

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTALYA-KUNDU BÖLGESİNDEKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

SERVET PELİN ÖZSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

2012

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTALYA-KUNDU BÖLGESİNDEKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

SERVET PELİN ÖZSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**Bu tez 2011.02.0121.048 numara ile Akdeniz Üniversitesi Araştırma Fonu
tarafından desteklenmiştir.**

2012

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA-KUNDU BÖLGESİNDEKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

SERVET PELİN ÖZSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 09.10.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (90) not takdir edilerek
Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Nihat DİPOVA (Danışman)

Prof. Dr. Mustafa Hilmi ACAR

Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK



ÖZET
ANTALYA-KUNDU BÖLGESİNDEKİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
Servet Pelin ÖZSOY

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nihat Dipova

Ekim 2012, 91 Sayfa

Bu çalışmada Antalya İli Kundu bölgesindeki gevşek kum, kil ve organik kökenli zeminlerin geoteknik özellikleri, arazi ve laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Aksu Fay Hattı'na yakın bir mesafede bulunan bölge, hızlı yapılaşma süreci içerisine girmiş ve zemin etüt çalışmaları birçok sebepten ötürü yetersiz kalmış ya da yanlış sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında 10 adet 20 metre derinliğinde sondaj kuyusu açılarak yaklaşık 1.50 m'de bir alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenmiştir. Buna ek olarak arazide Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Konik Penetrasyon Deneyi (CPTU) gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından zeminin indeks, mukavemet ve sıkışabilirlik özellikleri belirlenmiştir. Toplam 487 SPT verisi üzerinde olasılıksal sınıflama analizi yapılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniği ile bir veri tabanı oluşturularak araştırma sonucunda belirlenen sınıflama şiddet indeksi, belirli derinliklerdeki SPT-N değerleri ve zemin cinslerini gösteren tematik haritalar hazırlanmıştır. Bulunan sonuçların kent planlaması, depremsellik araştırmaları, altyapı projelendirilmesi, zemin iyileştirmesi gibi birçok konuda Antalya kentine fayda sağlaması amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Antalya, SPT, Kum, CPT, Kundu, CBS, Sınıflama

JÜRİ: Prof.Dr. Mustafa Hilmi Acar

Yrd. Doç. Dr. Nihat Dipova (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Özgür Aktürk

ABSTRACT
INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SOILS IN
ANTALYA-KUNDU REGION
Servet Pelin ÖZSOY

M. Sc. in Civil Engineering
Adviser: Assist. Yrd. Dr. Nihat Dipova
October 2012, 91 Pages

In this study, geotechnical properties of loose sand, clay and organic origin soils in Kundu district of Antalya have been investigated by field and laboratory experiments. The area which is close to the Aksu fault zone, has experienced quick construction facilities and ground investigation works have been inadequate for many reasons or wrong results have been obtained. In the study 10 boreholes of 20 m depth have been drilled and samples taken in every 1.50 m depth have been examined in the laboratory. In addition, Standard Penetration Test (SPT) and the Cone Penetration Test (CPT) are performed in the field. From the result of the field and laboratory tests; index, strength and compressibility properties of the soil has been determined. Probabilistic liquefaction analysis were performed on a total number of 487 SPT data. A database has been created and maps showing liquefaction severity index, soil classification and SPT-N data for specified depths were prepared by means of Geographical Information System technique. It is aimed that the findings of the study will be beneficial to Antalya in areas of urban planning, site surveys, infrastructure design, ground improvement and similar aspects.

KEYWORDS: Antalya, SPT, Sand, CPT, Kundu, CBS, liquefaction

COMMITTEE: Prof.Dr. Mustafa Hilmi Acar
Assist. Prof. Dr. Nihat Dipova
Assist. Prof. Dr. Özgür Aktürk

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Aksu-Kundu (Antalya) yerleşim alanının geoteknik özellikleri incelenmiştir. İlk aşamada, inceleme alanına ait geoteknik veriler, arazi ve laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarla elde edilerek analizlere hazır hale getirilmiştir. İkinci aşamada elde edilen verilerden yararlanılarak; zemin cinsi, yeraltı suyu durumu ve olasılıksal yöntem ile zeminin sıvılaşma potansiyeli analizinin yapılması amaçlanmıştır. Son aşamada ise CBS tekniği kullanılarak hazırlanan tablosal değerlerin veri tabanına aktarılması, bulunan analiz sonuçlarının gösterilebileceği tematik haritalar hazırlanması ve böylece Antalya-Kundu bölgesine ait geoteknik veritabanı oluşturulması öngörülmüştür. Ayrıca karşılaşılabilecek sorunlarda uygulanması gereken zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi ve bulunan sonuçların kent planlaması, depremsellik araştırmaları için kaynak oluşturması hedeflenmiştir.

Bana bu konuda çalışma imkânı sunan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Nihat DİPOVA'ya, Arş. Gör. Bülent CANGİR'e, tezin yürütülmesi sırasındaki desteklerinden dolayı aileme ve ismini burada yazamadığım tezimin oluşumunda katkısı olan herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri	4
1.3. Çalışmanın Kapsamı	6
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI	8
2.1. Coğrafi Bilgi Sistemine Yönelik Çalışmalar	8
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	10
2.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Projelerinin Hazırlanması	11
2.4. ArcGIS 9.3 Yazılım Programının Avantajları	11
2.5. Zemin Sıvılaşması Tanımı ve Mekanizması	12
2.6. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler	16
2.7. Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmeleri	17
2.8. Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri	23
3. MATERYAL VE METOT	24
3.1. Ön İncelemeler ve Büro Çalışmaları	24
3.2. Materyal	25
3.3. Metot	25
3.3.1. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) Metodolojisi	26
3.3.1.1. Haritaların oluşturulması	28
3.3.2. Arazi Çalışmaları	29
3.3.2.1. Mekanik sondajlar	29
3.3.2.2. Standart penetrasyon deneyi (SPT)	31
3.3.2.3. Konik penetrasyon deneyi	32

3.3.3. Laboratuvar Deneyleri.....	35
3.3.3.1. Sınıflandırma deneyleri	35
3.3.3.1.1. Kuru elek analizi	35
3.3.3.1.2. Islak elek analizi	36
3.3.3.1.3. Hidrometre deneyi	37
3.3.3.1.4. Kıvam limitleri (Atterberg limitleri) deneyi	38
3.3.3.2. Kayma (Makaslama) dayanımının belirlenmesi.....	39
3.3.3.3. Sıkışabilirlik özelliklerinin belirlenmesi	42
3.3.4. SPT'ye Dayalı Sıvılaşma Analiz Yöntemleri.....	44
3.3.4.1. NCEER Workshop yöntemi ile sıvılaşma analizi	44
3.3.4.1.1. Zeminin tekrarlı yüklemeye karşı direnci (CRR)	45
3.3.4.1.2. İnce malzeme oranı (Fc) düzeltilmesi	48
3.3.4.1.3. Tekrarlı gerilme oranı (CSR)	51
3.3.4.1.4. Zeminin sıvılaşma analizi	53
3.3.4.2. Olasılıksal (Probabilistik) yöntem ile sıvılaşma analizi.....	54
3.3.5. ArcGIS 9.3 Yazılım Programı İle Veri Analizi	60
4. BULGULAR.....	63
4.1. Laboratuvar Deney Sonuçları	63
4.2. Arazi Deney Sonuçları	72
4.3. İnceleme Alanının Yeraltısuyu Durumu	81
4.4. Sıvılaşma Analiz Sonuçları	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

amax:	En büyük yatay yer ivmesi
A_0 :	Başlangıçtaki en kesit alanı
C_c :	Birincil Sıkışma İndisi
CB :	Sondaj çapı düzeltmesi
CE :	Enerji düzeltmesi
CL:	İnorganik Killer
CN :	Efektif gerilme düzeltmesi
CR :	Çubuk boyu düzeltmesi
CRR:	Zeminin Tekrarlı Yüklemeye Karşı Direnci
CSR:	Tekrarlı Gerilme Oranı
CSR_{eq} :	Tekrarlı Dayanım Oranı
c_u :	Drenajsız Kayma Dayanımı
e :	Boşluk Oranı
F_r :	CPT Deneyinde Sürtünme Oranı
F_c :	İnce malzeme oranı
g :	Yerçekimi İvmesi
K_s :	Düzeltilme katsayısı
LI :	Sıvılık (likitlik) İndisi
LL :	Likit Limit (%)
M_v :	Hacimsel Sıkışma Katsayısı
M_w :	Depremin moment büyüklüğü
N_{o200} :	No.200 eleğinden geçen malzeme oranı
N_{60} :	Enerji oranına göre düzeltilmiş darbe sayısı
$(N_1)_{60}$:	Tüm düzeltmeler dikkate alınarak belirlenmiş darbe sayısı
$(N_1)_{60cs}$:	Sıvılaşma analizi ince tane oranına göre düzeltilmiş darbe sayısı
PI :	Plastisite İndisi (%)
P_v :	Deniz seviyesindeki açık hava basıncı
r_d :	Gerilme azaltma faktörü
q_c :	CPT Deneyinde Zemin Uç Direnci
q_u :	Tek Eksenli Basma Dayanımı

