği (L)

ϕ Kayma mukavemeti açısı

γ_1, γ_2 Zemin birim hacim ağırlıkları (F/L^3)

N_c, N_q, N_γ Kayma mukavemeti açısına bağlı katsayılar (Tablo 5.2)

Tablo 5.1. K_1 ve K_2 değerleri

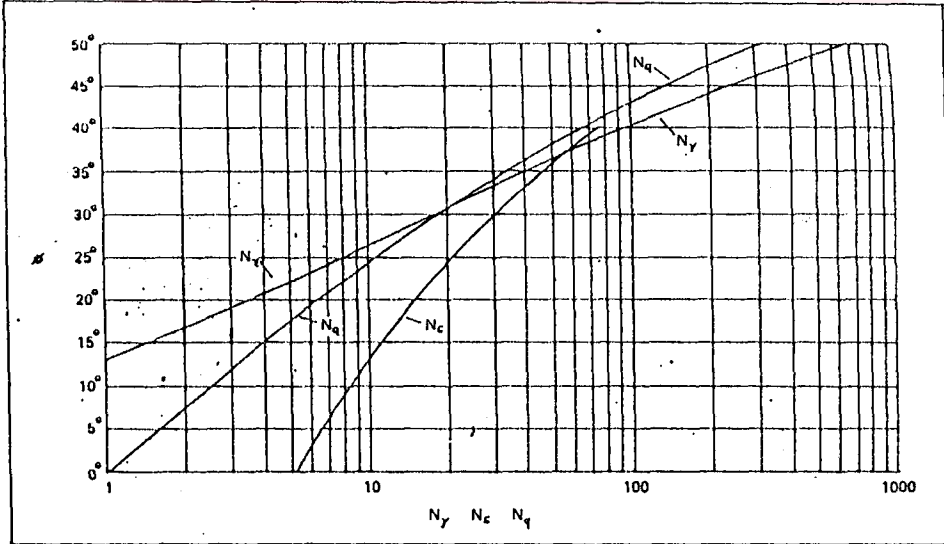
Temel şekli	Şerit (L=sonsuz)	Dikdörtgen (B<L)	Kare (B=L)	Daire (B=L=D)
K_1	1	$1+0.2(B/L)$	1.2	1.2
K_2	0.5	$0.5-0.1(B/L)$	0.4	0.3

Tablo 5.2. Terzaghi taşıma gücü katsayıları

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
30	37.2	22.5	19.7
40	95.7	81.3	100.4
50	347.5	415.1	1153

Temel alanı B.L olan (B<L) dikdörtgen temelerde Skempton, $D_f/B < 2.5$ için,

$$q_d = 5(1 + 0,2D_f/B)(1+0,2B/L).c \quad 5.2$$



Şekil 5.1. Kil zemine oturan temeller için taşıma gücü katsayıları

$D_f/B \geq 2.5$ için,

$$q_d = 7,5(1+0,2B/L).c \quad 5.3$$

Suya doymun killerde ani yükleme halinde toplam gerilmelere göre, $c_u = q_u / 2$, $\phi=0$ olduğu bilinmektedir. $\phi=0$ için $N_c=5.7$, $N_q=1$, $N_\gamma=0$ tablodan alınarak net taşıma gücü

$$q_d = 5,7. K_1 .c \quad 5.4$$

şerit temeller için $K_1 = 1$ için Terzaghi ve diğer araştırmacılar aşağıdaki değerleri vermişlerdir.

$q_d = 5,7.c$	Terzaghi	5.5
$q_d = 5,14.c$	Prandtl	5.6
$q_d = 5,50.c$	Fellenius	5.7
$q_d = 4.c$	Bell	5.8

$\phi=0$ halinde Skempton formülünün (5.2) kullanılması daha uygun sonuç vermektedir.

Terzaghi denklemlerinin incelenmesi ile kil zeminler için şu genel sonuçlar çıkarılabilir:

1. Son taşıma gücü temel derinliği ile artar.
2. Kohezyonlu zeminin ($\phi=0$) yüzeyinde oturan bir temelin taşıma gücü temel genişliğine bağlı olarak artmaz.

b) Oturma Şartı:

Üst yapının kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilmesi için temel zemininde oluşması muhtemel toplam ve farklı oturmaların kabul edilebilir değerleri aşmaması gerekir.

Kil zeminlerde oturma; statik ve dinamik yapı yükleri, trafik yapı yükleri, doğal veya yapay olaylarla su muhtevasının azalması ve çevresindeki kazı , yeraltı suyu indirme, kazık çakma

gibi olaylar sonucu meydana gelir. Killerin sıkışmasında ortamın % 100 suya doygun kabul edilir.

Üç eksenli yükleme durumunda kil üzerinde bulunan bir temel üç ana oturma özelliği gösterir.

1. Ani veya drenajsız sıkışma (S_i) yükün uygulanmasıyla meydana gelir. Doygun kilde geçirimsizlik çok düşük olduğundan yüklemeden sonra oluşan boşluk suyu basıncı dışarı kaçamaz ve sıkışma, hacim değişikliği olmadan oluşur.

2. Konsolidasyon sıkışması (S_c) yüklenme sonucu oluşan fazla boşluk suyu basıncının ilk değerine dönmesiyle meydana gelir. Bu nedenle zamana bağlıdır. Oturmanın hacimde azalmanın bir sonucu olduğu söylenebilir de, kesme deformasyonları da ihmal edilmeyecek mertebededir.

3. Bazı killerde konsolidasyon tamamlanıp, fazla boşluk suyu basıncının sönmesinden sonra da sıkışmaların sürdüğü izlenebilir. Bu süreç sünme olayına benzer ve drenajlı yada drenajsız koşullarda oluşur. (S_{sc}) İkincil konsolidasyonun varlığına Türkiye'de rastlanmamıştır.

Oturma; ani oturma ve konsolidasyon oturmasının toplamıdır. ($S_t = S_i + S_c$)

İki geçirimsiz tabaka arasındaki ince kil tabakasının ilk sıkışması ihmal edilebilir de diğer tüm durumlarda da oturma değerinin önemli bir bölümünü konsolidasyon sıkışmalarının oluşturduğu saptanmıştır.

Kil zeminlerde poisson oranı 0.3 civarındadır. Bu durum önemli yapıların üç boyutlu analizini gerektirir.

Oturma hesapları için yapının kil tabakasında oluşturduğu gerilme artışının hesabı gereklidir. Kil kalınlığı ve odometre deneyi sonuçlarından elde edilen hacimsel sıkışma katsayıları belirlendikten sonra tek boyutlu konsolidasyon hesapları yapılır.

Tablo 5.3. Kil Zeminlerdeki Yapılarda Toplam Oturma Limitleri (Önalp, 1983)

Temel ve yapı sistemi	Oturma (mm)
Tekil temel	60
Sürekli temel	100
Yığma yapı	60
Çerçeve sistem	100
Silo, baca	250

Tablo 5.4. Yapıların dayanabileceği birim farklı oturmalar (Önalp, 1983)

Yapı Türü	$\Delta\delta / L$
Sıva ve tuğla duvarlarda çatlama başlangıcı	0.001
Yığma yapılar	0.002
Betonarme yapılar	0.004
İzostatik çelik çerçeveler	0.005
Gezer vinçler	0.003

δ = Farklı oturma

5.2. Oturma Hesabında Kullanılacak Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Oturmaların tahmini için gerekli parametreler laboratuvar ve arazi deneyleri ile belirlenir. Killerde olumlu sonuç veren arazi deneyleri plaka yükleme deneyi, dilotometre, penetrometre ve burgu plakası olarak sıralanabilir. Deneyler sonucu deformasyon modülü amprik bağıntılardan belirlenir. Günümüzde halen oturma hesapları laboratuvarında ödometre sonuçlarıyla yapılmaktadır. Ancak bu deneyin dayandığı tek eksenli sıkışma teorisi yerini üç eksenli analize bıraktıkça parametrelerin üç eksenli hücre deneyinde belirlenmesi yaygınlaşmıştır. Deney vektör eğrisi ve Shansep yaklaşımı denilen iki ana yöntemle yapılmaktadır (1).

Vektör eğrisi yönteminde örnek laboratuvarında arazide karşılaşılabilecek gerilme sistemine getirilerek oluşan deformasyonlardan gerekli parametreler hesaplanır.

Zemin Shanssep yöntemi olarak bilinen gerilme tarihçesi ve normalleştirilmiş parametreler yöntemi ile uygun gerilme altında laboratuvarında yeniden konsolide edilmiş örnekler şu şekilde denenir.

- a) Zemin kitlesinin geçmişte aldığı basınç σ_0 ' bu günkü gerilmeden çıkarılarak bulunur ve aşırı konsolidasyon oranı OCR ve derinlikle değişimi hesaplanır.
- b) OCR nin belirli değeri için örselenmemiş örnekler en az $1.5 \sigma_0$ ve K_0 koşullarında konsolide edildikten sonra OCR' ye şişirilir.
- c) Örneği tercihan sabit hızda yükleyerek boyutsuz (normalleştirilmiş) parametreler bulunur. (E_u / σ_0)
- d) b ve c işlemleri tekrarlanır.
- e) OCR değerlerine karşı (E_u / σ_0) noktalanır.
- f) a'da bulunan OCR' nin değişimine paralel olarak (E_u / σ_0) parametresinin değişimi bulunur.

Bu yöntem jeolojik geçmişi bilinen ünüform zemin kitlelerine başarıyla uygulanabilir. Deney sonuçlarından E_u / C_u oranının inorganik killerde 1000, organik killerde 100 dolayındadır. Hassas killerde bu oran 3000' e varabilmektedir.

Zemin parametrelerinin sağlıklı olarak bulunabilmesi doğal düşey ve yatay gerilmelerin tam olarak hesaplanmasına bağlıdır. Düşey gerilme arazide zemin kesidinin tam olarak bulunabilir. Yatay gerilmenin hesabı için sukunetteki toprak basıncı K_0 ' in bilinmesi gerekir. K_0 'ın ölçümü için birçok yöntemler geliştirilmiştir (1,2,21,3,5).

5.3. Yatak Katsayısı Kavramı

Temelin sonsuz esneklik tam rijitlik arasında olduğu durumda basınç dağılımı plak veya kirişin rijitlik katsayısına bağlı olarak iki uç durum arasında değişir. Winkler hipotezi zeminin elastik direncinin değişmez bir katsayıyla gösterilebileceğini öngörmektedir. Buna göre, kiriş altında herhangi bir noktada taban basıncının çökmeye oranı sabit olup yatak katsayısı (k_s) olarak tanımlanır (1,20,21).

Winkler hipotezi zeminin elastik ve zemin malzemesinin Hooke kanununa uyduğunu varsayar. Yatak katsayısı, taban basıncı değerinden bağımsız olduğu ve bütün temel yüzeyi boyunca sabit kaldığı düşünülür. Hipotez de zemin birbirinden bağımsız ve birbirine sonsuz yakınlıkta yaylar ile bileşikmiş gibi düşünülür ve bu yayların yalnız doğrudan doğruya yüklendiklerinde çöküp, tepki gösterdikleri, ancak her yayın kendisine komşu diğer yayların yüklenme ve çökmesinden etkilenmediği öngörülmektedir. Bunun sonucunda zemin tamamen süreksiz bir ortam olarak göz önüne alınmış olur. Winkler hipotezi genek olarak sürekli temellerin çözümünde kullanılmaktadır (1,20,21).

Winkler hipotezinde iki varsayım yapılmaktadır.

1. Temel basıncı (q) ile bunun karşılığı olan (y) çökmesi arasındaki oran temel basıncının şiddetinden bağımsızdır.
2. Yatak katsayısı k_s nin değeri q ortalama basıncını almakta olan plağın altında her noktada aynıdır.

Yatak katsayısı yükleme deneylerinden belirlenebileceği gibi değişik araştırmacılar tarafından verilen yöntemlerle de bulunabilir. Yatak katsayısı yükleme şekli, plaka boyutları gibi koşullar altında değişir. Böylece bu kavram kullanılış açısından basit, ancak tam gerçekçi olmayan bir yaklaşım olarak nitelendirilir.

Bowles yatak katsayısını taşıma gücü katsayılarından yararlanarak aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$k_s = 40(C.N_c + \gamma.z.N_q + 0.5B.N_\gamma) \quad 5.9$$

Tablo 7.3 Terzaghi tarafından verilen aşırı konsolide killerde yatak katsayıları (Önalp, 1983)

Kıvam	k_s (kg/cm ³)
Sert	2.4
Çok sert	4.8
Aşırı sert	9.6

5.4 Kil Zemine Oturan Temellerin Boyutlandırılması

Binaların küçük olması yada zemin özelliklerinin ayrıntılı deneylerle ölçülememesi durumunda temel hesaplarının daha basitçe yapılması gerekir. Böyle durumlarda derinliği yapı yüksekliğinin yarısından az olmamak şartı ile mümkün olan en fazla sayıda sondaj açılır. Alınan numuneler üzerinde uygun laboratuvar deneyleri yapılır. Örneğin tek eksenli basınç deneyi yapılarak ortalama q_u değerleri alınarak q_d zemin emniyet gerilmesi (Güvenlik sayısı=3) belirlenir.

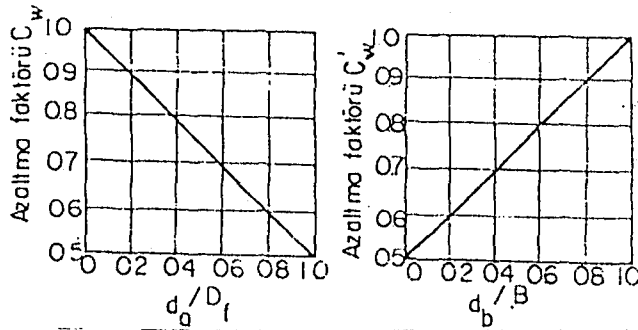
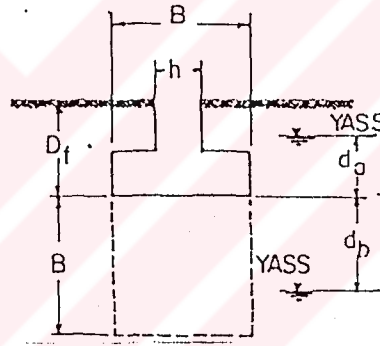
$$q_d = q_u \cdot N_c / 6 \quad 5.10$$

Dikdörtgen temeller için bulunan değer $(1+0.2B / L)$ ile çarpılmalıdır. Bulunan değer ile temel boyutlandırılmasına gidilebilir. Bu yöntemde oturma parametrelerinin alınması eksiklik olarak eleştirilirse de güvenlik sayısının büyük alınması nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadır (1).