TH:	Potansiyel olarak sıvılaşabilir tabaka kalınlığı
W:	Derinliğe bağlı sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörüdür.
w_n :	Doğal Su İçeriği
WF:	Yüzeyden olan derinliğe bağlı sıvılaşma potansiyeli azaltma fak.
σ'_v :	Etkin örtü yükü gerilmesi
σ_v :	Toplam düşey örtü yükü gerilmesi
τ_{mak} :	Maksimum kayma gerilmesi
z:	Derinlik

Kısaltmalar

CBS:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CPT :	Konik Penetrasyon Deneyi
LSI :	Sıvılaşma Şiddeti İndeksi
MSF :	Deprem büyüklüğu düzeltme faktörü
PL:	Sıvılaşma Potansiyeli
SPT :	Standart penetrasyon testi
SPT-N :	Standart penetrasyon testi (SPT-N) darbe sayısı
UD :	Örselenmemiş Numune
UU:	Konsolidasyonsuz-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kundu bölgesi çalışma sahası uydu görüntüsü (WEB1 2012).....	1
Şekil 1.2. Antalya ve civarının jeoloji haritası (Akay vd 1985)	4
Şekil 1.3. (a) Antalya çevresindeki diri faylar, (b) Antalya'yı etkisi altında bırakabilecek sismotektonik bölgeler (Dipova ve Cangir 2011)	5
Şekil 1.4. (a) Acısu Çayı ve bölgede yapılaşma devam ederken ortada sıkışmış doğal kumullar ile tarım alanları. (b) Bölgede inşa edilen büyük turistik yapılardan bir tanesi	6
Şekil 2.1. Haritaya GIS bağlantılı olan sondaj raporu ve verileri tablosu.....	9
(Smith 2002)	9
Şekil 2.2. Depremin neden olduğu makaslama yer değiştirmesiyle zemin tanelerinde sıvılaşma sürecinin gelişimi (Youd 1984).....	13
Şekil 2.3. (a) Zemin tanelerinin deprem öncesi görünümü, (b) Zemin taneleri arasında etkiyen temas kuvvetleri, (c) Boşluk basıncının ani artışıyla taneler arasındaki temasın yitimi (www.ce.washington.edu)	14
Şekil 2.4. Kum kaynamalarının oluşumu (Obermier 1996'dan yalınlaştırılarak)	15
Şekil 2.5. Loma prieta (ABD) depreminde gözlenen (a) Kum konisi ve (b) Kum volkanı (www.ce.washington.edu).....	15
Şekil 2.6. 1999 Kocaeli depremi sonucunda Adapazarı'nda elde edilmiş test sonuçları (Bray vd 2004). (a) Çin kriterleri (Seed ve Idriss 1982; Wang 1979); (b) Andrews ve Martin (2000); (c) Seed vd (2003)	20
Şekil 2.7. En kolay sıvılaşabilen ve sıvılaşma potansiyeline sahip zeminler için tane boyu dağılımı açısından sıvılaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a) Düşük ve (b) Yüksek eşşekillilik katsayısına sahip zeminler (Port harbour research institute 1997).....	21
Şekil 3.1. Coğrafi bilgi sistemi metodolojisi (Gümrükçüoğlu 2003).....	28
Şekil 3.3. Örselenmemiş numune alımında kullanılan shelby tüpler	31
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan CPT makinası ve veri toplama sistemi	34
Şekil 3.6. (a) CPT konik ucunun şematik gösterimi, (b) CPT'de kullanılan konik uç	34
Şekil 3.7. Elek analizi ekipmanları.....	36
Şekil 3.8. Islak elek analizi yapılışı.....	36
Şekil 3.9. Hidrometre deneyi.....	37
Şekil 3.10. Koni penetrometre yöntemiyle likit limit deneyi.....	39
Şekil 3.11. Numunenin çevresine geçirelen lastik kılıf	40
Şekil 3.12. Üç eksenli basınç deneyi.....	41
Şekil 3.13. Üç eksenli basınç deneyi sonucu yenilen koyu gri kil numunesi.....	41
Şekil 3.14. Ödometre deney düzeneği	43
Şekil 3.15. Ödometre deney sonuçlarından elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi.....	44

Şekil 3.16. Tekrarlı gerilme direnci (CRR) ile kumlu zeminlerdeki SPT-N arasındaki ilişki (Seed vd 1985).....	46
Şekil 3.17. İnce malzeme (no.200) artışının, tekrarlı gerilme direnci üzerindeki etkisi	49
Şekil 3.18. İnce malzeme oranına bağlı olarak ΔN_1 artışı	49
Şekil 3.19. $I_p \leq \%5$ için ince malzeme içeren zeminin temiz kumdaki eşdeğer SPT direnci için düzeltme katsayısı.....	50
Şekil 3.20. Birim en kesit alanlı kum kolonunda oluşan kayma gerilmesi (τ_{mak})	52
Şekil 3.21. Tij uzunluğu düzeltilmesi (Çetin vd 2004)	56
Şekil 3.22. Proje sondajları	62
Şekil 3.23. Arşiv sondajları.....	62
Şekil 4.1. Çalışma bölgesindeki ince taneli zeminlerin plastisite kartında gösterilmesi	64
Şekil 4.2. Antalya ili Kundu bölgesi 4 m ait zemin cinsi haritası	71
Şekil 4.3. Antalya ili Kundu bölgesi 8.5 m ait zemin cinsi haritası	71
Şekil 4.5. 1 m derinlik için SPT-N değerleri haritası	76
Şekil 4.6. 4 m derinlik için SPT-N değerleri haritası	76
Şekil 4.7. 8.5 m derinlik için SPT-N değerleri haritası	77
Şekil 4.8. CPTU deney sonuçları	78
Şekil 4.8. devamı	79
Şekil 4.8. devamı	80
Şekil 4.9. Antalya ili Kundu bölgesine ait sıvılaşma olasılığı (PL) haritası.....	83
Şekil 4.10. Antalya Kundu bölgesine ait proje sondajlarının sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) haritası.....	83
Şekil 4.11. Antalya kundu bölgesine ait arşiv sondajları sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) haritası.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Siltli ve killi kumların sıvılaşılabirliği (Andrews ve Martin 2000).....	20
Çizelge 3.1. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) kapsam ve özellikleri (Gümrükçüoğlu 2003).....	28
Çizelge 3.2. SPT için düzeltme katsayıları (NCEER 1997).....	49
Çizelge 3.3. Düzeltmiş $(N_1)_{60}$ değerinin belirlenmesinde kullanılan düzeltme faktörleri (Çetin vd 2004).....	56
Çizelge 4.1. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları.....	64
Çizelge 4.2. SK-1 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	66
Çizelge 4.3. SK-2 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	66
Çizelge 4.4. SK-3 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	67
Çizelge 4.5. SK-4 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	67
Çizelge 4.6. SK-5 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	68
Çizelge 4.7. SK-6 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	68
Çizelge 4.8. SK-7 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	69
Çizelge 4.9. SK-8 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	69
Çizelge 4.10. SK-9 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	70
Çizelge 4.11. SK-10 kuyusuna ait zemin örneklerinin dane boyu dağılımı özellikleri.....	70
Çizelge 4.12 Yeraltısuyu Seviyeleri.....	82

1. GİRİŞ

Tez çalışmasında incelemeye konu olan Kundu bölgesi, Antalya İli'nin doğusunda Kopak Çayı ile Aksu Çayı arasında kalan bölgedir. Antalya-Side karayolunun güneyinde, Akdeniz kıyı şeridinde yer almaktadır. Antalya İli, Muratpaşa İlçesi, Kundu mevkiinde, Kundu Plajları, turistik oteller, alışveriş merkezleri ve konutlar bulunmaktadır. İnceleme alanının bulunduğu bölgede Şekil 1.1'de gösterildiği gibi kıyı şeridi boyunca turistik tesisler ve yapıları devam eden inşaatlar yer almaktadır.



Şekil 1.1. Kundu bölgesi çalışma sahası uydu görüntüsü (WEB1 2012)

Tez kapsamında konusu geçen bölge, geniş ve derin bir alüvyon düzlüğünün Akdeniz ile birleştiği kıyı şeridinde yer almaktadır. İnceleme alanı, egemen olarak kum ve ince çakıl malzemelerden oluşur. Çalışma alanı, Kopak ve Aksu akarsularının jeolojik zaman içinde taşıdığı sedimanlarla dolmuştur.

Bu mekanizma içinde ince taneli malzemeler denize kadar taşınarak Kundu kıyı şeridini oluşturmuştur. Kumsalı oluşturan ince kum malzeme, denizden esen hakim rüzgarlar ve düşük eğimli taban topoğrafyası koşulları birleşince, “kıyı kumul”u oluşmaya başlamıştır. Kuru ortamda ve herhangi bir ön yüklemeye uğramadan çökeldiklerinden bu gibi zeminler “gevşek” yapılıdır (Dipova ve Oğuz 1998). Yeraltısuyu seviyesi yüzeye yakındır, kum ve turba zeminler suya doygun durumdadır. Suyu doygun ve gevşek karakterde olan kum zeminler sıvılaşma davranışına eğilimli zeminlerdir. Turba ve yumuşak kil zeminlerde ise deprem etkisi daha fazla hissedilecektir.

Daha önce çalışma alanında zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik kapsamlı çalışmalar yapılmamıştır. Bunun sonucunda Kundu bölgesi için bilgi yetersizliği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla bölgede kapsamlı bir zemin etüd çalışması yapılmıştır. Bulunan sonuçlar ile bölgenin genel geoteknik davranışının belirlenmesi, zemin profillerinin çıkarılması, zeminin mühendislik parametrelerinin belirlenerek, sıvılaşma potansiyeli ve gerektiğinde zemin ıslah ve zemin takviyesi seçeneklerinin tespiti amaçlanmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Antalya'nın doğusundaki Kundu bölgesinde imar çalışmaları yeterli jeolojik ve geoteknik çalışma olmaksızın tamamlanmış olup, bölgede yapılan inşaat çalışmalarında zeminle ilgili sorunlar yaşanmakta, sorunların bir kısmı bireysel olarak çözülebilmekte, büyük bir kısmı ise soru işaretleri ile kalarak yapılaşma devam etmektedir. İncelemeye konu olan alanda, bölgede yapılan konut ve otel inşaatlarına ait zemin etüd raporları haricinde sınırlı sayıda akademik ve teknik çalışma bulunmaktadır. Yerleşim amaçlı arazi kullanım planı ve depreme dayanıklı bina tasarımı için ayrıntılı jeolojik ve geoteknik araştırmalar gereklidir. Bu incelemelere göre belirlenen mikrobölgeleendirme haritaları, mevcut yerleşim alanlarında jeolojik ve geoteknik koşullara uygun yapılanmanın olup olmadığını sorgulamada ve kentin gelişim planlarının hazırlanmasında önemli bir veri kaynağı olacaktır.

Herhangi bir inşaat tasarımı sürecinden önce tamamlanması gereken geoteknik çalışmalarda, ilk olarak netleştirilmesi gereken husus çalışma sahasının mevcut zemin profilinin karakterize edilmesidir. Bu süreç; sondaj yapılması, numune alınması, laboratuvar ve arazi deneyleri yapılması işlemlerini kapsayan uygun bir zemin etüdü programının dikkatlice planlanmasını gerektirmektedir.

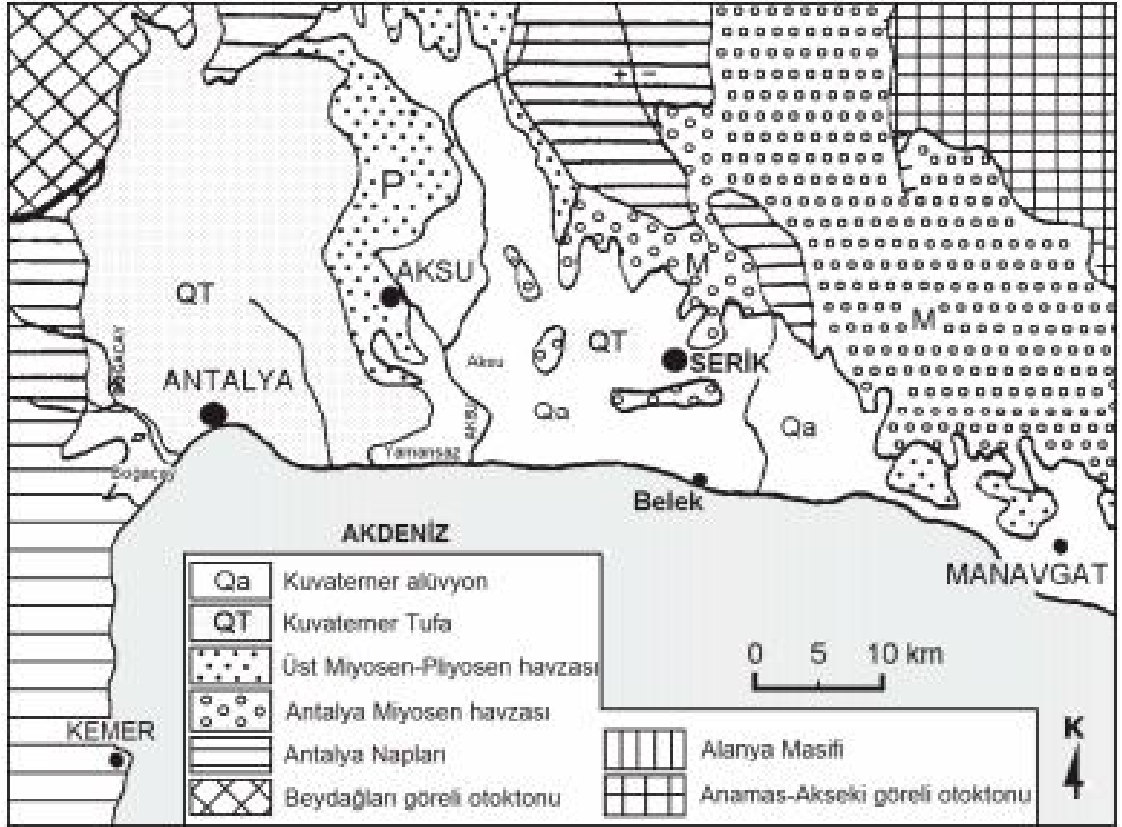
Zemin parametreleri çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenebilmektedir. Laboratuvar deneyleri, yapılmalarının görece kolaylığı ve düşük maliyeti nedeni ile çoğunlukla tercih edilmektedir. Ancak gereğince uygulanmadıkları ve araziden gelen numunenin amaca uygun olmaması durumunda sonuçlar yanıltıcı olmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde numune alma işlemi daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilirken; kohezyonlu zeminlerde ise bazı özel tekniklerle numune alımı gerçekleştirilebilmekle birlikte, bu teknikler oldukça zor ve pahalıdır. Ayrıca numune alımı sırasında, çeşitli fiziksel etkiler sebebiyle az ya da kısmen örselenme meydana gelebilmektedir.

Yapılan çalışmada Kundu bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde laboratuvar; elek analizi, ıslak elek analizi, hidrometre analizi, Atterberg limitlerinin belirlenmesi, üç eksenli basınç deneyi ve konsolidasyon deneyleri yapılarak geoteknik parametreler elde edilmiştir.

Laboratuvarında belirlenen parametreler ile çalışma alanında yapılan SPT (Standard Penetrasyon Deneyi) ve CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) yöntemleri uygulanarak elde edilen verilerden yararlanılarak; zemin cinsi, yeraltısuyu durumu, olasılıksal yöntem ile zeminin sıvılaşma potansiyeli analizinin yapılması ve CBS ortamında bir veri tabanı oluşturulması amaçlanmıştır. Karşılaşılan sorunlarda uygulanması gereken zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi ve bulunan sonuçların kent planlaması, depremsellik araştırmaları için kaynak oluşturması hedeflenmiştir.

1.2. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanı Aksu Ovasının güneybatı şeridinde alüvyon düzlüğünde yer almaktadır. İnceleme alanı ve civarındaki jeolojik birimleri, Batı Torosların bu bölümde Antalya Napı içinde yer alan Triyas yaşlı kireçtaşı, üst Miyosen kumtaşı klastikleri ve üzerinde Pliyosene ait kumtaşı-kiltaşı birimleri, Kuvaterner tufa (traverten) ve alüvyonları oluşturmaktadır (Şekil 1.2).



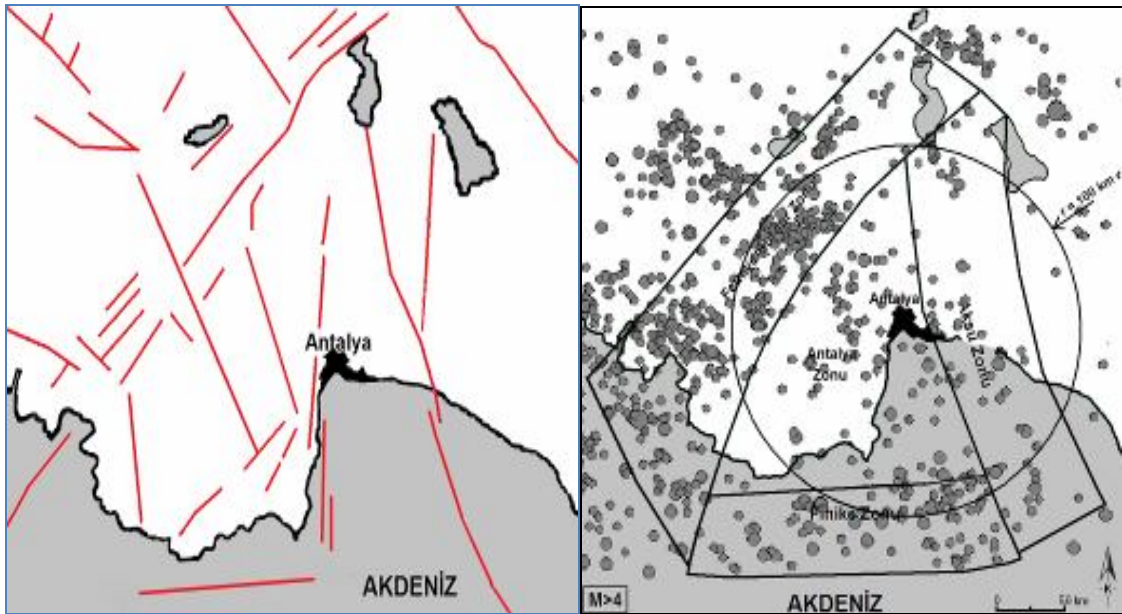
Şekil 1.2. Antalya ve civarının jeoloji haritası (Akay vd 1985)

Alüvyon üzerinde rüzgâr enerjisi ile depolanan kumul birimleri yer almaktadır. Plajdan koparılan değişik tane boyundaki malzemenin, enerjinin bittiği kesimlerde depolanmasıyla kumul tepeleri oluşmuştur. Alüvyon sahası bölgede 10 km'ye varan genişlikte bir düzlük oluşturmaktadır.