En uygun çözüm oturma tahkikleri yapılarak ve ayrıntılı laboratuvar deneyleri yanında çevre şartlarında göz önüne alınarak temellerin boyutlandırılmasıdır. Yeraltı suyu bulunması durumunda taşıma gücünün belirlenmesinde düzeltme gereklidir. Taşıma gücü denklemlerinde kullanılan birim hacim ağırlık zeminin içinde bulunduğu koşullar için geçerlidir. Yeraltı suyu altındaki zemin için batık birim hacim ağırlık kullanılacaktır. Eğer su düzeyi temelin altında ise zemin belirli derinliğe kadar ıslak veya doygun, bunun altında batık durumda alacağından birim hacim ağırlığı değeri için tek değer kullanılması olanaksızdır. Eğer temel su seviyesinde ise taşıma gücü %50 (doygun birim hacim ağırlık batık durumda yaklaşık olarak yarıya düştüğünden) azaltılır.(Şekil 5.2) Su düzeyi temel tabanından temel genişliği (B) kadar veya daha derinde ise herhangi bir azaltma yapılmaz (1).

$$q_d = cN_c + C_w(\gamma D_f N_q) + C'_w(0.5\gamma B N_\gamma) \quad 5.11$$

Bazı özel durumlarda temelin oturacağı zeminin kalınlığı az olduğundan kırılma yüzeyinin ihmal edilemeyecek bir bölümü özellikleri farklı alt katmandan geçebilir. Bu durumda taşıma gücü iki tabaka için hesaplanır. zeminlerin kayma direnci açısının ihmal edilebilecek kadar küçük ve kırılma yüzeyinin silindürsel olduğu varsayımıyla N_c değerleri literatürde verilen eğrilerden bulunmaktadır. Çözüm kohezyonun derinlikle değişmediği varsayımıyla elde edildiğinden, kohezyonun derinlikle artması durumunda bulunan taşıma gücü güvenli tarafta kalacağından sakınca yoktur (1).



Şekil 5.2 Taşıma Gücünde Yeraltı Suyu İçin Düzeltme (Önalp 1983)

BÖLÜM 6

DENİZLİ ŞEHİR MERKEZİNDE YAPILAN GEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Denizli şehri belediye mücavir alanındaki birimlerde yapılan çeşitli geoteknik çalışmalar, tezler, jeolojik etüdler, su sondajları ilgili kuruluşlardan temin edilmiştir. Bu çalışma süresince bölgede açılmış olan temel çukurlarından örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında zemin sınıflandırması ve taşıma gücüne esas olacak laboratuvar deneyleri yapılmış, geoteknik parametreler ölçülerek zemin taşıma güçleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma süresince yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları ve derlenen kamu ve özel kuruluşların yaptırdığı geoteknik çalışma sonuçları kullanılarak şehir merkezinde killi zeminlere oturan temellerin taşıma güçlerinin belirlenmesi, Denizli zemin haritası ve geoteknik bilgi birikimi oluşturulması açısından sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

6.2. Denizli İli Hakkında Coğrafi Bilgi

Ege Bölgesinde $28^{\circ}39'$ ve $29^{\circ}30'$ boylamları ile $37^{\circ}12'$ ve $38^{\circ}12'$ kuzey enlemleri arasında yer alan Denizli ili 11868 km^2 'lik bir yüz ölçümüne sahiptir. Denizli Anadolu yarımadasının güney batısında Ege bölgesinin doğusunda, Ege - İç Anadolu - Akdeniz bölgeleri arasında bir geçit teşkil eder. Sınır itibari ile doğudan Burdur, Afyon, batıdan Aydın, kuzeyden Manisa, Uşak güneyden Muğla illeri ile komşudur. İlçe merkezi Çürüksu vadisinde yer alır. Bölge doğu-batı istikametinde uzanan şerit şeklinde bir havzadır. Havzanın rakımı 105 ile 2528 m. arasında değişir. (En düşük rakım Burhaniye'nin batısında Menderes yatağı 105 m, en yüksek rakım ise 2528 m ile Honaz dağının Eğrek tepesidir.) İl topraklarının % 28'ini ovalar, % 25' ini yaylalar ve plotalar, % 47'sini dağlar kaplar.

Denizli ilinde genellikle Ege bölgesinin ılıman iklimi hakimdir. Yine de rakım yükseldikçe iklim sertleşir

Denizli şehri doğudan batıya uzanan bir fay hattı üzerinde birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Aynı fay hattı üzerinde bir çok sıcak su kaynağı mevcuttur. Fay hattında bir çok tarihsel deprem kaydı mevcuttur. En son 1976'da hasar meydana getiren deprem meydana gelmiştir.

6.3. Çalışma Bölgesinde Genel Jeolojik Yapı:

Geoteknik çalışmalarda etüdü yapılacak alanın jeolojik açıdan tanımlanması mühendislik çalışmalarına ışık tutarak sağlam kararlar alınmasına büyük ölçüde yardımcı olur. Özel geoteknik çalışmalarda alanın jeolojik yapısı, kritik sondaj yerleri, fay zonları konunun uzmanlarınca belirlenmelidir. Tez çalışma alanının genel olarak jeolojik yapısı aşağıda özetlenmiştir.

1. Metamorfik Kayaçlar:

1.1. Paleozoyik: Denizli ili paftasındaki Menderes masifinin örtüsünü teşkil eden şistlere değişik araştırmacılar Honaz şistleri adını vermişlerdir.(Nebert 1956). Paleozik birimler Denizli ilinin güney ve güney batısındaki yüksek yerlerde bulunmaktadır.

1.2. Mesozoyik: Denizli ili güney batısındaki Babadağ civarındaki mesozoyik birimler de kesin yaş tayini, birimlerin kesin dokanaklı olmamaları ve fosil içermemeleri nedeniyle zor olmaktadır. Belirlenmeye çalışılmalarına rağmen mesozoik birimlerin gri kireçtaşlarından oluşmaları ve birbirine geçişli olmaları ve fosil içermemeleri nedeniyle belirlenmeleri zor olmaktadır. Nitekim bu yörede paleozoyik üzerine gelen kireç taşları mesozoyik olarak adlandırılmaktadır.

2. Tortul Kayaçlar:

2.1. Senozoik: Denizli ili civarında senozoik üç ana kısımdan meydana gelir.

2.1.1. Eosen: Eosen çökelleri Denizli civarında çok az yerde rastlanmıştır. Denizli ilinin kuzey doğusunda kalan Acıdere köyü ile Küçük Çökelez dağları arasında bulunan arızalı kesimlerde, Denizli havzasının doğusunu sınırlayan kesimlerde Tavas yolu üzerinde bazı kesimlerde eosen çökellere rastlanmıştır.

2.1.2. Neojen: Denizli havzasındaki neojen çökelleri Honaz dağı ve Babadağ'ın kuzeyindeki çöküntü alanında bulunan bir gölde oluşmuştur. Bunlar palaeozoyik ve mesozoik formasyonlar üzerine diskordans bir şekilde konglemera, kumtaşı ve marn tabakaları olarak yatay durumda oluştururlar.

2.1.3. Kuvaterner: Denizli ili civarında kuvaterner çökellerini aşağıdaki şekilde gruplamak mümkündür.

2.1.3.1 Travertenler: Dünyaca tanınan ve turistik önemi olan Pamukkale, Karahayıt, Honaz civarındaki traverten oluşumlar termal fay sularının bıraktığı çökeller olup oluşumları günümüzde de devam etmektedir.

2.1.3.2 Alüvyon Yelpazeleri: Denizli ilinin güneyinde yer alan dik yamaçlı topoğrafya nedeniyle buradaki mevcut kuru dereler bilhassa feyzan zamanlarında alüvyon yelpazeleri oluşturmuştur. İri taneli ve az tutturulmuş gevşek yapılı olan bu birimler bölgede geniş yer tutarlar. Alüvyon yelpazeleri olarak isimlendirilen oluşumlar içinde üniversite kampüsü de yer almaktadır.

Denizli şehri civarında birçok büyük dere ve ikincil kollarının oluşturduğu iri daneli dere çökelleri mevcuttur. Bunların bir kısmı kum-çakıl ocağı olarak işletilmekte ve Denizli şehrinin agrega ihtiyacını karşılamaktadır.

Jeolojik yapı inşaat mühendisliği açısından yorumlanırsa Denizli grabeni Ege graben sisteminin güney sınırını oluşturmaktadır. Kuzey ve güneyden aktif faylar ile sınırlanmıştır. Fayların düşey atımları oldukça yüksektir. Bu nedenle ova sınırında dik şevler oluşturmuşlardır. Bu fayların ana doğruları doğu-batı olup kuzey-güney doğrultulu faylar

ile kesilmişlerdir. Güneyde yamaca yaslanan birikinti konileri genellikle bu faylar üzerinde beslenme yatakları tarafından beslenmektedir. Üniversite kampüsünde içinde bulunduğu bu koniler bazen 100 m. kalınlığa kadar ulaşabilmektedir. Yamaç molozu tabir edilen bu tür zeminlerde sondaj problemleri yapılmaktadır. Genel yapı blokludur. Blok yapı konsolide kil içerisinde yüzmektedir. Killi zemin konsolide olması nedeniyle stabil hale gelmesine rağmen yer yer killi-siltli hamur ve boşluklar mevcuttur. Denizli şehir merkezinde karasal neojen ve kuvaterner göl çökeller ince ve iri daneli zeminlerin yanal ve düşey yönde devamlılığı olmayan merccekler ve çapraz tabaka ile istiflenmişlerdir. Bu ince ve iri daneli zeminlerin tek tek veya bir araya gelerek ani ve tedrici geçişler göstermesi karasal çökellerin en önemli özelliğini sunar. Denizli'de yer yer karbonatlı ortamları yansıtan travertenler ile kil-silt, killi silt ve kum -çakıl litolojilerinden oluşan Neojen ve kuvaterner çökeltilere bir çok inşaat sahasında rastlanır. Jeolojik yapının yatay ve düşey ekseninde çok çabuk değişmesi ve problem zemin olarak adlandırılan kil zeminlerin geniş yer tutması, yeraltı suyunun pek çok kesimde yüksek olması, ince malzeme dolgu'lu yamaç molozlarının ve alüvyon zeminlerin boşluklu ve gevşek yerleşimleri, zemin ve temel etütlerinin önemini artırmaktadır.

6.4. Kamu ve Özel kuruluşlarca Yapılan Geoteknik Çalışmalar Ait Veriler

6.4.1. Denizli İli Eysel Atıksu Arıtma Tesisi Geoteknik Etüdü:

İller Bankası tarafından kontrolü yapılan tesisin geoteknik etüdü özel bir şirket tarafından yapılmıştır.

Tesis sahasının zemin durumunun belirlenmesi amacıyla maksimum 30 m derinliğinde 10 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlar rotary sondaj yöntemiyle, Polmak D-200 model sondaj makinası ile sirkulasyon sıvısı su kullanılarak yapılmıştır. Sondajlardan shelby tüpüyle örselenmemiş örnekler alınmış ve standart penetrasyon deneyleri yapılmıştır. (Tablo 4.1)

Sondajlar esnasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde İTÜ geoteknik laboratuvarında TS 1901 uygun olarak su muhtevası, Atterberg limitleri, sınıflandırma deneyleri, üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

Tablo 6.1. Tabii su muhtevaları ve kıvam limitleri

Sondaj no	Derinlik	W ₀ %	W _p %	W _L %	I _p	Zemin sınıfı
S-105	12.00	29	18	42	24	CL
S-106	6.00	28	17.5	40	22.5	CL
S-107	9.00	22	21.5	40	18.5	CL

Tablo 6.2 Standart penetrasyon deneyi N değerleri *

Derinlik	S101	S102	S103	S104	S105	S106	S107	S108	S109	S110
1.5	25	23	18	25	27	21	17	17	----	40
3	27	42	25	40	31	17	5	32	60	46
4.50	50	74	64	35	35	33	11	49	50	53
6	50	97	66	39	Numune	Numune	20	60	50	59
7.5	76	57	50	40	58	14	22	50	88	63
9	50	70	50	40	53	13	Numune	50	90	66
10.50	50	50	50	55	61	22	31	50	50	73
12	97	50	95	65	Numune	19	34	50	88	77
13.5	50	50	85	62	32	25	Numune	50	50	50
15	50	96	50	67	31	Numune	91	50	50	50
16.5	50	23	50	70	33	40	50	50	50	50
18	50	31	91	50	40	48	50	50	50	50
19.5	50	17	88	50	42	52	50	50	50	50
21	52	27	90	92	46	53	50	50	95	50

* 0-15, 15-30, 30-45 aralıklarının herhangi birisinde 50 vuruş aşılmışsa deney sona erdirilmiştir. N değeri 50 olarak alınmıştır. Numuneler örselenmemiştir.

Tablo 6.3. Konsolidasyonsuz - drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (UU)

Sondaj no	Derinlik	$\sigma_c=1.0 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_c=3.0 \text{ kg/cm}^2$		Cu (kg/cm ²)
		W ₀ %	γ_n (t/m ³)	W ₀ %	γ_n (t/m ³)	
S-105	12.00	30	1.97	28.5	1.95	1.70
S-106	6.00	26.5	1.98	28.5	2.00	1.10
S-107	9.00	22	2.00	21	1.98	3.75

Tablo 6.4. Konsolidasyon deneyi sonuçları

Sondaj no	Derinlik (m)	W_n %	γ_n (t/m ³)	ΔP (kg/cm ²)	M_v (cm ² /kg)
S-105	12	39	1.67	0.00-0.25	0.042
				0.25-0.50	0.022
				0.50-1.00	0.021
				1.00-2.00	0.016
				2.00-4.00	0.011
				4.00-8.00	0.008
S-106	6	30	1.78	0.00-0.25	0.037
				0.25-0.50	0.025
				0.50-1.00	0.022
				1.00-2.00	0.015
				2.00-4.00	0.009
				4.00-8.00	0.005
S-107	9	32	1.78	0.00-0.25	0.024
				0.25-0.50	0.024
				0.50-1.00	0.019
				1.00-2.00	0.013
				2.00-4.00	0.008
				4.00-8.00	0.006

Tablo 6.5. Kıvam limitleri

Sondaj no	Yeri (m)	W_L	W_P	I_p	Zemin sınıfı
S-102	18 - 18.45	33	24	11	CL-ML
S-102	24 - 24.45	43	36	7	ML
S-106	18 - 18.45	49	34	15	CL
S-107	4.5 - 4.95	24	17	7	CL-ML

Geoteknik Değerlendirme:

Tesis sahasında yapılan sondajlarda en üstte kum tabakası görülmüştür. Kum tabakası S101, S105, S106, S107, S108, S109, S110 nolu sondajlarda zemin tabakası siltli, yer yer killi özellikler sunar. S102, S105, S106 nolu sondajlarda kum tabakası altında gri, koyu gri, yer yer sarı renkli kumlu killi silt tabakası yer almaktadır. Bu tabakada yapılan SPT deneylerinde $N > 30$ bulunmuştur. S107 nolu sondajda 5 m ile 15.00 arasında sert, koyu sarı kahverengi renkli kumlu siltli kil yer almaktadır. Standart penetrasyon değerleri 22- 34 arasındadır.

Tasarımda birimlere göre aşağıdaki ortalama değerler kullanılabilir.