Çeşitli jeolojik evrelerde taşınan malzemede kil ve silt içeriği arttığında ya da gölsel ve bataklıksal çökelim söz konusu olduğunda kum içinde kil, silt ve turba katman ya da mercekleri gözlenebilmektedir.

Yapılan sondaj çalışmaları ve laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre Kundu bölgesinde hâkim zemin türleri gevşek kum, orta sıkı siltli-kum ve ince çakıldır. İnceleme alanı genelinde yeraltısuyu 0.60-4.0 m'de ve zemin suya doymun durumdadır. Bölgede tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir.

Antalya ve çevresi, (1) Fethiye-Burdur Fay Zonu, (2) Finike Çukurluğu (3) Aksu Fay Zonu boyunca uzanan faylarda olan hasar yapıcı depremlerden etkilenmektedir (Şekil 1.3). Büyük depremler, genellikle Finike Çukuru ve Aksu Fay Zonu boyunca yoğunlaşmaktadır. Ayrıca Antalya Körfezi içerisinde de yoğun mikro deprem etkinliği gözlenmektedir (Dipova ve Cangir 2011).



(a)

(b)

Şekil 1.3. (a) Antalya çevresindeki diri faylar, (b) Antalya'yı etkisi altında bırakabilecek sismotektonik bölgeler (Dipova ve Cangir 2011)

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma alanı Aksu Fay Hattı'na yakın bir mesafede, Antalya İli'nin doğusunda Kopak Çayı ile Aksu Çayı arasında kalan bölgedir. Aksu ilçesinin ikinci derecede deprem bölgesinde bulunması ve Türkiye'nin aktif fay zonlarından biri olan Helenik-Kıbrıs Yayı'nın etkisi altında olması, çalışmanın önemini ön plana çıkarmıştır.

İncelemeye konu olan bölge 90'lı yıllara kadar tarımsal ve doğal alan özelliğini korumuş, ancak gelişen ekonomi ve artan turistik alan talebine paralel olarak bölge turistik ve kentsel yapılaşmaya açılmıştır. 2000'li yıllarda özellikle kıyı şeridinde inşaat faaliyetleri hızlanmış ve 2012'ye gelindiğinde sahil şeridi neredeyse tümüyle yapılaşmış ve yapılaşma kuzeye tarım alanlarına doğru ilerlemiştir. Şekil 1.4'de bölgede zaman içinde oluşan yapılaşma gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 1.4. (a) Acısu Çayı ve bölgede yapılaşma devam ederken ortada sıkışmış doğal kumullar ile tarım alanları. (b) Bölgede inşa edilen büyük turistik yapılardan bir tanesi

Kent nüfusunda son yıllardaki artış ile birlikte kentsel yerleşimin tarım alanlarına kayması ve yeraltısuyu seviyesi sığ olan ova kesimine taşınması, yerleşim bölgesinin zemin-bina ve deprem açısından sorgulanması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Araştırma kapsamında öncelikle; önceki çalışmalar, uydu görüntüleri, saha gözlemleri yardımıyla sondaj yerleri belirlenmiş, mekanik sondaj, SPT, CPT ve laboratuvar deney sonuçlarını içeren bir geoteknik veri tabanı oluşturulmuş, belli derinlikteki zemin cinsi, SPT-N değerleri, zemin sıvılaşma analizleri sonucu sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır.

Mekanik sondaj ile 20 m derinliğinde 10 adet sondaj yapılmıştır. 3 adet CPT (CPTU) yapılmıştır. SPT deneyi yapılarak her 1.5 m'de örselenmiş numuneler alınmıştır. Kohezyonlu zemin katmanlarından 6 adet shelby tüpü ile örselenmemiş numune alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde elek analizi, ıslak elek analizi, hidrometre analizi, Atterberg limitleri deneyi, 3 eksenli basınç deneyi ve konsolidasyon deneyi yapılarak bölge zemininin indeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Bulunan sonuçların kent planlaması, deprensellik araştırmaları, yeraltısuyu durumu, bölgenin geoteknik profilinin çıkarılması, altyapı projelendirilmesi, benzer özellikteki bölgeler için bir vaka analizi görevi görmesi, zemin iyileştirmesi dâhil olmak üzere projelendirme ve inşaat sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ile zeminle ilgili birçok konuda Antalya kentine fayda sağlaması amaçlanmıştır.

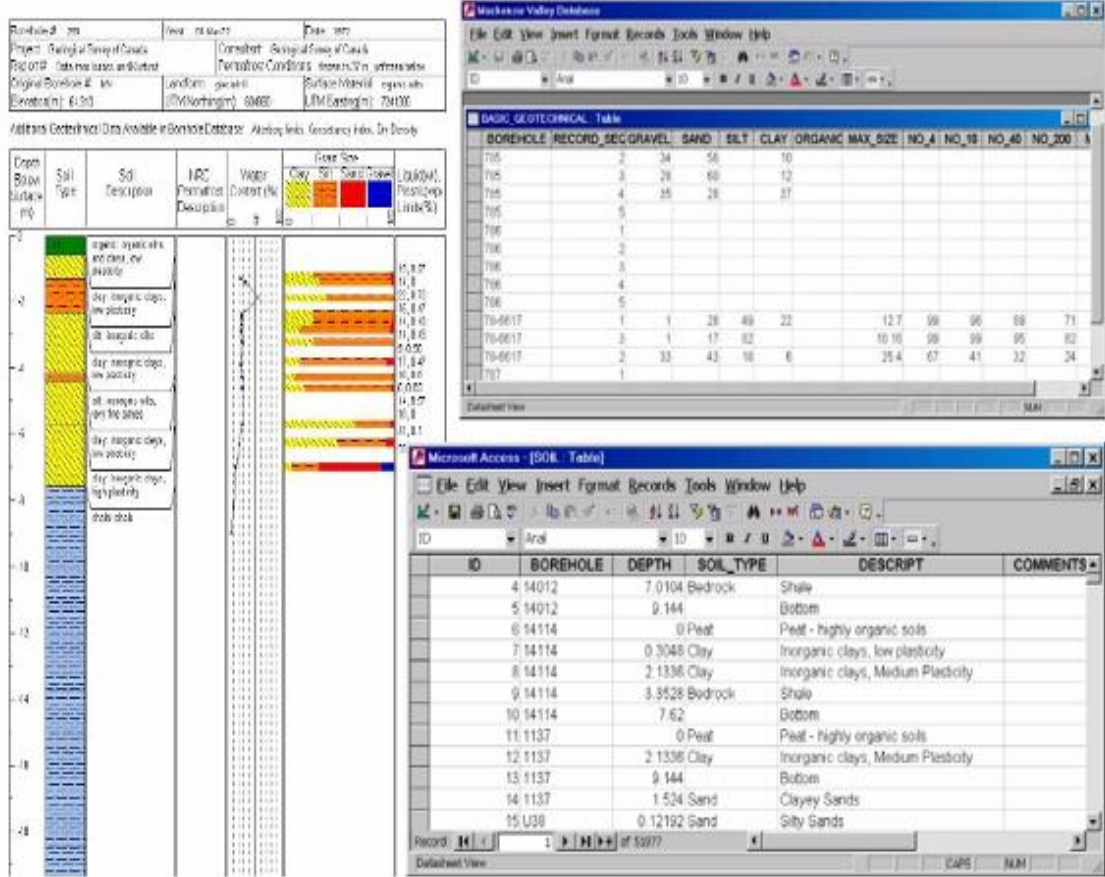
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Coğrafi Bilgi Sistemine Yönelik Çalışmalar

Wikle vd (1991), imar ve afet uygulamalarının temel unsurunu Coğrafi Bilgi Sistemlerinin oluşturduğunu, bu sistemler ile mevcut nesnelere ve meydana gelen olaylara ait bilgileri toplama, bunları bilgisayar ortamında depolama, sorgulama, istenilen biçim ve ölçekte haritalama ve analiz etme imkânı doğduğunu belirtmişlerdir. Bu programların, geoteknik verilerin depolanması, afet alanlarının belirlenmesi ve imar uygulama planlarının denetlenmesi gibi konularda etkili olarak kullanıldığını ifade etmişlerdir.

Smith vd (2002), Kanada'da Mackenzie Valley bölgesi için geoteknik veri tabanı oluşturulması çalışmasında, daha önceki yıllarda yapılmış ve bitmiş olan sondajlardan elde edilen jeolojik verileri derleyerek, bir geoteknik veri tabanında topladıklarını ifade etmişlerdir. Oluşturulan bu veri tabanının GIS uyumlu olduğunu ve jeoloji birimleri tarafından tüm Kanada'da kullanılmaya başlandığını belirtmişlerdir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi alınan sondaj raporlarını, Microsoft Access formatındaki tablolara işlediklerini anlatmışlardır.

Haşimoğlu vd (2004), Zemin Etüd Bilgi Sisteminin, zemin etüd raporları, sondaj, araştırma çukuru ve jeofizik çalışmalar neticesinde elde edilen sayısal verilerin yorumlanmasıyla hazırlandığını anlatmışlardır. Çalışmalarında; Uzaktan Algılama (Ikonos uydu görüntüsü) ve CBS tekniklerini kullanarak, Zemin Etüd Bilgi Sistemi oluşturmayı hedeflediklerini ifade etmişlerdir. Zemin etüd veri katmanı adı altında, veri tabanı dosyaları oluşturmuşlardır. Sorgulama tekniklerini kullanarak, örneğin sondajların belli bir derinlikteki SPT sayıları, zemin grupları ve zemin sınıflandırılmasını gösterir haritalar elde etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmalarda Netcad, GIS yazılımı, Access veri tabanı yönetim sistemi ve Uzaktan Algılama teknikleri (Ikonos uydu görüntüleri) kullandıklarını ifade etmişlerdir.



Şekil 2.1. Haritaya GIS bağlantılı olan sondaj raporu ve verileri tablosu (Smith 2002)

Sert vd (2006), yaptıkları çalışma kapsamında; Adapazarı kent merkezinin zemin haritası, SPT-N dağılımı haritası, taşıma gücü haritası ve çeşitli haritaların hazırlanması hakkında bilgi vermektedirler. Çalışmada, son yıllarda yaygın kullanım alanı bulan coğrafi bilgi sistemlerinin geoteknikte uygulaması, CBS tabanlı Map Info v7 programı yardımı ile Adapazarı örneğinde gösterilmiştir. Öncelikle sondaj loglarından elde edilen penetrasyon verileri ve diğer bilgilerle birlikte, deney numunelerinden elde edilen sonuçları, sayısal ortama bir veritabanı programı yardımıyla aktararak, “Adapazarı Geoteknik Veritabanı” oluşturmuşlardır. Bu aşamayı izleyerek, verilerin analiz sonuçlarının gösterilebileceği haritaların, sayısal ortamda oluşturulması öngörülmüştür.

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi verilerin bilgisayar donanımları ile belirli bir amaç için toplanması, depolanması, güncelleştirilmesi, analiz edilmesi ve görüntü şeklindeki bilgilere dönüştürülmesi işlemlerini gerektiren sistemlere Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) denir. CBS aynı zamanda coğrafi bir konuma sahip olan veri tabanlarının sorgulanmasına olanak tanıyan bilgisayar esaslı sistemlerdir. Toplanan verilerin bilgi ile birleştirilip kısa sürede yorumlanması CBS ile mümkün olmaktadır (Ayday 1992).

CBS'nin kullanılmaya başlanması son 20 yıl içerisinde olmuştur. 1960'lı yıllarda coğrafya ile ilgilenen birkaç bilim adamı elde ettikleri bilgilerin bir bilgisayar içerisinde toplanması ve düzenlenmesi üzerine bir sistem geliştirmişlerdir. 1980'li yıllarda ise teknolojiye gelişmeler sonucu CBS ortaya çıkmış; arazi kullanımı ve planlanması, doğal kaynakların yönetimi, çevreyle ilgili araştırmalar ve bölge nüfusu ile ilgili araştırmalar CBS'nin sağladığı olanaklar kullanılarak yapılmıştır (ESRI 1990).

CBS dışındaki birçok bilgisayar yazılımı yardımı ile coğrafi veri ve bilgi depolamak olanaklıdır. Bunlara örnek olarak AutoCad, Lotus 1-2-3 ve Excel gösterilebilir. CBS'nin bu gibi programlara üstünlüğü ise veri sorgulama yeteneğinin bulunmasıdır.

CBS kullanıcı, bilgisayar ve veri ortamından oluşur. Bilgisayar ortamı ise yazılım ve veri tabanı olarak iki alt bölüme ayrılır. CBS sadece bilgisayar yardımı ile harita yapabilen bir sistem değildir. Aynı yerin değişik ölçekte, değişik projeksiyonlarda ve değişik renklerde haritasını hazırlayabilmektedir. Aynı zamanda bir analiz aracıdır.

Harita şekillerinin birbirleri ile olan ilişkilerini tanıyabilme gücüne sahiptir. CBS sadece haritaları depolayan bir sistem değildir. Depolanan verilerin istenilen açıdan tekrar oluşturulması ve amaca göre tekrar düzenlenip haritalanması mümkündür.

2.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Projelerinin Hazırlanması

CBS projelerinin yapılması ve hazırlanmasında bir kural bulunmamakla birlikte, projelendirmede belirli bir sırayı izlemek yapım sırasını kısaltmaktadır. Genellikle CBS projeleri dört ana bölümden oluşur. Bunlar sırasıyla;

- Tasarım
- Veri tabanı oluşturulması
- Verilerin analizi
- Analiz sonuçlarının sunulmasıdır.

2.4. ArcGIS 9.3 Yazılım Programının Avantajları

Tez kapsamında bir CBS programı olan ArcGIS 9.3 kullanılmıştır. ArcGIS, CBS software yazılımı olarak dünya üzerinde en çok kullanılan yazılım programıdır. ArcGIS'i üç farklı yazılım oluşturur; ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox. ArcMap verileri değerlendirir ve sorgular, konumsal verileri proses eder ve haritaları dizayn eder. ArcCatalog konumsal dataları yönetir ve dataların oluşturulmasını sağlar. ArcToolbox verileri import eder ve farklı formatlardaki verileri kullanılabilir hale dönüştürür. Bu son versiyonun en önemli özelliği Microsoft'un ürünleri (Excel, World...) ile çok iyi iletişim kurmasıdır.

Microsoft yazılımları genellikle Visual Basic programlama dili ile yazılımlarını ara birime dönüştürmektedir. Aynı zamanda ArcGIS yazılımında Visual Basic programlama dili ile ara birim edilmiş ve bu da ArcGIS programlarının Microsoft ile çok daha kolay iletişimini sağlamıştır.

Bu yüzden ki son yıllarda mevcut GIS programları içerisinde ArcGIS kullanım alanı daha da genişlemiş ve kullanımı daha da kolaylaşmıştır. ArcGIS in özel olarak geliştirilmiş nokta ve çizgi oluşturma özelliği vardır ki buna Network özelliği denir.

ArcGIS tarafından oluşturulan Network'un üç tane önemli içeriği vardır;

1. Geometrik veriler ki noktalar ve hatların x,y,z koordinatları vardır.
2. Topolojik veriler ki kenarların ve düğümlerin (iki veya daha fazla hattın birleştiği nokta) nasıl bağlandığını gösterir.
3. Verilerin konumunu belirtmesi ki mesela sondaj yapılan bir yerin adresi.

ArcGIS'in Network oluşturma özelliği yapılacak CBS projelerinin daha güvenilir bir yapıya sahip olmasını sağlayacaktır. Ayrıca bu özelliğiyle zemin özelliklerinin sınıflandırılmasında detaylı bir şekilde oluşturulmasında büyük öneme sahip olacaktır. ArcGIS, coğrafya temsili için akıllı CBS veri modellerini kullanmakta, coğrafi veri ile çalışma ve yaratım için gerekli bütün araçları sağlamaktadır.

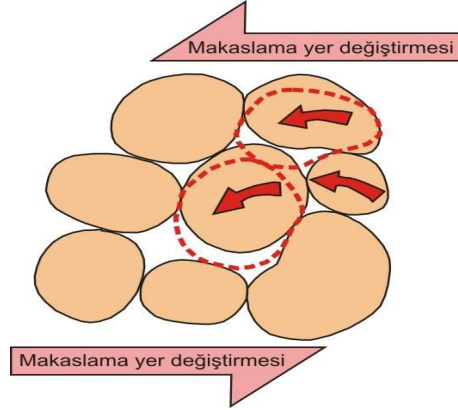
Bu, güncelleme ve veri otomasyonu, haritalama ve harita tabanlı işlemler, veri yönetimi, coğrafi analizler, veri açılımı ve internet üzeri uygulamalar gibi bütün CBS işlemleri için gerekli araçları içerir. ArcGIS, coğrafi bilgi sunumu için yeni ve yeni nesil veri modelini tanıtır ve standart ilişkili veri tabanı teknolojisini kullanarak sistemi gerçekleştirir (Kol ve Küpçü 2008).

2.5. Zemin Sıvılaşması Tanımı ve Mekanizması

1964 yılında meydana gelen ve ağır hasarlar ile can kayıplarına neden olan Niigata (Japonya, Mw=7.5) ve Alaska (ABD, Mw=9.2) depremlerinden sonra sıvılaşma olgusu ve neden olduğu zemin deformasyonları, ilgi duyulan başlıca araştırma ve uygulama konularından biri olmuştur.