<u>Siltli Kum :</u>	<u>Çakıllı killi kum :</u>	<u>Siltli kumlu kil:</u>
Kohezyon = 0	$c = 0$	$c = 100 \text{ kn/m}^2$
İçsel sürtünme açısı= 32.5°	$\phi = 38^\circ$	$\phi = 0^\circ$
Birim hacim ağırlığı= 18 kn/m^3	$\gamma_n = 19 \text{ kn/m}^3$	$\gamma_n = 20 \text{ kn/m}^3$
Elastisite modülü= 30000 kn/m^2	$E_s = 50000 \text{ kn/m}^3$	
Yatak katsayısı= 30000 kn/m^3	$k_v = 40000 \text{ kn/m}^3$	

6.4.2. Denizli Eysel Atıksu Arıtma Tesisi 1. ve 2. Kademe Çamur Çürütme Havuzları

Geoteknik Etüdü:

İller bankasının kontrolünü yaptığı tesisin geoteknik etüdü özel bir şirket tarafından yapılmıştır. Sondajlardan alınan numunelerin laboratuvar deneyleri İTÜ Geoteknik laboratuvarında yapılmıştır.

1. ve 2. Kademe çamur çürütme havuzları alanında zemin profilini belirlemek 8 adet sondaj ve standart penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Kohezyonlu tabakalardan shelby tüpüyle örselenmemiş numuneler alınmıştır.

Tablo 6.6. Sondaj derinlikleri

Sondaj no	Derinlik	Başlangıç kotu
S1	41.65	313.67
S2	41.65	314.76
S3	41.45	314.82
S4	41.45	315.29
S5	40.85	315.29
S6	40.80	316.87
S7	40.90	316.42
S8	40.85	315.44

Laboratuvar deneyleri TS 1901'e göre örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde atterberg limitleri, sınıflandırma deneyleri, konsolidasyon deneyleri, üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Tablo 6.7. Tabii su muhtevaları, kıvam limitleri ve zemin sınıfları

Sondaj	Derinlik	$W_n(\%)$	$W_p(\%)$	$W_L(\%)$	$I_p (\%)$	Zemin cinsi
S-1	13.00	36	29	47	18	ML
S-1	27 - 27.45	33	26	45	19	CL-ML
S-1	36 - 36.45	35	25	43	18	CL-ML
S-2	12.15	32	28	44	16	ML
S-2	21	38	27	44	17	ML
S-2	15 - 15.45	38	27	44	17	ML-CL
S-2	27 - 27.45	30	29	46	17	ML
S-3	12 - 12.45	30	24	33	9	ML-CL
S-3	22.5- 22.95	35	27	43	16	ML-CL
S-3	33 - 33.45	34	27	44	17	ML-CL
S-5	12	32	25	42	17	CL-ML
S-5	24	35	31	45	14	ML
S-5	36 - 36.45	35	26	40	14	ML-CL
S-6	12	14	19	25	6	CL-ML
S-6	24 - 24.45	38	33	46	13	ML
S-6	33 - 33.45	49	31	43	13	ML
S-7	25.5 - 26	31	26	40	14	CL-ML
S-8	28.50 - 29	30	27	38	11	ML
S-8	37.5 - 38	33	24	38	14	CL-ML

Tablo 6.8. Konsolidasyonsuz - drenajsız üç eksenli basınç deneyi (UU)

Sondaj no	Derinlik	$\sigma_c=1.0 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_c=2.0 \text{ kg/cm}^2$		C_u (kg/cm^2)
		$W_n (\%)$	$\gamma_n (\text{t/m}^3)$	$W_n (\%)$	$\gamma_n (\text{t/m}^3)$	
S-1	13.00	36	1.89	36	1.87	1.40
S-2	12.15	32	1.94	32	1.94	1.22
S-2	21.00	39	1.81	39	1.81	1.62
S-5	12.00	32	1.81	32	1.90	0.17

Numune no	W_n (%)	γ_n (t/m ³)	ΔP (kg/cm ²)	M _v (cm ² /kg)
S-1	36	1.90	0.00-0.25	0.020
			0.25-0.50	0.016
			0.50-1.00	0.015
			1.00-2.00	0.014
			2.00-4.00	0.010
			4.00-10.00	0.007
S-5	19	2.08	0.00-0.25	0.001
			0.25-0.50	0.007
			0.50-1.00	0.006
			1.00-2.00	0.010
			2.00-4.00	0.008
			4.00-10.00	0.005
S-6	14	2.15	0.00-0.25	0.014
			0.25-0.50	0.008
			0.50-1.00	0.011
			1.00-2.00	0.008
			2.00-4.00	0.006
			4.00-10.00	0.004

İnceleme alanında yapılan sondajlarda en üstte orta sıkı - sıkı durumda siltli, killi, çakıllı kum tabakası yer almaktadır. Tabaka kalınlığı 12 m civarındadır. Tabaka SC'den SM-SC'ye değişen birimler sunar. Bu tabakanın penetrasyon değerleri 12 -45 arasındadır. Ortalama standart penetrasyon darbe değeri (N) 25 bulunmuştur. Kum tabakasının altında gri - koyu gri çok katı kıvamlı killi kumlu silt ve kumlu, siltli kil tabakaları yer almaktadır. Bu zemin CL, ML-CL, ML şeklindedir. Penetrasyon değerleri 20 - 63 arasındadır. Laboratuvar deney sonuçları $W_N = 30 - 38$, $W_L = 38 - 47$, $W_P = 19 - 33$, $I_p = 6 - 19$ $C_u = 1.22 - 1.62$ arasında belirlenmiştir. Arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçlarına göre tesbit edilen tabakalarda aşağıdaki değerler kullanılabilir.

Siltli Kum :

Kohezyon = 0

İçsel sürtünme açısı = 32.5°

Birim hacim ağırlığı = 18 kn/m³

Elastisite modülü = 30000 kn/m²

Yatak katsayısı = 30000kn/m³

Çakıllı killi kum :

c = 0

$\phi = 35^\circ$

$\gamma_n = 19$ kn/m³

$E_s = 50000$ kn/m²

kv= 40000kn/m³

Siltli kumlu kil:

c = 120 kn/m²

$\phi = 0^\circ$

$\gamma_n = 20$ kn/m³

6.4.3. Denizli Cam Sanayi Ek İnşaatı Geoteknik Etüdü

Denizli Cam Sanayi tarafından özel bir şirkete ek inşaatın geoteknik etüdü yaptırılmıştır. Sondajlardan alınan numunelerin laboratuvar deneyleri Pamukkale Üniversitesi Geoteknik laboratuvarında yapılmıştır.

Çalışma alanında 6 adet sondaj yapılmıştır. Maksimum sondaj derinliği 10 m'dir. Arazi deneylerinden 11 adet SPT deneyi yapılmıştır.

Tablo 6.10. SPT deney sonuçları

Sondaj no	Derinlik	N		
		0-15	15-30	30-45
S-1	1.00 - 1.45	8	10	11
S-2	2.20 - 2.65	8	10	25
S-2	6.50 - 6.95	12	14	16
S-3	3.20 - 3.65	11	19	—
S-3	6.80 - 7.25	13	19	25
S-3	8.50 - 8.95	16	21	26
S-4	4.40 - 4.85	13	13	15
S-4	7.00 - 7.45	17	18	19
S-5	7.00 - 7.45	16	17	19
S-5	9.50 - 10.0	17	19	24
S-6	4.10 - 4.55	9	10	12

Laboratuvar deneyleri TS 1901'e uygun olarak PAÜ. -Geoteknik laboratuvarında yapılmıştır. 1 nolu numune kırmızı renkli olup fena derecelenmiş kum-kil karışımıdır.

2 nolu numune koyu kırmızı renkli olup az miktarda çakıl içeren ince daneli malzemedir. 3 nolu numune sarımsı- kırmızımsı renkli az miktarda çakıl içeren killi kumdur.

Tablo 6.11. Su muhtevası ve kıvam limitleri

Örnek no	Zemin cinsi	W_n	W_L	I_p
1	SC	19.28	27	4
2	CL-ML	17.10	31	4
3	ML	12.32	16	1

Geoteknik Değerlendirme:

Sondajlardan anlaşıldığına göre ilk 6.5 m'lik zemin heterojen yapıda kum, kil çakıl karışımı dolgu zemindir. Dolgu malzeme yamaç molozu olarak adlandırılabilir. Gevşek tutturulmamış malzemenin oluşur. Sondajlar esnasında bantlar halinde kırmızı renkli kumlu killeri kesilmiştir. Bunun yanında çakıl ve blok yığınları da mevcuttur. Çakıllar arası kum ve kil dolguludur. Üst bölgedeki siltli kumlu killi karışık birim plastik ve yumuşaktır. Derinlere inildikçe katı kıvam almaktadır. Bu zemin SC sınıfındadır. İlk 5-6 m'lik dolgu kaldırıldıktan sonra zemin katı kıvamda ve oldukça iyi bir temel zemini özellikleri göstermektedir. SPT sonuçlarıyla istatistiksel korelasyonlar kullanılarak gerekli geoteknik parametreler belirlenebilir.

6.4.4. Pamukkale Üniversitesi Kampüs Alanı Geoteknik Etüdü

Pamukkale Üniversitesi ana kampüs alanı geoteknik etüdü özel bir şirkete yaptırılmıştır. Derinlikleri 9-15 m arasında 25 adet sondaj yapılmıştır. Zeminin bloklu olması nedeniyle sondaj oldukça problemli yapılmıştır. Standart penetrasyon deneyi sonuçları ve numune derinlikleri Tablo 6.12'de verilmektedir.

Tablo 6.12. Shellby tüpü numüne ve SPT (N*) değerleri

S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Der.(m)	N	Der.(m)	N	Der.(m)	N	Der.(m)	N	Der.(m)	N	Der.(m)	N	Der.(m)	N	Der.(m)	N
3.5	SH	3	20	4	SH	4	SH	4	SH	2	SH	4	SH	3	SH
7	25	5	SH	7	35	7	34			5	37	7	36	6	38
11	33	8	32	10	42	10	52								
14	42	12	66	13	53	14	61								

* N değerleri 15-45 cm arası toplam derbe değerleridir.

Gentek Ltd. Zemin mekaniği laboratuvarında TS 1500' e uygun olarak kıvam limitleri ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Zemin örnekleri CL sınıfına girmektedir. Su muhtevası %16 civarındadır. Likit limit %17-44, plastik limit % 10-17 arasındadır. Aşağıda zemin örneklerinin plastisite grafiğinde yerleri ve üç eksenli deney sonuçları verilmiştir.

Geoteknik Değerlendirme:

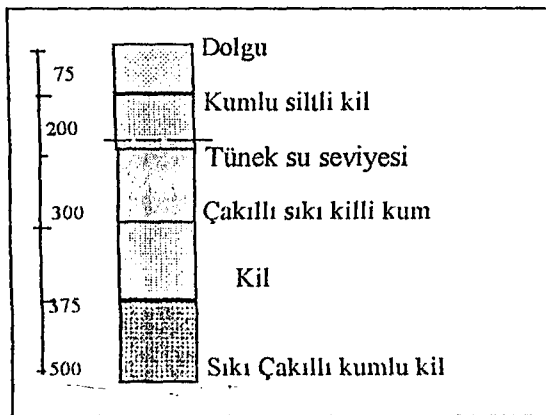
Kampüs alanı yamaç molozu ve birikinti yelpazesi adı verilen sıkı ve yer yer gevşek yapılı bloklu malzemeden oluşmaktadır. Bu bloklu yapı konsolide kil içerisinde yüzmektedir. Kil stabil özellikler taşımakta olup yer yer siltli bir hamur ile karışık durumdadır. Zemin kahverengi-gri renklidir. Tablo 6.13'te üç eksenli basınç deneyi sonuçları verilmektedir. Yeraltı su seviyesi temel seviyesinden aşağıdadır. Yağışlarla doymun hale gelebilir. Formasyonun oldukça genç olması ve yer yer boşlukların olmasından dolayı oturma beklenebilir. Nitekim Mühendislik Fakültesi binasında oturma meydana gelmiştir.

Tablo 6.13. Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Kuyu No - Derinlik	Kohezyon KN/m ²	İçsel Sür. Açısı
SK-1 - 4 m.	159	10
SK-3 - 4 m.	161	12
SK-4 - 4 m.	167	12
SK-7 - 4 m.	169	12
SK-8 - 3 m.	178	11

6.4 5. Kiremitçi Mahallesi Darıverenli Camii Karşısı

İntaş AŞ. tarafından Özel bir şirkete zemin etüdü yaptırılmıştır. Etüd alanında 5 adet araştırma kuyusu ve 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj ve araştırma kuyularından zemin kesiti belirlenmiş, SPT deneyi yapılmıştır.



Şekil 6:1. Kiremitçi mahallesi zemin kesiti

Tablo 6.14. Standart penetrasyon deneyi sonuçları

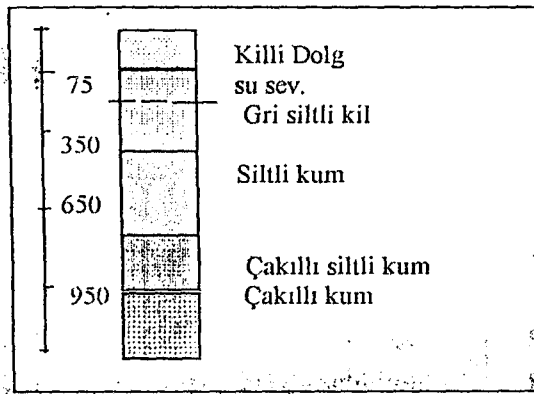
S1		S2		S3	
Derinlik (m)	N	Derinlik (m)	N	Derinlik (m)	N
1.00-1.45	13	1.50-1.95	10	1.50-1.95	11
2.00-2.45	38	2.50-2.95	37	2.50-2.95	40
4.00-4.45	27	3.20-3.65	29	3.50-3.95	33
5.20-5.65	43	4.50-4.95	47	5.00-5.45	46

Geoteknik Değerlendirme:

İlk 2 m'lik yumuşak kil tabakasında yapılan standart penetrasyon deneyi N değeri 10 civarındadır. Temel derinliğinin ilk 2 m'lik yumuşak tabakadan aşağıda olması gereklidir. Çakıllı sağlam tabaka 1 m civarındadır. Bu tabakanın altında sıkışabilir kil tabakası mevcuttur fakat N değeri en düşük 30' dur. Bu da konsolide olmuş kili gösterir. N değerlerinden korelasyon yaparak zemin emniyet gerilmesi belirlenebilir.

6.4.6. İstiklal Mahallesi Tekel Başmüdürlüğü Geoteknik Etüdü

Tekel Başmüdürlüğü inşaatı için özel bir şirkete etüd yaptırılmıştır. İnşaat alanında 2 adet araştırma kuyusu ve maksimum derinliği 13 m olan 3 adet sondaj yapılmıştır. Sondaj kuyularında SPT deneyleri yapılmıştır.



Şekil 6.2. İstiklal mahallesi zemin kesiti

Tablo 6.15. Standart Penetrasyon Deneyi Sonuçları

S1		S2		S3	
Derinlik (cm)	N	Derinlik (cm)	N	Derinlik (cm)	N
300-345	4	300-345	3	300-345	5
450-495	4	450-495	5	450-495	4
650-695	5	650-695	4	650-695	6
850-895	4	850-895	5	850-895	5

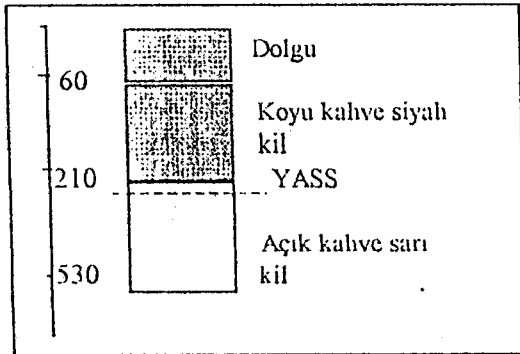
Geoteknik Değerlendirme:

İnceleme alanı alüvyon birikintidir. İlk 3.5 m. siltli kildir. 3.5 m'den sonra zemin siltli kumlu kile dönüşmektedir. Derinlere inildikçe çakıllı kumlu siltli kil tabakası vardır. Zeminin gevşek yapılı olmasından dolayı standart penetrasyon deneyi değerleri çok düşüktür. Yeraltı su seviyesinin yüksek olması nedeniyle zemin taşıma gücü düşmektedir. Zemin emniyet gerilmesinin 0.5 kg/cm^2 alınabilir.

6.4.7. Kaleiçi Limoncuoğlu İş Hanı ve Katlı Otoparkı Geoteknik Etüdü:

Limoncuoğlu iş hanı ve katlı otoparkın geoteknik etüdü özel şirketlere ayrı zamanlarda yaptırılmıştır.

Araştırma çukuru açılmış ve 1 adet sondaj yapılmıştır. Sondajda standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. SPT deneyi darbe sayısı ortalama 25'tir.



Şekil 6.3. Kaleiçi zemin kesiti

Geoteknik Değerlendirme:

Zemin kesitinde yer yer kireçtaşı traverten parçacıklarından oluşan tabakalara rastlansa bile killi birimler hakimdir. yeraltı su seviyesinin yüksek olması taşıma gücüne etki etmektedir. Kil orta katı kıvamdadır. Zemin emniyet gerilmesi temel tiplerine göre $1-1.5 \text{ kg/cm}^2$ arası alınabilir.

6.4.8. Çalışma Alanında Statik Penetrasyon Deneyi (CPT) Sonuçları:

Statik penetrasyon cihazı kullanılarak şehirde açılan temel çukurlarında killi bölgelerde deneyler yapılmıştır. Delft Teknoloji Üniversitesinde geliştirilen penetrometre ince kum ve kohezyonlu zeminlerde kullanılmaktadır.

$$\text{Taşıma basıncı (N/cm}^2\text{)} \quad q_a = (B/40)(1-0.1D_r/B)q_c$$

B = Temel genişliği (m)

D_r = Temel derinliği (m)

q_c = Penetrasyon değeri

Tablo 6.16. Temel çukurlarında yapılan deney sonuçları (ortalama değerler)

Yer	Okuma	Yer	Okuma	Yer	Okuma
Pelitlibağ	5.80	Sevindik	13.20	Bakırlı	12.10
Eskihisar	13.70	Çamlık	9.80	Kirişhane	12.65
Sevindik	13.60	Akkonak	7.15	Sümer	11.70
Bayındırık md. yanı	13.60	Dokuz kavaklar	13.45	Kiremitçi	9.00

Örnek:

11.25 N/cm^2 okuma değeri yapılan temel çukurunda zemin emniyet gerilmesi nedir. Temel genişliği 2 m. Temel derinliği 3 m.

$$q_a = (200/40)(1-0.1(300/200))11.25$$

$$q_a = 47.81 \text{ N/cm}^2 \quad \text{GS}=3 \text{ alınarak}$$

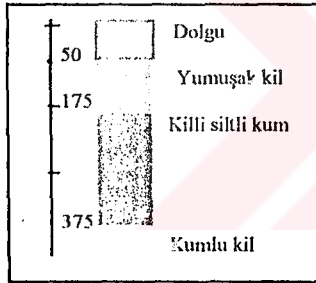
$$\text{Zem.emn.ger.} = 4.8 / 3 = 1.6 \text{ kg/cm}^2 \quad (160 \text{ KN/m}^2) \text{ alınabilecektir.}$$

6.5. Çalışma Kapsamında PAÜ Geoteknik Laboratuvarında Yapılan Çalışmalar:

Şehirde açılan temel çukurlarından örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak sınıflandırma ve taşıma gücüne esas olacak deneyler yapılmıştır. Numunelerin durumlarına göre kesme kutusu deneyi, tek eksenli basınç deneyi, vane deneyi yapılarak kohezyon ve içsel sürtünme açısı belirlenmiştir. Sınıflandırma deneyleri için elek analizleri ve kıvam limitleri deneyleri yapılarak birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre sınıflandırma yapılmıştır. Temel derinlikleri ve temel tiplerine göre taşıma gücü verilmiştir.

6.5.1. Kayalık Mahallesi Trafik Müdürlüğü Karşısı:

Açılan 4 m'lik temel çukurundan tabakalar belirlenmiş, örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Şekil 6.6'de zemin kesiti verilmektedir.



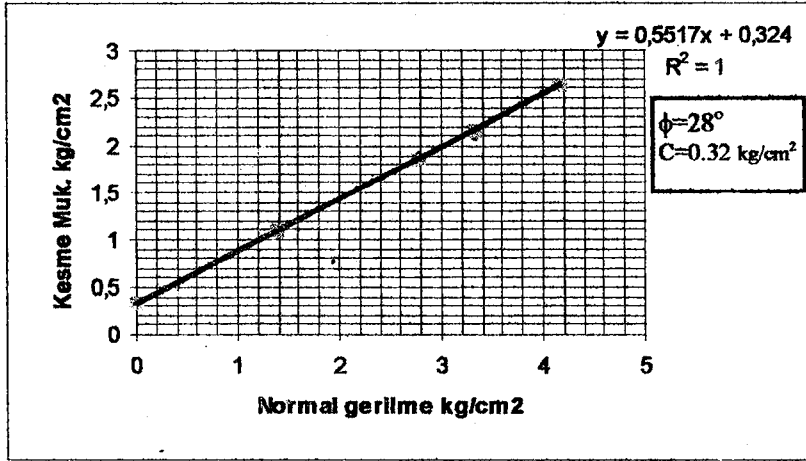
Şekil 6.4. Kayalık mahallesi zemin kesiti

Alınan numunelerin kıvam limitleri ve zemin sınıfları Tablo 6.16 de verilmiştir.

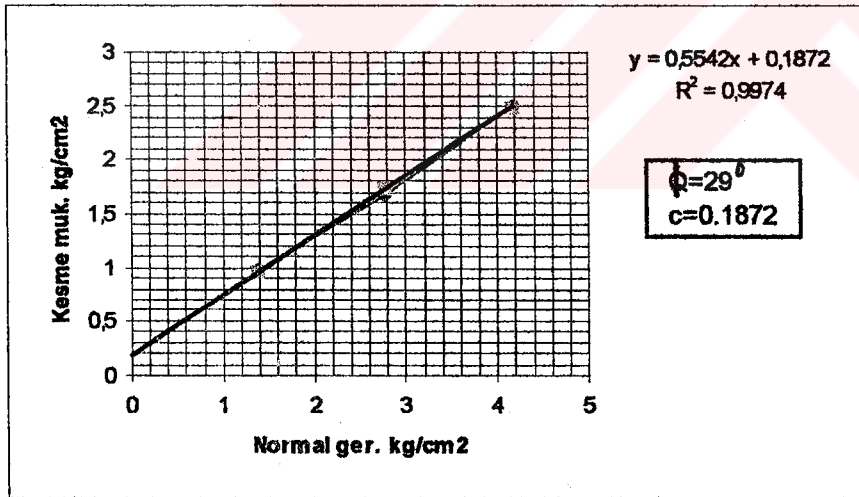
Tablo 6.17. Kayalık mahallesi zemin sınıfları ve kıvam limitleri

Derinlik (m)	γ_n (kn/m ³)	W_n (%)	W_p (%)	W_L (%)	Zemin sınıfı
1.5	18.5	19.5	18	27	CL
3	19.5	17.5	17.5	21.5	SM
4	20.5	20.5	18	23	SM-SC

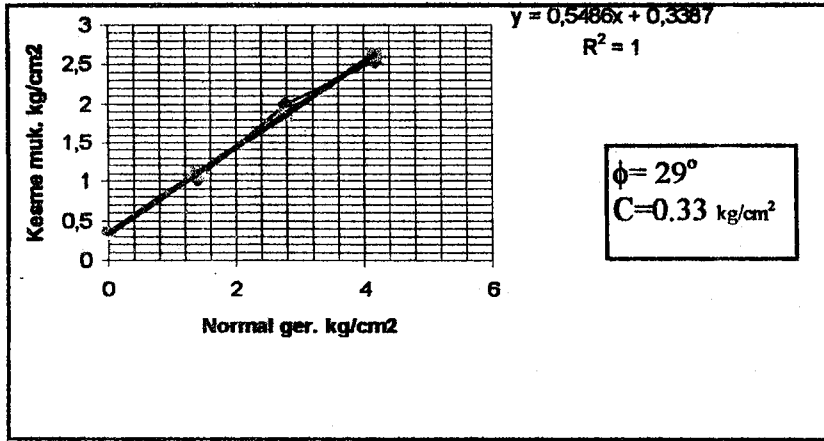
Alınan örselenmemiş numuneler üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.



Şekil 6.5. Kayalık mahallesi kesme Kutusu deney sonuçları (H=1.5 m kil)



Şekil 6.6. Kayalık mahallesi kesme kutusu deneyi kumlu tabaka H=3m



Şekil 6.7. Kayalık mahallesi kumlu kil temel tabanı H=4 m

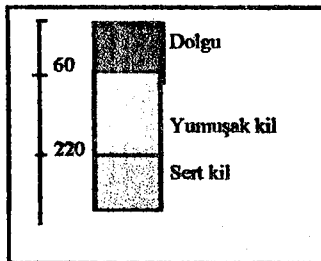
Taşıma gücü analizleri:

Tablo 6.18. Kayalık mahallesi taşıma gücü değerleri Kn/m²

Derinlik (m)	B= 1.5 m sürekli temel	B= 1.5 m Tekil temel
1.5 m	62	74
2.5 m	85	91
4 m	146	159

6.5.2. Gümüşler Belediyesi Belediye Yanı:

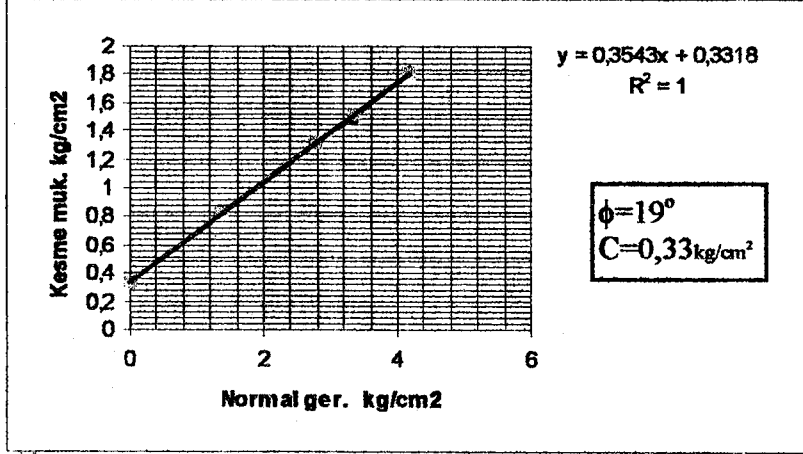
Gümüşler belediyesi yanında açılan 2.5 m'lik temel çukurundan numune alınmıştır.



Şekil 6.8. Gümüşler zemin kesiti

Tablo 6.19. Gümüşler kıvam limitleri ve zemin sınıfı

Derinlik (m)	γ_n (kn/m ³)	W_n (%)	W_p (%)	W_L (%)	Zemin sınıfı
2.5	18.25	34.4	30	54.5	CH



şekil 6.9. Gümüşler Kesme kutusu deney sonuçları H=2.25 m

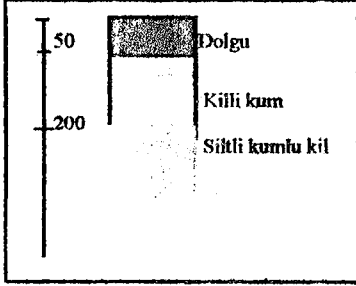
Taşıma gücü analizi

Tablo 6.20. Gümüşler taşıma gücü değerleri (KN/m²)

Derinlik	B= 1.5 m Sürekli temel	B=1.5 m Tekil temel
2 m	63	76

6.5.3. İncilipınar Mahallesi Doğan Demircioğlu Spor Sahası Yanı

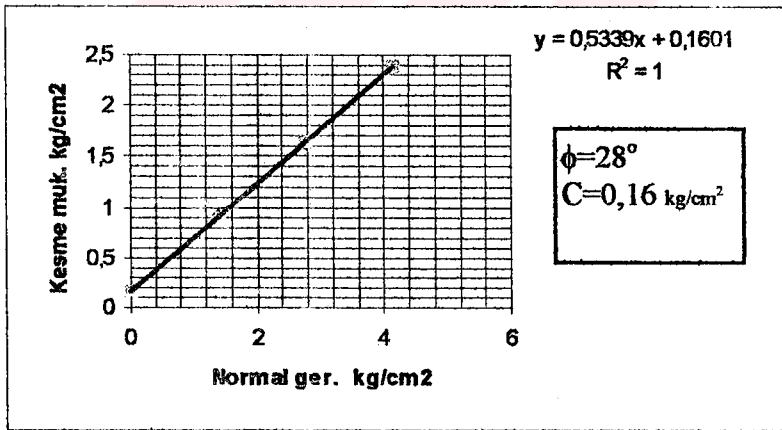
İncilipınarda 2.5 m'lik temel çukurundan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Zemin kesiti ve deney sonuçları aşağıdadır.



Şekil 6.10. İncilipınar mahallesi zemin kesiti

Tablo 6.21. İncilipınar kıvam limitleri ve zemin sınıfları

Derinlik (m)	γ_n (kn/m ³)	W_n (%)	W_p (%)	W_L (%)	Zemin Sınıfı
1.5	17.15	18.7	20.5	27	SM-SC
2	19.50	22	18	22	CL



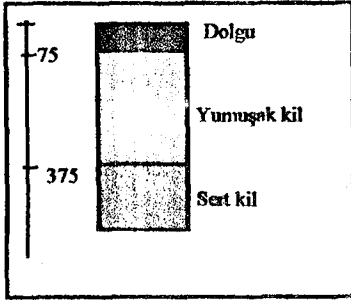
Şekil 6.11. İncilipınar Kesme kutusu deney sonuçları H=2 m killi bölge

Tablo 6.22. İncilipınar taşıma gücü değerleri (KN/m²)

Derinlik	B=1.5 m Sürekli Temel	B=1.5 m Tekil temel
2.5	85	79

6.5.4. İnönü Caddesi Çaputçu Fırını Arkası:

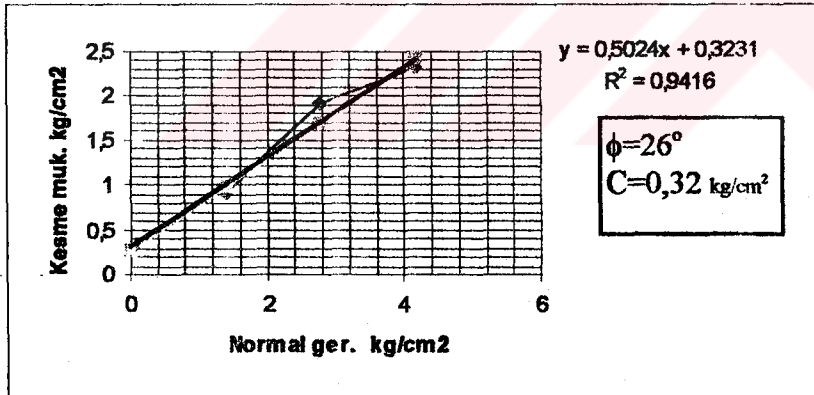
İnönü caddesinde 4 m. derinliğinde açılan teml çukurundan numuneler alınarak laboratuvarında deneyler yapılmıştır. Zemin kesitleri ve deney sonuçları aşağıdadır.