Zemin sıvılaşması, depremlerde meydana gelen hasarların en önemli etkenlerinden biridir. Bin yılın son depremlerinde de (Adapazarı, Düzce, Türkiye; Chi- Chi, Tayvan 1999) görüldüğü üzere sıvılaşma olayı önemli hasar sebepleri arasında kalmaya devam etmektedir.

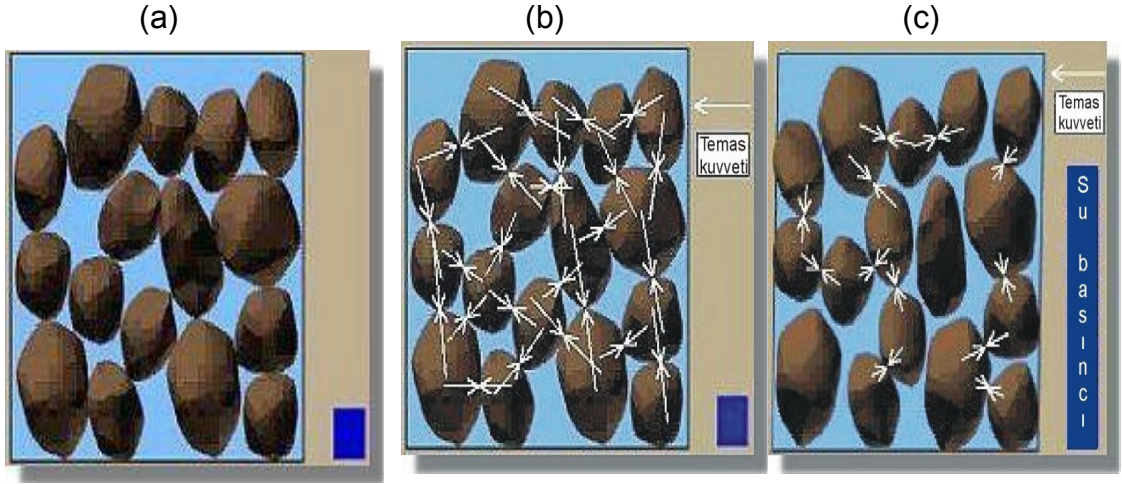
Zeminde sıvılaşmaya neden olan hareketler, sismik dalgalar ve özellikle de makaslama dalgalarıdır (Youd 1992). Bu dalgalar suya doymun taneli tabakalardan geçerken oluşturdukları aşırı su basıncı ile tanecikli yapıyı bozar ve zeminin dayanımını yitirmesine neden olurlar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Depremi neden olduğu makaslama yer değiştirmesiyle zemin tanelerinde sıvılaşma sürecinin gelişimi (Youd 1984)

Zemindeki sıvılaşma davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için depremden önceki zemin koşullarının iyi bilinmesi ve anlaşılması gereklidir. Zeminin yapısını oluşturan bütün taneler birbiri ile temas halindedir (Şekil 2.3 (a)). Taneler arasındaki bu temas yüzeylerinde temas kuvvetleri mevcuttur.

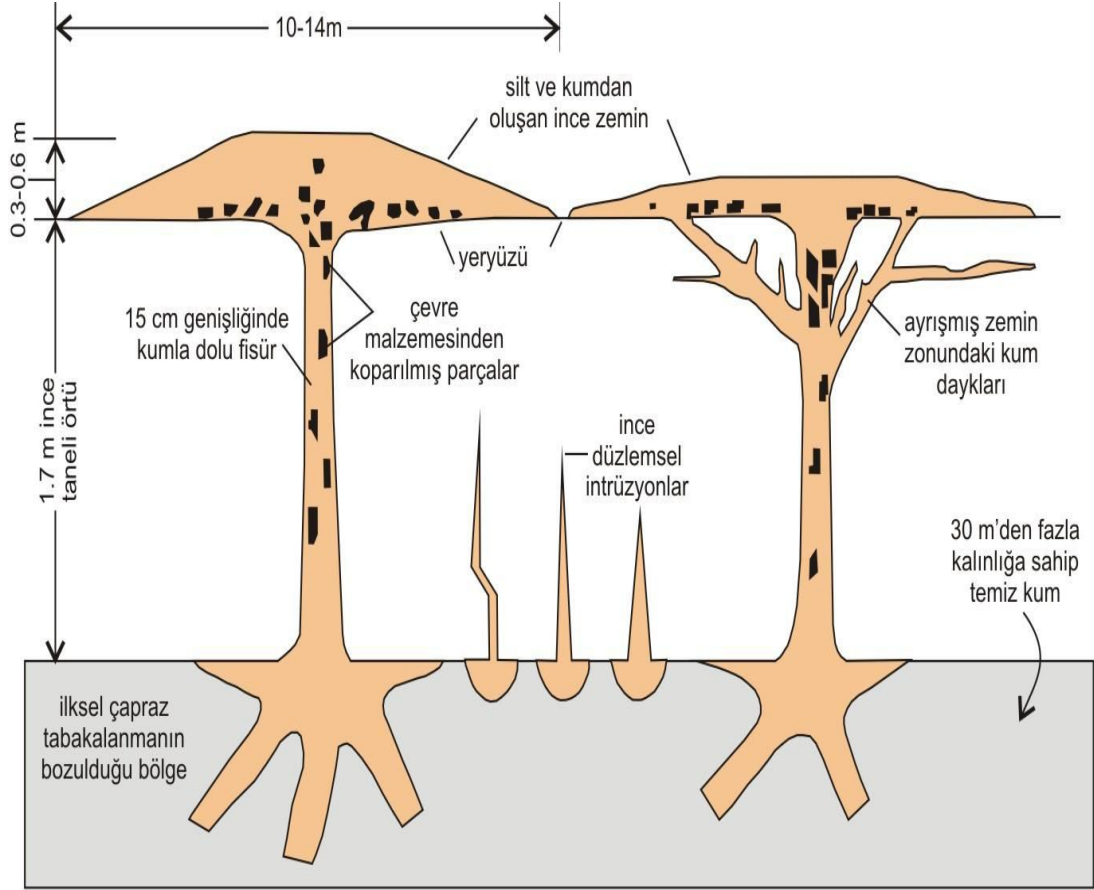
Taneler arasındaki boşluklarda ise hava ve su bulunmaktadır. Bu boşluklar suya doymun zeminlerde tamamen su ile dolu olmaktadır. Deprem sırasında taneler arasında yer alan bu suyun drene olması için yeterli süre olmadığından, zemin sismik dalgalar öncesindeki denge durumuna kavuşmadan (taneler arasındaki temas yüzeyleri yeniden oluşmadan) boşluk suyu basıncında ani bir artış meydana gelir (Şekil 2.3 (b) ve (c)). Boşluk suyu basıncındaki bu ani artış zemin tanelerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri birbirinden uzaklaştırır ve böylelikle zemin dayanımını yitirir. Bu koşullar altında gözenekli zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı malzeme davranışı yerine, geçici olarak bir sıvı gibi davranarak yüzeye doğru hareket eder. İşte bu durum sıvılaşma olgusu olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.3. (a) Zemin tanelerinin deprem öncesi görünümü, (b) Zemin taneleri arasında etkiyen temas kuvvetleri, (c) Boşluk basıncının ani artışıyla taneler arasındaki temasın yitimi (www.ce.washington.edu)

Kıyı alanlarında deprem dinamik etkisi ile oluşan sıvılaşma önem arz etmektedir. Depremler sırasında sismik dalgalar zeminde ilerlerken tekrarlı ve birbirine göre ters yönde etkiyen makaslama kuvvetleri yaratarak tanelerin yer değiştirmesine neden olurlar. Bu koşullar altında iyi boylanmış (taneleri aynı büyüklükte olan), suya doymun (yeraltı suyu tablası altındaki) gevşek veya orta sıkı taneli (kum) zeminlerdeki kum tanecikleri birbirine yaklaşma ve hacimlerini küçültme eğilimi gösterirler. Depremlerde kısa sürelerde gerilmeler yön değiştirdiğinden drenajsız yükleme koşulları hemen hemen oluşmaktadır.

Deprem sırasında ve sonrasında sismik kuvvetlerin etkisiyle oluşan aşırı gözenek suyu basıncı, suyun yukarı doğru hareketiyle azalır. Eğer hidrolik eğim kritik bir değere ulaşırsa, etkin gerilme sıfır olur ($\sigma' = 0$). “Hızlı koşul (quick condition)” olarak adlandırılan bu durumda, suyun hızı zemin tanelerini yüzeye taşımaya yetecek kadar büyük olabilir ve kum tanecikleri zemindeki doğal kanallardan taşınarak yüzeyde kum kaynamaları şeklinde kendini gösterir (Şekil 2.4). Kum volkanları ve kum konileri, kum kaynamalarının en yaygın görülen türü olup; 10-30 cm yüksekliğinde, 15-60 cm çapında ve 10-20 cm derinliğinde olabilmektedirler (Şekil 2.5 (a) ve (b)).



Şekil 2.4. Kum kaynamalarının oluşumu (Obermier 1996'dan yalınlaştırılarak)



Şekil 2.5. Loma Prieta (ABD) depreminde gözlenen (a) Kum konisi ve (b) Kum volkanı (www.ce.washington.edu)

2.6. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Sıvılaşma deprem esnasında yapılarda meydana gelen hasarların ana nedenlerinden biridir. Suyu doymuş kumlu zeminlerde meydana gelen sıvılaşmayı etkileyen faktörlerin önemlileri şöyle sıralanabilir;

- Deprem büyüklüğü,
- Tekrarlı hareketin devir sayısı (deprem süresi),
- Yeraltı su seviyesi derinliği,
- Yatay yüzey ivme değeri,
- Kum zeminin cinsine bağlı olarak mukavemet özellikleri,
- Zeminin tane çapı dağılımı ve tane şekilleri,
- Sıklık oranı (D_r),
- İnce malzeme (No.200) oranı,
- İnce malzemenin plastiklik özelliği,
- Derinlik (düşey gerilmenin büyüklüğü),
- Drenaj özellikleri gibi özellikler başlıca etkenler olarak sayılabilir.

Zemin sıvılaşma analizlerinde ilk yapılması gereken, zemin profilinde sıvılaşabilecek zemin tabakalarının bulunup bulunmadığının belirlenmesidir. Temiz kumların potansiyel olarak sıvılaşabildiği uzun zamandan beri bilinmektedir. Potansiyel sıvılaşmanın olabileceği zemin koşullarını belirlemek amacıyla arazideki zemin koşulları incelenir, arazi ve laboratuvar deneylerinden yararlanır. Sıvılaşma analizleri için geliştirilen hesap metodlarının çoğu depremlerden sonra arazide gözlenen sıvılaşmalardan, arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilere dayalı olarak oluşturulan korelasyonlar şeklindedir. Geliştirilen bu korelasyonların doğruluğu, yukarıda sıvılaşmayı etkileyen faktörler olarak sayılan özelliklerin en iyi şekilde korelasyon hesaplarına katılmalarına bağlıdır. Dolayısı ile korelasyon hesaplarında kullanılan gözlem ve deney verilerinin sayısına bağlıdır. Deprem etkisi ile zeminlerin sıvılaşma analizleri için geliştirilmiş farklı yöntemler literatürlerde mevcuttur.

Sıvılaşmanın oluşabilmesi için zeminde sayılan şu koşulların bir arada bulunması gerekir;

- Yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyine yakın olması,
- Zeminde tekrarlı gerilmelerin oluşmasını sağlayan deprem dinamik yükü,
- Sıvılaşma potansiyeli,
- Mevcut kumlu zemin tabakalarının bulunmasıdır.

Siltli ve çakıllı zeminlerin nadir de olsa sıvılaşabildikleri gözlenmiş olsa da bu durum oldukça düşük bir olasılıktır ve literatürdeki birçok sıvılaşma analiz yöntemleri kumlu zeminler için geliştirilmiştir.

2.7. Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmeleri

Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi çok sayıda zemin ve deprem parametrelerinin dikkate alındığı ayrıntılı analiz yöntemleriyle yapılmaktadır. Sıvılaşma dayanımı genellikle arazi performansının incelenmesi temeline dayanarak tanımlanır. Geçmiş depremlerin ayrıntılı araştırması, yerinde özelliklerin ve her geçmiş deprem için CSR'nin (tekrarlı yükleme esnasında zeminde oluşan kayma gerilmesi oranı) kombinasyonunun bulunmasını sağlar. CSR-(N₁)₆₀ veya (CSR-_{qc}) çiftlerinin sıvılaşma olan veya olmayan durumlar için belirlenmesi sıvılaşmanın gözlemlenmeye başladığı sınır değerinin bulunmasına yardımcı olur. Bu değer, zeminin sıvılaşmaya karşı koyabilecek penetrasyon dayanımına göre maksimum CRR değeri olarak tahmin edilir ve zeminin tekrarlı yüklemeye karşı direnci olarak isimlendirilir (Tokimatsu ve Yoshimi 1983). Böylece sıvılaşma potansiyeli deprem yüklemesi ile sıvılaşma dayanımı kıyaslanarak bulunur. Bu genellikle sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü "G_F=CRR/CSR" şeklinde ifade edilir. Güven sayısının 1'den büyük olması sıvılaşma dayanımının deprem yüklemesinden büyük olduğunu gösterir ve bu durumda sıvılaşma beklenmez (WEB2 2003).

Bir zeminin sıvılaşmaya karşı hassaslığı zemini oluşturan tanelerin boyutlarına, şekline, derecelenmesine ve zemin türüne bağlıdır. Tane boyutu ve dağılımı boşluk suyu basıncı gelişimini ve dağılımını kontrol etmektedir. Kaba kumların geçirgenliği ince kumlara göre daha yüksektir. Titreşim neticesinde meydana gelen boşluk suyu basıncı iri taneli zeminlerde kolaylıkla düşmekte olup, böylesi kum zeminlerin sıvılaşma eğilimi daha az olmaktadır (Ferritto 1997).

Üniform tane boyundaki parçacıklardan oluşan zeminler, tane boyutu geniş sınırlar içinde değişen parçacıklardan oluşan zeminlere kıyasla daha yüksek sıvılaşma riski taşımaktadırlar (Kramer 1996). Ayrıca, şekilli taneler köşeli tanelere göre daha çabuk bir araya gelme eğiliminde olduklarından sıvılaşmaya daha yatkındırlar.

Taneleri köşeli olan zeminler belirli bir konsolidasyon basıncına kadar sıvılaşmaya karşı daha dirençli olmasına karşın, yüksek basınçlarda köşelerin kırılıp ince tane oluşturmaları nedeniyle sıvılaşmayı kolaylaştırmaktadırlar (Kramer 1996).

Sıvılaşabilir zeminlere ilişkin karakteristik değerler aşağıda verilmiştir (Wang ve Law 1994);

- Ortalama tane boyutu $d_{50} = 0.02-1.00$ mm
- İnce tane ($d < 0.005$ mm) içeriği $< \%10$
- Üniformaluluk katsayısı (d_{60}/d_{10}) < 10
- Plastisite indeksi, $I_p < 10$

Silt, kil ve kum karışımlarının sıvılaşabilirliğinin belirlenmesine yönelik çalışmalarında Andrews ve Martin (2000), Seed vd (1985) veri tabanını yeniden değerlendirmişlerdir (Çizelge 2.1).

Buna göre ince taneli (siltli ve killi) zemin parçacıklarının iri taneleri birbirinden ayıracak yada genel zemin davranışını kontrol edebilecek miktarlarda olduğu durumlarda, sıvılaşmanın meydana gelebilmesi için siltli yada killi malzemenin plastik özellik göstermemesi yada plastisitesinin $\leq \%10 - 12$ aralığında olması gereklidir (Çetin ve Unutmaz 2004).

Düşük plastisiteli silt ve siltli kumlar hem sıvılaşabilir olmaları hem de boşluk suyu basıncının hızlı drenajını engelleyebilecek kadar düşük geçirimsizlikleri nedeniyle en tehlikeli zeminler olarak değerlendirilmektedir (Çetin ve Unutmaz 2004).

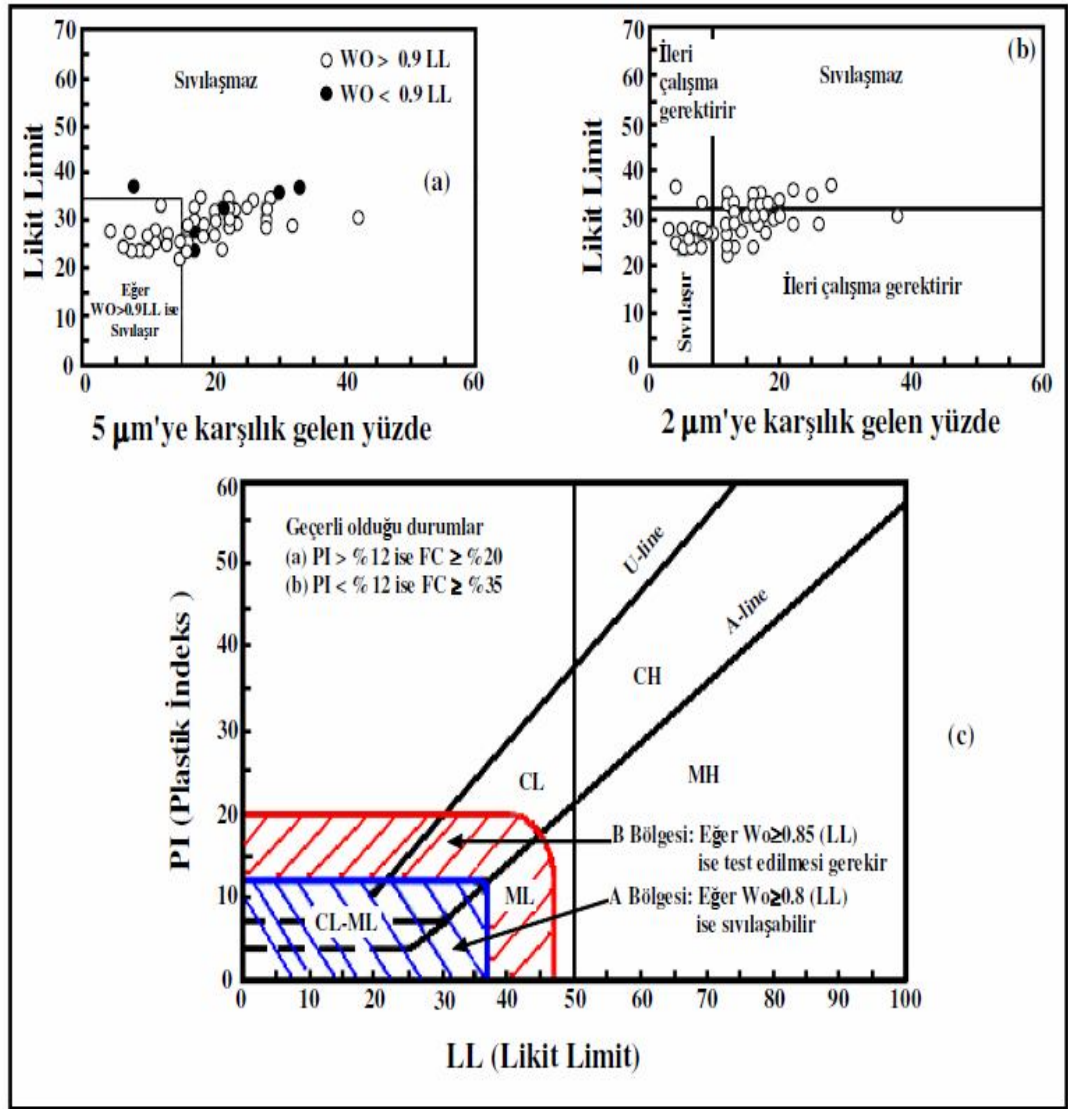
Çizelge 2.1. Siltli ve killi kumların sıvılaşabilirliği (Andrews ve Martin 2000)