Şekil 6.12. İnönü caddesi zemin kesiti

Tablo 6.23. İnönü caddesi kıvam limitleri ve zemin sınıfı

Derinlik (m)	γ_n (kn/m ³)	W_n (%)	W_P (%)	W_L (%)	Zemin sınıfı
3.5	18.50	17	16.5	22.5	CL



Şekil 6.13. İnönü caddesi kesme kutusu deneyi sonuçları H=1.5 m

4m derinlikten alınan numune üzerinde yapılan serbest basınç deneyinden $q_u = 0.692$ bulunmuştur. Suya doymun kil için $\phi = 0$ alınarak $c = q_u / 2$ $c = 0.35 \text{ kg/cm}^2$ alınarak stabilite hesapları yapılabilir.

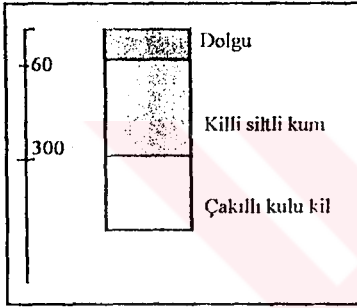
Taşıma gücü analizleri:

Tablo 6.24. İnönü caddesi taşıma gücü değerleri kN/m^2

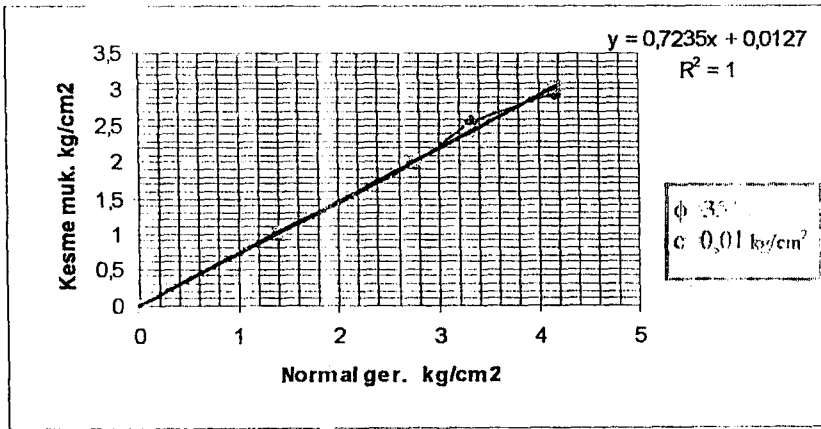
Derinlik	B=1.5 m Sürekli temel	B=1.5 m Tekil temel
1.5 m	90	100
3.5 m	133	146

6.5.5. Emek caddesi

3.5 m. derinliğindeki temel çukurundan numune alınarak laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Zemin kesiti ve deney sonuçları aşağıdadır.



Şekil 6.14. Emek caddesi zemin kesiti



Şekil 6.15. Emek cad. Kesme kutusu deneyi sonuçları H=1.5 m (siltli killi ince kum)

3.5 m derinlikten alınan numune üzerinde yapılan serbest basınç deneyi sonucunda $q_u = 0.36 \text{ kg/cm}^2$ bulunmuştur. $\phi=0$ alınarak $c_u = q_u/2$ 'den $c_u = 0.18 \text{ kg/cm}^2$ alınabilir.

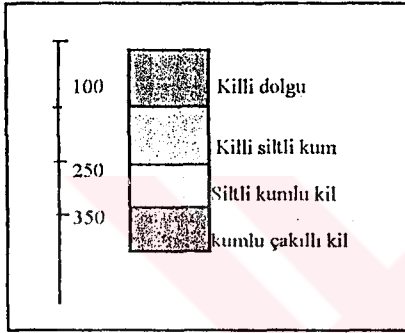
Taşıma gücü analizleri:

Tablo 6.25. Emek caddesi taşıma gücü değerleri (KN/m²)

Derinlik	B=1,5 m Sürekli temel	B=1,5 m Tekil temel
3,5 m	100	107

6.5.6. Akkonak Mahallesi Fatih Caddesi

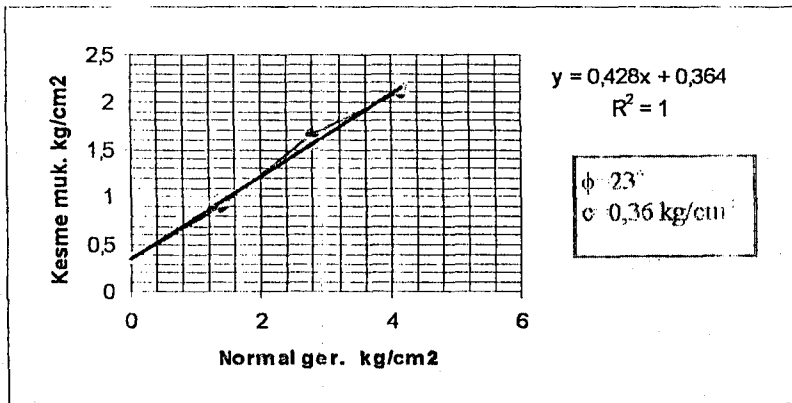
Akkonak mahalesinde 4m derinliğinde açılan temel çukurundan numune alınarak laboratuvar deneylerine tabi tutulmuştur. Zemin kesiti ve deney sonuçları aşağıdadır.



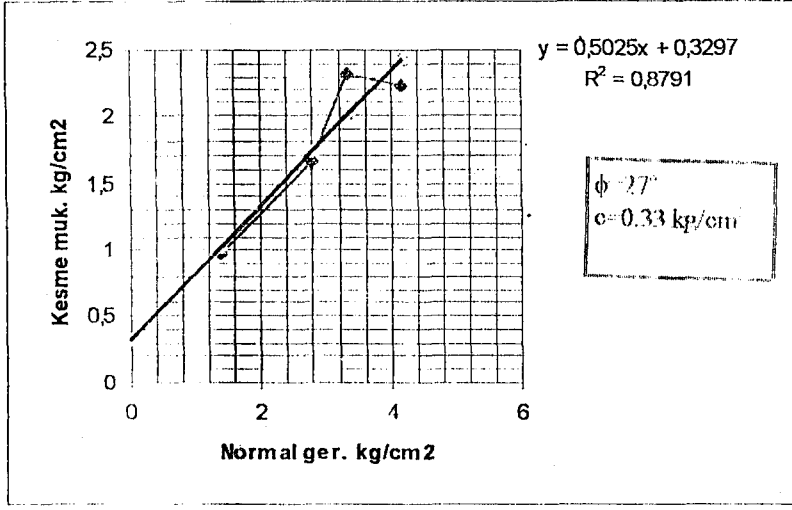
Şekil 6.16. Akkonak mahallesi zemin kesiti

Tablo 6.26. Akkonak mahallesi kıvam limitleri ve zemin sınıfı

Derinlik (m)	γ_n (kn/m ³)	W_n (%)	W_p (%)	W_L (%)	Zemin sınıfı
3	18.25	20.71	18	26	CL-ML
4	18.05	21	17	24	GC



Şekil 6.17. Akkonak mahallesi kesme kutusu deneyi sonuçları H=3,5 m



Şekil 6.18. Akkonak mahallesi kesme kutusu deneyi sonuçları H = 4 m.

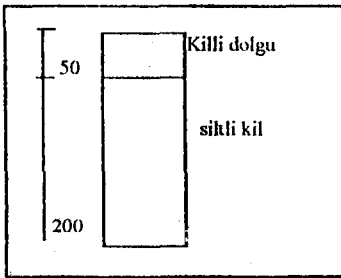
Taşıma gücü analizleri :

Tablo 6.27. Akkonak mahallesi taşıma gücü değerleri (KN/m²)

Derinlik	B=1.5 m Sürekli temel	B=1.5 m Tekil temel
3	125	140
4	140	150

6.5.7. Anafartalar Mahallesi

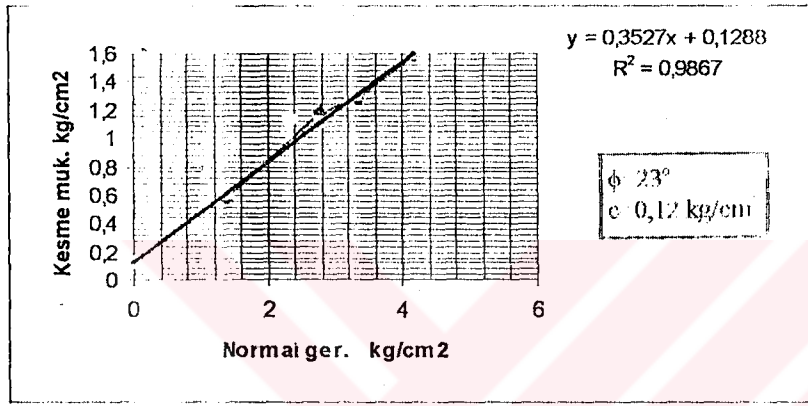
Anafartalar mahallesinde açılan 2.5 m'lik temel çukurundan numune alınarak dencyler yapılmıştır.



Şekil 6.19. Anafartalar mahallesi zemin kesiti

Tablo 6.28. Anafartalar mahallesi kıvam limitleri ve zemin sınıfı

Derinlik (m)	γ_n (kn/m ³)	W_n	W_p	W_L	Zemin sınıfı
2	19.05	19	17	29	CL



Şekil 6.20. Anafartalar mahallesi kesme kutusu deneyi sonuçları H=2.5 m

Taşıma gücü analizleri:

Tablo 6.29. Anafartalar mahallesi taşıma gücü değerleri (kN/m)

Derinlik	B=1.5 m Sürekli temel	B=1.5 m Tekil temel
2.5 m	72	80

6.6 Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında şehir merkezinde açılan temel çukurlarından alınan zemin örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri ve özel ve kamu kurumlarınca yapılan geoteknik etüdler incelenmiştir. Etüd yerleri Denizli jeoloji haritası üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.22).

Jeoloji haritası incelendiğinde 6 farklı jeolojik yapı gösterdiği görülmektedir. Bu jeolojik bölgeler:

- A. Suni dolgu (kil, kum, çakıl)
- B. Alüvyon (çakıl, kum, kil)
- C. Yer yer kum içerikli kil
- D. Altta silt, kil, üstte çakıl mercekli kum
- E. Kum, kil mercekli çakıl, çakıltaşı
- F. Altta marn, kil, üstte kum, çakıllı kum formasyonlarını temsil etmektedir.

Örnekleme yerlerinin bu bölgelere göre dağılımı Tablo 6.29' da verilmiştir.

Tablo 6.30. Örnekleme noktalarının jeoloji bölgelerine göre dağılımı

BÖLGE	Örnekleme Noktaları
A	3,6,P2
B	4
C	P1, P7, 7
D	P3, P4, P5, 5, 6
E	İncelenmemiştir
F	1, 2, 3, P2, P6

P= Bu çalışma kapsamında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik laboratuvarında yapılan çalışmalar

A bölgesi; dolgu zeminden oluşmaktadır. Dolgu zeminde kil, kum, çakıl yatay ve düşey geçişler göstermektedir. Yer yer kum, kil, çakıl karışık bir haldedir. İncelemeler killi alanlarda yapılmıştır. Muratdede, Akkonak, İlbadi, Gümüşçay, Şemikler mahalleleri bu bölgede yer almaktadır. Üst dolgu kaldırıldıktan sonra sağlam bir temel zeminine ulaşılmaktadır. Taşıma gücü problemi yeraltı suyunun yüksek olduğu yerlerde görülmektedir. Dolguların gevşek yerleşimleri nedeniyle taşıma gücü ve oturma problemi ile karşılaşılabilir. Bölgede yapılan standart penetrasyon deneyi darbe değeri 22-47 arasındadır. Bu değer zeminin çok katı ve sert kıvamda olduğunu göstermektedir. Bölgeden alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden içsel sürtünme açısı 19° - 23° arası, kohezyon 36 KN/m² dir. Dolgu zeminin karışık olmasından veya çakıl bantları olmasından

dolayı SPT deneyi yanıltıcı olabilir. Ön incelemede farkedilmeyen dolgudaki gevşek yerler, temelde ve üst yapıda hasar meydana getirebilir. Bu nedenle bu bölgede zemin incelemelerinin detaylı yapılması zorunlu hale gelmektedir.

B bölgesi; alüvyon zeminden oluşmaktadır. Alüvyon içerisinde çakıl, kum, kil karışık durumdadır. Denizli’de alüvyon zeminlere Kınıklı, SSK Hastanesi, Yenişehir, Şirinköy ve diğer kuru dere yataklarında rastlanmaktadır. Bu bölgede temel zemini bloklu yapıya sahiptir. Blok büyüklükleri Yenişehir’de 50-200 cm arası, Kınıklı bölgesinde 10-50 cm arasındadır. Bölgede bloklardan dolayı sondaj problemleri yapılmaktadır. Kaya blokları konsolide kil içerisinde yer almaktadır. Zeminin gevşek yapısından dolayı oturma beklenebilir. Bölgede yeraltı su seviyesi düşüktür. Temel kazılarında yeraltı suyu problemi bulunmamaktadır. Bloklardan dolayı standart penetrasyon deneyleri yanıltıcı olabilir. Alınan zemin örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinde zemin sınıfı CL düşük plastisiteli kil, içsel sürtünme açısı ortalama 12° , Kohezyon 170 KN/m^2 bulunmuştur. Bölgede yapılan zemin etüdlerinde zemin emniyet gerilmesi 160 KN/m^2 olarak verilmiştir. Bölge orta ve iri boyuttaki bloklardan dolayı homojen olmayan temel zemini özelliği göstermektedir. Bu da temel zemini olarak riskli bir zemin yapısı oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı blokların temel altında mesnet oluşturmasının önlenmesi amacıyla belli kalınlıkta (>50-100 cm) stabilize malzeme dolgudan sonra temelin yapılması, temelden zemine aktarılan yükün homojen bir şekilde dağılmasını sağlayacaktır.

C bölgesi; yer yer kum içerikli kilden oluşmaktadır. Bu bölgede Bakırlı, Topraklık, Pelitlibağ, Bayramyeri ve İstiklal mahallesinin bir bölümü yer almaktadır. Bu bölgede yapılan zemin etüdlerinde üst tabakalarda yumuşak kil (CL), 2 m’den sonra SM-SC kumlu kil zemine rastlanmıştır. Bölgede standart penetrasyon deneyi darbe değeri ortalama 25’dir. Zemin çok katı kıvamdadır. Zemin emniyet gerilmesinin $60-150 \text{ KN/m}^2$ değerleri arasında olduğu gözlenmiştir. Derinlere inildikçe normal ve aşırı konsolide olmuş kil tabakalarına rastlandığından taşıma gücünde artış olacağı gözlenmiştir.

D bölgesi; altta silt, kil, üstte çakıl mercekli kumdan oluşmaktadır. İstiklal, Sırapapılar, İncilipınar, Dükkanönü mahalleleri bu bölgede yer almaktadır. Bölgede yapılan çalışmalarda Kiremitçi mahallesinde ilk iki metrede kumlu siltli kil, 2-4 m’de çakıllı kumlu

kil, 4 m'den sonra sıkı çakıllı kile girilmektedir. İlk 2 m'de standart penetrasyon deneyi darbe değeri 10 olup, orta katı kıvamdadır. 2 m' den sonra SPT darbe değeri 30'un üzerine çıkmaktadır. Zemin kıvamı sert hale gelmektedir.

İstiklal mahallesinde ilk 3.5 m gri siltli kil, 3.5-6.5 m siltli kum ve sonra çakıllı kumdur. İlk 3.5 metrede kil zemin suya doygun ve yumuşak kıvamdadır. SPT ortalama darbe değeri 6'dır.

İncilipınar mahallesinde ilk 2 m' de killi kum, daha sonra sert killi zemine rastlanmaktadır. Alman örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinde zeminin düşük plastisiteli kil (CL) olduğu görülmüştür. İçsel sürtünme açısı 28° , kohezyon 16 KN/m^2 dir.

İnönü caddesinde yapılan çalışmalarda ilk 3 m'de yumuşak kil, 3 m'den sonra sert kile rastlanmaktadır. Alman zemin örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinde zeminin düşük plastisiteli kil (CL) olduğu, kohezyonun 33 KN/m^2 , içsel sürtünme açısının 26° olduğu görülmüştür. Bu bölgede taşıma gücü $70-150 \text{ KN/m}^2$ arasındadır.

E bölgesi; kum, kil mercekli çakıl zeminlerden oluşmaktadır. Kuşpınar, Değirmenönü, Hacı Faki, Günbattı mahalleleri bu bölgede yer almaktadır. Bu bölgede iri taneli zeminler bulunduğundan bu çalışma kapsamında ayrıntılı zemin incelemesi yapılmamıştır.

F bölgesi; zemini altta marn kil, üstte kum, çakıllı kumdan oluşmaktadır. Eskihisar, Dokuzkavaklar, Asri mezarlık, mahalleleri bu bölgeye girmektedir. Eskihisar'da yapılan incelemelerde en üstte kum tabakası görülmüştür. Kum zemin siltli yer yer killi özellikler sunar. Kum tabakasının altında gri, koyu gri, sarı renkli kumlu killi silt tabakaları yer almaktadır. Bölge zeminlerinde ilk 3 metrede SPT darbe değeri ortalama 25 olup, kıvamı çok katıdır. 3m. sonrası SPT darbe değeri 30'u aşmakta sert kıvam göstermektedir.

Tabakaların genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Siltli Kum :

Kohezyon = 0

İçsel sürtünme açısı = 32.5°

Birim hacim ağırlığı = 18 kN/m^3

Elastisite modülü = 30000 kN/m^2

Yatak katsayısı = 30000 kN/m^3

Çakıllı killi kum :

$c = 0$

$\phi = 38^\circ$

$\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$

$E_s = 50000 \text{ kN/m}^2$

$k_v = 40000 \text{ kN/m}^3$

Siltli kumlu kil:

$c = 100 \text{ kN/m}^2$

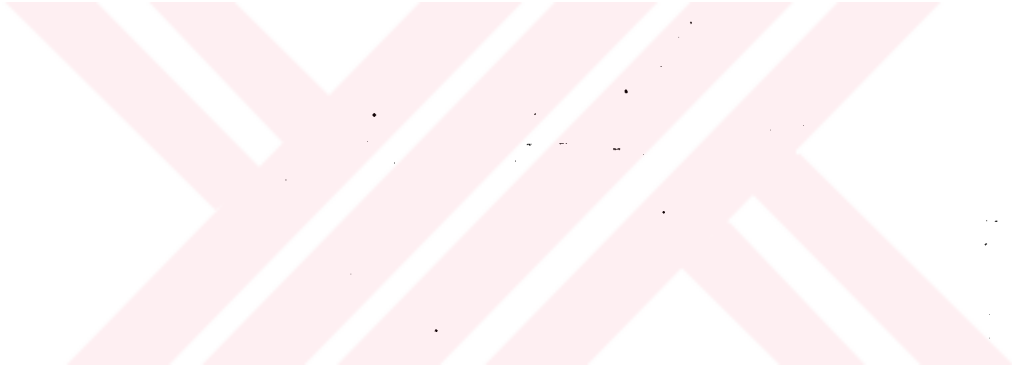
$\phi = 0^\circ$

$\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$




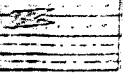
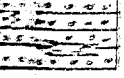
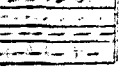
Şirinköy taraflarında yapılan çalışmalarda, standart penetrasyon deneyi darbe değeri ortalama 25'tir. Zemin katı kıvamdadır, taşıma gücü problemi yoktur.

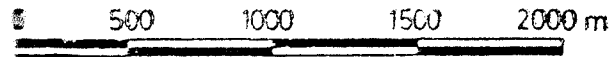
Gümüşler Belediyesi yanında yapılan çalışmalarda zemin ilk 2 metrede yumuşak kildir. Kohezyon 34 KN/m^2 , içsel sürtünme açısı 19° dir. Sığ temelerde oturma problemi görülmesi muhtemeldir. Bölgede taşıma gücü $90-150 \text{ KN/m}^2$ arasındadır.

Denizli'de killi zeminlerde taşıma gücünün düşük olması ve zeminlerin çok farklı özellikler göstermesi bilhassa önemli yapılarda ayrıntılı temel zemini incelemelerini zorunlu kılmaktadır.

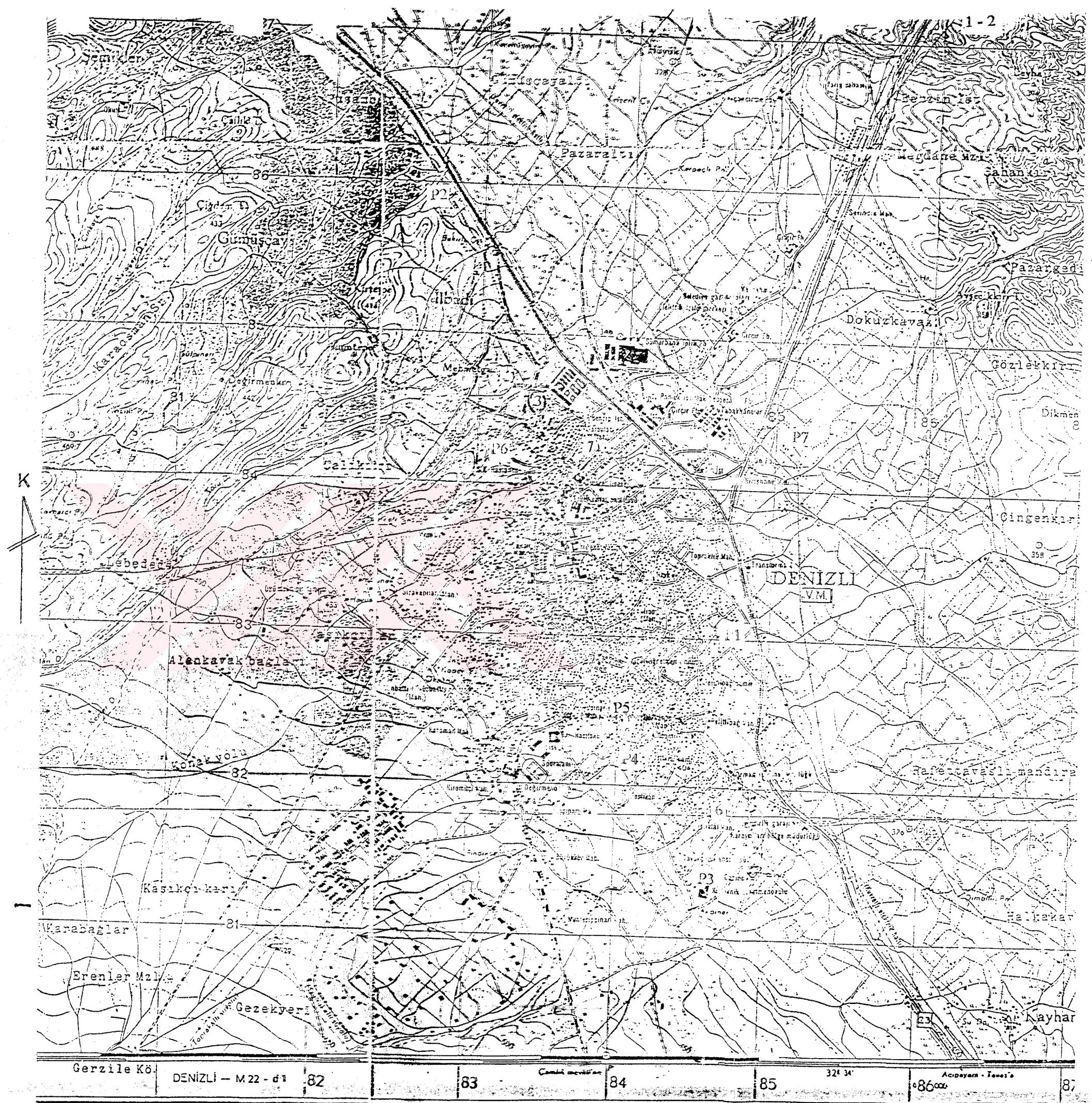


AÇIKLAMA

- A  Suni dolgu
(kil, kum, çakıl, inşaat artığı)
- B  Alüvyon (çakıl, kum, kil)
- C  Yer yer kum içerikli kil
- D  Altta silt, kil;
Üstte çakıl mercekli kum
- E  Kum, kil mercekli çakıl,
çakıltaşı
- F  Altta marn, kil;
Üstte kum, çakıllı kum



1:11. Denizli beldesinin jeolojik haritası



BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında kil zeminlerin genel mühendislik özellikleri ayrıntılarıyla özetlenmiştir. Kil zemin üzerine oturacak yapıların zemin ve temel etüdlerinin ayrıntılı yapılması zorunluluğu bir kez daha ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada kil zeminler için Bölüm 4'de verilen etüd yöntemi önerilmiş ve belirlenmesi gereken geoteknik ve jeolojik özellikler sistematik belirtilmiştir. Zemin emniyet gerilmesinin taşıma gücü ve oturma şartının sağlanması ile belirlenmesinin önemi anlatılmıştır.

Çalışma kapsamında Denizli jeoloji haritası ve şehir merkezinde özel ve kamu kurum ve kuruluşlarınca yapılmış olan geoteknik etüd sonuçlarının incelenmesi sonrası killi bölgeler belirlenmiştir. Killi bölgelerde şehir merkezinde açılan temel çukurlarından örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmış, zemin sınıflandırma ve taşıma gücüne esas olacak laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Etüd sonuçlarının incelenmesinden Denizli jeolojik olarak 6 bölgeye ayrılmıştır (Şekil6.22). A, B, C, D, F bölgelerinden numuneler alınmıştır.

A bölgesi; dolgu zeminden oluşmaktadır. Dolgu zeminde kil, kum, çakıl yatay ve düşey geçişler göstermektedir. Yer yer kum, kil, çakıl karışık bir haldedir. Muratdede, Akkonak, İlbadi, Gümüşçay, Şemikler mahalleleri bu bölgede yer almaktadır. Üst dolgu kaldırıldıktan sonra sağlam bir temel zeminine ulaşılmaktadır. Dolguların gevşek yerleşimleri nedeniyle taşıma gücü ve oturma problemi ile karşılaşılabilir. Bölgede yapılan standart penetrasyon deneyi darbe değeri 22-47 arasındadır. Bu değer zeminin çok katı ve sert kıvamda olduğunu göstermektedir. Bölgeden alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden içsel sürtünme açısı 19° - 23° arası, kohezyon 36 KN/m^2 dir.

B bölgesi; alüvyon zeminden oluşmaktadır. Alüvyon içerisinde çakıl, kum, kil karışık durumdadır. Denizli'de alüvyon zeminlere Kınıkh, SSK Hastanesi, Yenişehir, Şirinköy ve

diğer kuru dere yataklarında rastlanmaktadır. Bu bölgede temel zemini bloklu yapıya sahiptir. Blok büyüklükleri Yenişehir'de 50-200 cm arası, Kınıklı bölgesinde 10-50 cm arasındadır. Bölgede bloklardan dolayı problemli yapılmaktadır. Bloklar konsolide kil içerisinde yer almaktadır. Bölgede yeraltı su seviyesi düşüktür. Alınan zemin örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinde zemin sınıfı CL düşük plastisiteli kil, içsel sürtünme açısı ortalama 12° , kohezyon 170 KN/m^2 bulunmuştur. Bölgede yapılan zemin etüdlerinde zemin emniyet gerilmesi 160 KN/m^2 verilmiştir. Bölge orta ve iri boyuttaki bloklardan dolayı homojen olmayan temel zemini özelliği göstermektedir. Bu da temel zemini olarak riskli bir yapı oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı blokların temel altında mesnet oluşturmasının önlenmesi amacıyla belli kalınlıkta ($>50-100 \text{ cm}$) stabilize malzeme dolgudan sonra temelin yapılması, temelden zemine aktarılan yükün homojen bir şekilde dağılmasını sağlayacaktır.

C bölgesi; yer yer kum içerikli kilden oluşmaktadır. Bu bölgede Bakırlı, Topraklık, Pelitlibağ, Bayramyeri ve İstiklal mahallesinin bir bölümü yer almaktadır. Bu bölgede yapılan zemin etüdlerinde üst tabakalarda yumuşak kil (CL), 2 m'den sonra SM-SC kumlu kil zemine rastlanmıştır. Bölgede standart penetrasyon deneyi darbe değeri ortalama 25'dir. Zemin çok katı kıvamdadır. Zemin emniyet gerilmesinin $60-150 \text{ KN/m}^2$ değerleri arasında olduğu gözlenmiştir.

D bölgesi; altta silt, kil, üstte çakıl mercekli kumdan oluşmaktadır. İstiklal, Sıracapılar, İncilipınar, Dükkanönü mahalleleri bu bölgede yer almaktadır. Bölgede yapılan çalışmalarda Kiremitçi mahallesinde ilk iki metrede kumlu siltli kil, 2-4 m'de çakıllı kumlu kil, 4 m'den sonra sıkı çakıllı kile girilmektedir. İlk 2 m'de standart penetrasyon deneyi darbe değeri 10 olup, orta katı kıvamdadır. 2 m'den sonra SPT darbe değeri 30'un üzerine çıkmaktadır. Zemin kıvamı sert hâle gelmektedir.

İstiklal mahallesinde ilk 3.5 m gri siltli kil, 3.5-6.5 m siltli kum ve sonra çakıllı kumdur. İlk 3.5 metrede kil zemin suya doymuş ve yumuşak kıvamdadır. SPT ortalama darbe değeri 6'dır.

İncilipınar mahallesinde ilk 2m' de killi kum, daha sonra sert killi zemine rastlanmaktadır. Alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinde zeminin düşük plastisiteli kil (CL) olduğu görülmüştür. İçsel sürtünme açısı 28° , kohezyon 16 KN/m^2 dir.

İnönü caddesinde yapılan çalışmalarda ilk 3 m'de yumuşak kil, 3 m'den sonra sert kile rastlanmaktadır. Alınan zemin örneklerinde yapılan labotatuvar deneylerinde zeminin düşük plastisiteli kil (CL) olduğu, kohezyonun 33 KN/m^2 , içsel sürtünme açısının 26° olduğu görülmüştür. Bu bölgede taşıma gücü $70-150 \text{ KN/m}^2$ arasındadır.

E bölgesi; kum, kil mercekli çakıl zemi lerden oluşmaktadır. Kuşpınar, Değirmenönü, Hacı Fakı, Günbattı mahalleleri bu bölgede yer almaktadır. Bu bölgede ayrıntılı zemin incelemesi yapılmamıştır.

F bölgesi; zemini altta marn kil, ustte kum çakıllı kumdan oluşmaktadır. Eskihisar, Dokuzkavaklar, Asri mezarlık mahalleleri bu bölgeye girmektedir. Eskihisar'da yapılan incelemelerde en üstte kum tabakası görülmüştür. Kum zemin siltli yer yer killi özellikler sunar. Kum tabakasının altında gri, koyu gri, sarı renkli kumlu killi silt tabakaları yer almaktadır. Bölge zeminlerinde ilk 3 metrede SPT darbe değeri ortalama 25 olup, kıvamı çok katıdır. 3m. sonrası SPT darbe değeri $30'$ u aşmakta sert kıvam göstermektedir.

Tabakaların genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

<u>Siltli Kum :</u>	<u>Çakıllı killi kum .</u>	<u>Siltli kumlu kil.</u>
Kohezyon = 0	$c = 0$	$c = 100 \text{ kN/m}^2$
İçsel sürtünme açısı= 32.5°	$\phi = 38^\circ$	$\phi = 0^\circ$
Birim hacim ağırlığı= 18 kN/m^3	$\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$
Elastisite modülü= 30000 kN/m^2	$E_s = 50000 \text{ kN/m}^2$	
Yatak katsayısı= 30000 kN/m^3	$k_v = 40000 \text{ kN/m}^3$	

Şirinköy taraflarında yapılan çalışmalarda, standart penetrasyon deneyi darbe değeri ortalama $25'$ tir. Zemin katı kıvamdadır, taşıma gücü problemi yoktur.

Gümüşler Belediyesi yanında yapılan çalışmalarda zemin ilk 2 metrede yumuşak kildir. Kohezyon 34 KN/m^2 , içsel sürtünme açısı 19° dir. Bölgede taşıma gücü $90-150 \text{ KN/m}^2$ arasındadır.

Terzaghi tarafından verilen taşıma gücü denklemleri kullanılarak uygun taşıma basınçları hesaplanmıştır. Bulunan değerler en düşük 75-200 kN/m² civarındadır. Çevre şartları göz önüne alındığında temel taşıma gücünün bu değerlerin üzerinde olacağı açıktır.

Denizli’de 2 kg/cm² üzerinde zemin emniyet gerilmesi alınmasına müsaade edilmemesi özellikle kil zemine oturan temeller için çok yerindedir. Denizli’de karşılaşılan kil zeminlerde sürekli temel ve radye temel yapılması ve yapıların bodrumlu yapılar yapılar yapı ağırlığının bir kısmının kazılan toprak ağırlığı ile karşılanması taşıma gücü ve oturma sorunları ile karşılaşılmasını sağlamaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus bodrumsuz sığ temellerde emniyet gerilmesinin düşük tutulmasıdır.

Denizli’de kil zemine oturan temellerde oturmaların azaltılması için alınabilecek önlemler şunlardır.

1. Sıkışabilir zemin tabakasının uzaklaştırılması:

Yumuşak tabakaların sıkışması sonucunda oluşan oturmalar temeldeki yumuşak tabakanın kazılarak kaldırılması sonucu önlenir. Sıkışabilir tabaka yerine taşıyıcı granüler malzeme serilebilir.

2. Taban basıncının küçük seçilmesi:

Yapının altındaki taban basıncını küçük tutmak oturmalarla karşı alınabilecek etkili bir önlemdir. Yapı hafif yapı elemanları ile üretilebilir veya temel tabanı genişletilerek gerilmeler küçültülür.

3. Sıkışabilir tabakaların önceden sıkıştırılması:

Kil zemin ön konsolidasyona tabi tutularak önceden yeterli oturmaya yapması sağlanabilir. Ön konsolidasyon uygulamasında su seviyesinin düşürülmesi iyileştirme için etkili olur. Plastik killerin sıkışmaları için en etkili yöntem ön yüklemedir. Bazı durumlarda dinamik kompaksiyon gibi yöntemler de kullanılabilir.

4. Göçmeye karşı emniyete almak:

Yapının altında bulunan yumuşak kil tabakasının yanlara kaçmasıyla oturmalar ve göçme meydana gelebilir. Yumuşak tabakanın yanlara kaçması önlenmelidir.

5. Temeller rijit temel olarak projelendirilebilir.

6. Yükü temele erken koymak ve yapının inşaatı bitmeden önce uzun süre etki ettirmek.

7. Yapıyı yavaş inşa etmek.

8. Derin temel inşa etmek:

Ağır yapıların inşasında radye temel yapılsa bile oturmaların önüne geçilemeyebilir. Bu durumlarda yüzer yapı oluşturmak ve yükleri sağlam tabakaya aktarmak için derin temel inşasına gidilebilir. Sondajlar sonucu sağlam tabakaya rastlanılmıyorsa kazık temel çözümü yapılabilir.

Denizli’de killi zeminlerin taşıma gücü problemi zemin emniyet gerilmesi düşük alınarak çözülebilir. Önemli oturmalar zemin emniyet gerilmesinin düşük tutulması yanında yukarıda sayılan önlemlerle önlenabilir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta Denizli’nin 1. derece deprem riskine sahip olması ve bu nedenle zemin-yapı etkileşiminin projelendirilmede göz önüne alınması gerektiğidir. Zemin-yapı etkileşimi problemi ancak uygun zemin etüdü yapılarak çözülebilir.

Denizli’de zeminlerin çok farklı özellikler göstermesi temel zemini incelemelerinin önemini arttırmaktadır. Zemin etüdü zorunluluğunun uygulamada kavranılması ve kanuni düzenlemelerle zorunlu hale getirilmesi sağlıklı yapıların inşa edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Önalp A. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi; Cilt 1,2 KTÜ yayını, Trabzon, 1983
2. Das B.M., Advanced Soil Mechanics, International Edition, Mc Graw - Hill Book Co.1983
3. Jumicis A.R. Soil Mechanics Robert E. Krieger Co. Malabar, Florida, 1984.
4. Jumicis A.R. Mechanics of Soils Fundamentals For Advanced Study, D. Van Nostrand Co. Princeton, New Jersey 1964
5. Craig R.F. Soil Mechanics, Chapman and Hall, Fourth Edition, London, 1990
6. Brand E.W., Brenner R.P., Soft Clay Engineering, Elsevier Scientific Publishing Co. New York, 1981
7. Lambe T.W.,Whitman R.V.,Soil Mechanics, SI Version John Wiley and Sons, Singapore 1979
8. Rahn H.P., Engineering Geology An Environmental Approach, Elsevier Science Publishing Company Inc. NewYork 1986
9. Capper L.P., Cassie W.F., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çevirenler: Kumbasar V. ve Kip F., Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1984
- 10.Ulusay R., Pratik Jeoteknik Bilgiler, Teknomad Yayınları, Ankara, 1989.
- 11.Kumbasar V., Kip F., Zemin Mekaniği Problemleri, Çalayan Yayınevi, İstanbul, 1985
- 12.Özaydın K., Zemin Mekaniği, Meva Yayıncılık, İstanbul, 1989
13. Öztudoğru K., Tan O., Aksoy İ.H. Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği, Birsên Yayınevi, İstanbul, 1988
- 14.Uzuner B., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 1992
- 15.Köseoğlu S, Temeller Statiği ve Kônstrüksüyonu, Cilt 1,2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Ankara
- 16.Şekerciöğlu E. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, TMMOB Jeo. Müh. Odası Yayını, Ankara, 1993
- 17.Erguvanlı K., Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul, 1994
- 18.Erdem N.P., Mühendislik Jeolojisi, Yıldız Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1982

19. Peck, Hanson, Thornburn, Foundation Engineering, Second Edition, John Wiley, New York, 1974
20. Aka İ., Keskinel F., Arda T.S., Betonarme Yapı Elemanları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1987
21. Bowles J.E., Foundation Analysis and Design, Fourth Edition, Mc Graw-Hill International Editions, Singapur, 1988
22. Ordemir İ., Foundation Engineering, ODTÜ, Ankara, 1984
23. Mertol A. Betonarme Temeller, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1984
24. Wasti Y., Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri TMMOB İnş. Müh. Odası Yayını, Ankara, 1989
25. Yıldırım H., Ansal A. Haliç Kilinin Geoteknik Özellikleri, 3. Ulusal Kil Sempozyumu, Eylül 1987, Ankara, Bildiriler Kitabı, Sy. 357-370
26. Yener Ö. İzmir Körfezi Kuzeyinde Yeralan Alüvyon Zeminlerin Genel Özellikleri, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sempozyumu, Kasım 1991, İzmir, Bildiriler Kitabı, Sy 207-220
27. Yılmaz R. Binalarda Görülen Oturmaların Nedenleri ve Temel Sisteminin Seçimi Üzerine Bir Araştırma, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sempozyumu, Kasım 1991, İzmir, Bildiriler Kitabı, Sy 77-97
28. Kayalar A.Ş., Özden G., Ceylan H., Gaziantep Yöresi Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Semp., Kasım 1991, İzmir, Bildiriler Kitabı, Sy 99-113
29. Kasapoğlu K., Kiper B. Ankara Kilinin Jeo-Mühendislik Özellikleri 3. Ulusal Kil Sempozyumu, Eylül 1987, Ankara, Bildiriler Kitabı, Sy 343-352
30. Gökay K.M., Ünal M., Kil Mühendisliği Tasarım Metodolojisinin İncelenmesi 7. Ulusal Kil Sempozyumu, Eylül 1995, Ankara, Bildiriler Kitabı, Sy. 306-319
31. Özpınar Y., Kılıç D. Denizli İli Çevresindeki Alüvyoner Agregalarda Kil Minerallerinin Beton Dayanımına Etkileri, 7. Ulusal Kil Sempozyumu, Eylül 1995, Ankara, Bildiriler Kitabı, Sy. 341-350
32. Özpınar Y., Kumsar H., Gökğöz A. Denizli-Kaklık Çevresindeki Kil Oluşumlarının Denizli Çimento Fabrikasında Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, 7. Ulusal Kil Sempozyumu, Eylül 1995, Ankara, Bildiriler Kitabı, Sy. 371-383
33. Önalp A., Balta İ., Doğu Karadeniz Killerinin Oluşumu, Özellikleri, ZMTM 2. Ulusal Kongresi, Mayıs 1987, İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt 1. Sy. 59-69
34. Trak B. Doğal Killerin Temel Davranış Biçimleri ve Bunların Stabilitate Hesaplarına Etkisi, ZMTM 2. Ulusal Kongresi, Mayıs 1987, İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt 2. Sy. 327-359

35. Ansal A., Güneş M. Konsolidasyon Özelliklerinin İstatiksel Analizi, ZMTM 2. Ulusal Kongresi, Mayıs 1987, İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt 1. Sy. 15-28
36. Bowles J.E., Engineering Properties of Soils and Their Measurement, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1970
37. Annual Book of ASTM Standards, American Society For Testing and Materials, Philadelphia 1973
38. TSE, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TSE 1900, Ankara, 1987
39. TSE, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, TSE 1500, Ankara, 1974
40. TSE, İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselemiş ve Örselememiş Numune Alma Yöntemleri, TSE 1901, Ankara, 1975
41. Anonim, Zemin ve Temel Etüdü Raporunun Hazırlanmasına İlişkin Esaslar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1994

SONDAJ METODU Rotary		YERLİK EKİTLİK Boyu		SONDAJ NO S. 1	
SONDAJIN ÇAP: 76/114 mm.		Dönüştürme Ölçüsü		Bölge 1 Sayı 61	
MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		SONDAJIN DERİNLİĞİ		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.	
MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.	
Derinlik (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)
1.50	01 5 7 7				
3.00	02 7 18 15				
4.50	03 8 10 17				
6.00	04 8 10 11 11 11				
7.50	05 13 14 16				
9.00	06 7 7 8				
10.50	07 7 8 9				
12.00	08 11 11 11				
13.50	09 8 10 12				
15.00	09 10 10 12				
16.50	10 10 10 11				
18.00	09 11 11 14				
19.50	09 11 12 11				

SONDAJ METODU Rotary		YERLİK EKİTLİK Boyu		SONDAJ NO S. 2	
SONDAJIN ÇAP: 76/89 mm.		Dönüştürme Ölçüsü		Bölge 1 Sayı 62	
MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		SONDAJIN DERİNLİĞİ		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.	
MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.	
Derinlik (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)
1.50	01 6 10				
3.00	02 7 9				
4.50	03 6 9				
6.00	04 6 9 10				
7.50	05 10 11 11				
9.00	06 10 10 11				
10.50	07 10 10 11				
12.00	08 10 10 11				
13.50	09 7 9 11 11 11				
15.00	09 8 10				
16.50	09 7 9 11				
18.00	09 6 7 10				
19.50	10 8 10 12				

SONDAJ METODU Rotary		YERLİK EKİTLİK Boyu		SONDAJ NO S. 3	
SONDAJIN ÇAP: 76/89 mm.		Dönüştürme Ölçüsü		Bölge 1 Sayı 63	
MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		SONDAJIN DERİNLİĞİ		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.	
MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.		MÜHÜRLEME BİREKİMİ ÇAP: 100/110 mm.	
Derinlik (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)	Boy (m)
1.50	01 7 9 11				
3.00	02 8 10 11				
4.50	03 10 12 14				
6.00	04 12 13 16				
7.50	05 14 13 25				
9.00	06 15 19 24				
10.50	07 24 25 27	Boy			
12.00	08 16 28 31				
13.50	09 20 27 30				
15.00	09 28 30 34				
16.50	09 30 40 44				
18.00	09 31 37 46				
19.50	09 30 39 42				

EK 1. Eysel Atıksu Arıtma Tesisi Sondaj Kesitleri

ÖRNEK SAMPLE	STANDART PENETRASYON STANDARD PENETRATION					ARAZİ GÖZLEMİ FIELD IDENTIFICATION	KAROLU ROD	KONİ CR
	DERİNLİK DEPTH	0-15	15-30	30-45	45-60			
1								
2						Çamurlu, kumlu yumuşak malzeme		
3						Kil-kum çabuk		
4								
5								
6								
7	SPT 1	700-750	16	13	13			
8						Sakı çaplı yumuşak malzeme		
9	SPT 2	250-300	11	12	12			
10								
11								
12								

ÖRNEK SAMPLE	STANDART PENETRASYON STANDARD PENETRATION					ARAZİ GÖZLEMİ FIELD IDENTIFICATION	KAROLU ROD	KONİ CR
	DERİNLİK DEPTH	0-15	15-30	30-45	45-60			
1								
2						Çamurlu ve kumlu		
3						Az kumlu kumlu çabuk		
4	SPT 1	320-365	11	13	13	bloke çabuk yumuşak malzeme		
5								
6								
7	SPT 2	480-520	13	12	23			
8								
9	SPT 3	250-300	14	21	21	Sakı çaplı yumuşak malzeme		
10								
11								
12								

ÖRNEK SAMPLE	STANDART PENETRASYON STANDARD PENETRATION					ARAZİ GÖZLEMİ FIELD IDENTIFICATION	KAROLU ROD	KONİ CR
	DERİNLİK DEPTH	0-15	15-30	30-45	45-60			
1								
2						Çamurlu kumlu yumuşak malzeme		
3						Kil-kum çabuk ve bloke çabuk malzeme		
4								
5	SPT 1	450-500	13	13	13			
6								
7	SPT 2	700-750	17	18	13	Sakı çaplı yumuşak malzeme		
8								
9								
10								
11								
12								

ÖRNEK SAMPLE	STANDART PENETRASYON STANDARD PENETRATION					ARAZİ GÖZLEMİ FIELD IDENTIFICATION	KAROLU ROD	KONİ CR
	DERİNLİK DEPTH	0-15	15-30	30-45	45-60			
1								
2						Kum - çabuk bloke		
3						kumlu kil		
4						Kumlu kum çabuk		
5						Bloke az kumlu kumlu kil		
6						bloke		
7	SPT 3	630-700	12	14	16	(Yumuşak malzeme)		
8								
9								
10								
11								
12								

EK 2. Denizli Cam Sanayi Şirköy Sondaj Kesitleri

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU
GENTEK MÜHENDİSLİK LIMITED

PROJE	PAM ÜNİ	EGİM	90	KOORDİNATLAR
LOKASYON	SK1	EGİM YÖNÜ	DNK	X 31 761 20
MAKİNA TİPİ	CRAI IEUS DW50	DERİNLİK	15	Y 20 330 30
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BAŞLAMA T	Z 442	
MUHAFAZA BİRLİĞİ	0	BİTİŞ T		

Sonda Derinliği (m)	Sonda Çapı (cm)	Örnek No	ÖRNEKLER / TESTLER					ZEMİN TANIMI / DESCRIPTION	
			15	20	45	10	20		30
0.1	0.1								Organik rezidual
1	3.5	S11							Kıvrak ve yarı plastik blok
2	7	SPT 8	10	15					Kıvrak ve yarı plastik blok
3	11	SPT 12	15	16					Kıvrak ve yarı plastik blok
4	14	SPT 16	19	21					Kıvrak ve yarı plastik blok

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU
GENTEK MÜHENDİSLİK LIMITED

PROJE	PAM ÜNİ	EGİM	90	KOORDİNATLAR
LOKASYON	SK2	EGİM YÖNÜ	DNK	X 31 652 00
MAKİNA TİPİ	CRAI IEUS DW50	DERİNLİK	15	Y 20 330 30
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BAŞLAMA T	Z 437	
MUHAFAZA BİRLİĞİ	0	BİTİŞ T		

Sonda Derinliği (m)	Sonda Çapı (cm)	Örnek No	ÖRNEKLER / TESTLER					ZEMİN TANIMI / DESCRIPTION	
			15	20	45	10	20		30
0.2									Organik rezidual
1	3	SPT 6	8	11					Kıvrak ve yarı plastik blok
2	5	SPT 10	14	16					Kıvrak ve yarı plastik blok
3	8	SPT 14	18	21					Kıvrak ve yarı plastik blok
4	12	SPT 18	25	31					Kıvrak ve yarı plastik blok

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU
GENTEK MÜHENDİSLİK LIMITED

PROJE	PAM ÜNİ	EGİM	90	KOORDİNATLAR
LOKASYON	SK3	EGİM YÖNÜ	DNK	X 31 920 50
MAKİNA TİPİ	CRAI IEUS DW50	DERİNLİK	15	Y 20 330 30
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BAŞLAMA T	Z 435	
MUHAFAZA BİRLİĞİ	0	BİTİŞ T		

Sonda Derinliği (m)	Sonda Çapı (cm)	Örnek No	ÖRNEKLER / TESTLER					ZEMİN TANIMI / DESCRIPTION	
			15	20	45	10	20		30
0.2									Organik rezidual
1	4	S11							Kıvrak ve yarı plastik blok
2	7	SPT 11	15	20					Kıvrak ve yarı plastik blok
3	10	SPT 14	18	24					Kıvrak ve yarı plastik blok
4	13	SPT 18	24	30					Kıvrak ve yarı plastik blok

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU
GENTEK MÜHENDİSLİK LIMITED

PROJE	PAM ÜNİ	EGİM	90	KOORDİNATLAR
LOKASYON	SK4	EGİM YÖNÜ	DNK	X 31 654 20
MAKİNA TİPİ	CRAI IEUS DW50	DERİNLİK	15	Y 20 330 30
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BAŞLAMA T	Z 440	
MUHAFAZA BİRLİĞİ	0	BİTİŞ T		

Sonda Derinliği (m)	Sonda Çapı (cm)	Örnek No	ÖRNEKLER / TESTLER					ZEMİN TANIMI / DESCRIPTION	
			15	20	45	10	20		30
0.2									Organik rezidual
1	4	S11							Kıvrak ve yarı plastik blok
2	7	SPT 14	16	18					Kıvrak ve yarı plastik blok
3	10	SPT 18	22	30					Kıvrak ve yarı plastik blok
4	14	SPT 22	28	33					Kıvrak ve yarı plastik blok

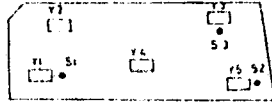
ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU										
GENTEK MÜHENDİSLİK LİMİTED										
PROJE	PAAZ URSİ	EĞİM	90	KOORDİNATLAR						
LOKASYON	SKB	EĞİM YÖNÜ	DNK	X 31 878 30						
MAKİNA TİPİ	CHAI IEUS DWSD	DERİNLİK	9	Y 26 214 20						
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BASİ AMA T		Z 436						
MUHAFAZA BÖRİSÜ DERİNLİ Ğİ	0	BİTİŞ T								
ÖRNEKLER / TESTLER										
Sonda Derinli Ği (m)	15	30	45	10	20	30	40	50	50	50
0										Organik rezidüel
1	1	4	SH							Nerçölçü Miklatı Kısmenli Kısmenli bir miktar ve sarı kumta da bulğunur
2										İlçık nodur de de yapılmamış
3										Nerçölçü Miklatı
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU										
GENTEK MÜHENDİSLİK LİMİTED										
PROJE	PAAZ URSİ	EĞİM	90	KOORDİNATLAR						
LOKASYON	SKB	EĞİM YÖNÜ	DNK	X 31 978 30						
MAKİNA TİPİ	CHAI IEUS DWSD	DERİNLİK	10	Y 26 210 20						
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BASİ AMA T		Z 437						
MUHAFAZA BÖRİSÜ DERİNLİ Ğİ	0	BİTİŞ T								
ÖRNEKLER / TESTLER										
Sonda Derinli Ği (m)	15	30	45	10	20	30	40	50	50	50
0										Organik rezidüel
1	1	2	SH							Nerçölçü Miklatı Kısmenli
2										Nerçölçü Miklatı
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU										
GENTEK MÜHENDİSLİK LİMİTED										
PROJE	PAAZ URSİ	EĞİM	90	KOORDİNATLAR						
LOKASYON	SKB	EĞİM YÖNÜ	DNK	X 31 784 80						
MAKİNA TİPİ	CHAI IEUS DWSD	DERİNLİK	9	Y 26 148 50						
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BASİ AMA T		Z 440						
MUHAFAZA BÖRİSÜ DERİNLİ Ğİ	0	BİTİŞ T								
ÖRNEKLER / TESTLER										
Sonda Derinli Ği (m)	15	30	45	10	20	30	40	50	50	50
0										Organik rezidüel
1	1	4	SH							Kıl + rezidüel Kısmenli argana ve silt
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

ZEMİN SONDAJ LOGU ARAZI FORMU										
GENTEK MÜHENDİSLİK LİMİTED										
PROJE	PAAZ URSİ	EĞİM	90	KOORDİNATLAR						
LOKASYON	SKB	EĞİM YÖNÜ	DNK	X 31 852 20						
MAKİNA TİPİ	CHAI IEUS DWSD	DERİNLİK	11	Y 26 147 0						
SONDAJ YÖNTEMİ	ROTARY	BASİ AMA T		Z 439						
MUHAFAZA BÖRİSÜ DERİNLİ Ğİ	0	BİTİŞ T								
ÖRNEKLER / TESTLER										
Sonda Derinli Ği (m)	15	30	45	10	20	30	40	50	50	50
0										Organik rezidüel
1	1	3	SH							SH + kıl + Çevreli ve 15 kıl + kıl + silt
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

EK 3. Pamukkale Üniversitesi Kampüs Alan Sondaj Kesitleri



Y1 : 2m X 1.3m X 0.75m ebatlı varma

Kahverengi-Gri renkli (Geçirgenlik 10^{-1})		0-0.60m bitkisel toprak
Açık Kahve-Bej renkli (Bozulmuş-Geçirg. 10^{-3})		0.60m-1.20m Siltli-Kumlu Kil
Gri renkli-Karbonat (Çimentolu-Geçirg. 10^{-7})		1.20m ve devamı Konglomera

Y2 : 2m X 1.3m X 0.75m ebatlı varma

Kahverengi-Gri renkli (Geçirgenlik 10^{-1})		0-0.75m bitkisel toprak
Açık Kahve-Bej renkli (Bozulmuş-Geçirg. 10^{-3})		0.75-1.25m Siltli-Kumlu Kil
Gri renkli-Karbonat (Çimentolu-Geçirg. 10^{-7})		1.25m ve devamı Konglomera

Y3 : 2m X 2.05m X 0.80m ebatlı varma

Kahverengi-Gri renkli (Geçirgenlik 10^{-1})		0-1.15m bitkisel toprak
Açık Kahve-Bej renkli (Bozulmuş-Geçirg. 10^{-3})		1.15m-1.95m Siltli-Kumlu
Gri renkli-Karbonat (Çimentolu-Geçirg. 10^{-7})		1.95m ve devamı (Akifuj)

Y4 : 2m X 1.60m X 0.75m ebatlı varma

Kahverengi-Gri renkli (Geçirgenlik 10^{-1})		0-0.85m bitkisel toprak
Açık Kahve-Bej renkli (Bozulmuş-Geçirg. 10^{-3})		0.85m-1.45m Siltli-Kumlu
Gri renkli-Karbonat (Çimentolu-Geçirg. 10^{-7})		1.45m ve devamı-Konglomer (Akifuj)

Y5 : 2m X 2m X 0.90m ebatlı varma

Kahverengi-Gri renkli (Geçirgenlik 10^{-1})		0-1.10m bitkisel toprak
Açık Kahve-Bej renkli (Bozulmuş-Geçirg. 10^{-3})		1.10m-1.90m Siltli-Kumlu
Gri renkli-Karbonat (Çimentolu-Geçirg. 10^{-7})		1.90m ve devamı-Konglomer (Akifuj)

Derinlik (m)	İncelenecek Bölge	Katot 2 P.Q.D	Litolojik Profil	Yapı	Açıklama	S.P.T. 30 cm İçinde Darbe Sayısı	Y.A.S. (24 Sant)
0	N				Bitkisel toprak		
0.60	SPT	100			Kumlu siltli kil	13	↓ 2. Kat
0.75	K	86			Konglomera	15	
1.20	SPT	71			Kil	13	
1.25	K	76			Konglomera	13	
1.45	SPT	102			Siltli kil	13	
1.45	K	82			Kil	13	
1.90	SPT	100			Konglomera	13	
1.90	K	85			Konglomera	13	

Derinlik (m)	İncelenecek Bölge	Katot 2 P.Q.D	Litolojik Profil	Yapı	Açıklama	S.P.T. 30 cm İçinde Darbe Sayısı	Y.A.S. (24 Sant)
0	N				Bitkisel toprak		
0.75	SPT	110			Kumlu siltli kil	10	↓ 2. Kat
1.20	K	79			Konglomera	15	
1.45	SPT	100			Kil	13	
1.45	K	100			Konglomera	13	
1.90	SPT	100			Siltli kil	13	
1.90	K	86			Konglomera	13	

Derinlik (m)	İncelenecek Bölge	Katot 2 P.Q.D	Litolojik Profil	Yapı	Açıklama	S.P.T. 30 cm İçinde Darbe Sayısı	Y.A.S. (24 Sant)
0	N				Bitkisel toprak		
0.75	SPT	100			Kumlu siltli kil	11	↓ 2. Kat
1.20	K	74			Konglomera	15	
1.45	SPT	100			Kil	13	
1.45	K	81			Kil	13	
1.90	SPT	100			Konglomera	13	
1.90	K	77			Konglomera	13	
1.90	SPT	100			Konglomera	13	

YARFA 1 : 2.17 x 1,50 x 0,75

Gri-Kül renkli

0-0.80m.

ağ kumlu kil (Plastik.)

Açık gri renkli

0.80-1.90m.

* Kili Siltli Kum

(Gevşek Yapılı)

Açık kahverengil

1.90-2.17.

Siltli Kum, 0.1-1 mm.

19m Gevşek Yapılı

YARFA 2 : 2.00 x 1.50 x 0,75

Gri-Açıkgrı renkli

0-1.10m.

Siltlikumlu kil

(Plastik)

Açık kahverenkli

1.10-2.00

Siltli Kum

0.1 - 1 mm.

ARAZİ DENETİMİ												
YERİN ADI	YERİN NO	YERİN YERİ	YERİN YERİ	YERİN YERİ	YERİN YERİ	DABİHCİ BU		DABİHCİ BU		S P F	V A S BASAT	
						TEKNEKİ US	TEKNEKİ US	TEKNEKİ US	TEKNEKİ US		TEKNEKİ US	TEKNEKİ US
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												

ARAZİ DENETİMİ												
YERİN ADI	YERİN NO	YERİN YERİ	YERİN YERİ	YERİN YERİ	YERİN YERİ	DABİHCİ BU		DABİHCİ BU		S P F	V A S BASAT	
						TEKNEKİ US	TEKNEKİ US	TEKNEKİ US	TEKNEKİ US		TEKNEKİ US	TEKNEKİ US
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												