	Likit limit ¹ < 32	Likit limit ¹ \geq 32
Kil içeriği (<0.002 mm) < %10	Sıvılaşabilir	İleri çalışma gerekir (plastik kil harici boyutlu tane olduğu düşünülerek- Mika gibi)
Kil içeriği (<0.002 mm) \geq %10	İleri çalışma gerekir (plastik olmayan kil boyutlu tane olduğu düşünülerek - maden veya ocak atığı gibi)	Sıvılaşmaz

¹ Casagrande tipi darbe aleti ile belirlenen likit limit değerleri

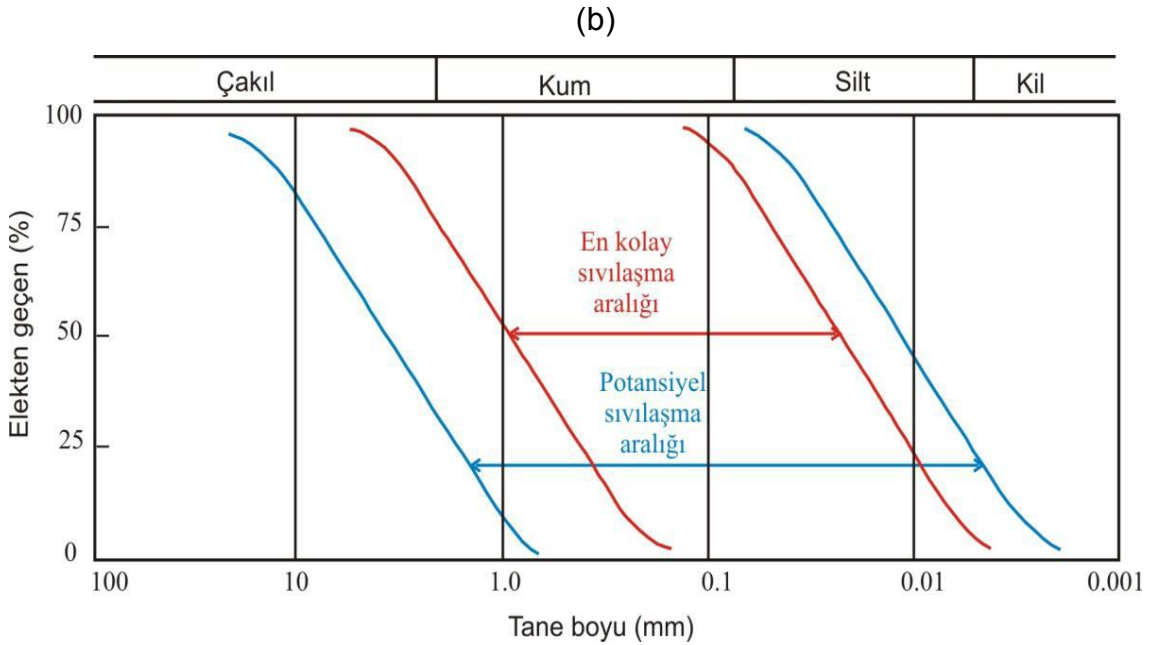
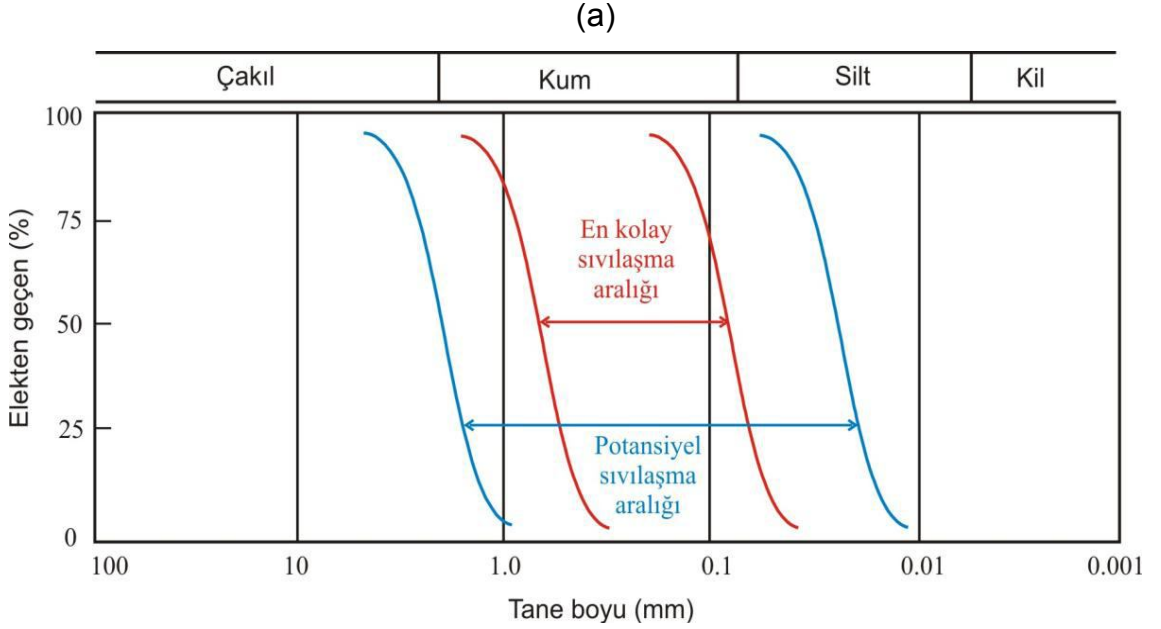
Buraya kadar verilen sıvılaşma kriterleri tüm zemin türlerinin sıvılaşma davranışlarının belirlenmesi için yeterli değildir. Örneğin, Bray vd (2004) tarafından 1999 Kocaeli depremi sonrası Adapazarı'nda yapılan bir çalışmada Çin kriterlerince sıvılaşmayacağı düşünülen zeminlerinde sıvılaşabileceği ortaya konmuştur. (Çin kriterlerine göre ince taneli zeminlerde ($F_c > \%35$) sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için likit limit, $LL < 35$ ve $W_o > 0.9 LL$ olması gerekmektedir).

Şekil 2.6 (a) ve (b), Kocaeli depremi sonucunda Adapazarı'ndan elde edilen deney sonuçlarını göstermekte olup, açıkça görüldüğü üzere sıvılaşmış zeminlerin bir kısmı hem Çin kriterlerine hem de Andrews ve Martin (2000)'e göre sıvılaşmayacağı düşünülen kısımda yer almaktadır (Çetin ve Unutmaz 2004). Bu verilere dayalı olarak Seed vd (2003) ince taneli zeminlerin sıvılaşma performansının belirlenmesine yönelik olarak Şekil 2.6 (c)'de verilen yeni ilişkileri tanımlamışlardır.



Şekil 2.6. 1999 Kocaeli depremi sonucunda Adapazarı'nda elde edilmiş test sonuçları (Bray vd 2004). (a) Çin kriterleri (Seed ve Idriss, 1982; Wang 1979); (b) Andrews ve Martin (2000); (c) Seed vd (2003)

Tane boyu dağılımı açısından potansiyel sıvılaşma eğilimine sahip olan zeminler ile en kolay sıvılaşan zeminler için sıvılaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılımı eğrileri Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. En kolay sıvılaşabilen ve sıvılaşma potansiyeline sahip zeminler için tane boyu dağılımı açısından sıvılaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a) Düşük ve (b) Yüksek eşşekillilik katsayısına sahip zeminler (Port Harbour Research Institute 1997)

Zeminin derecelenmesi ve zemini oluşturan tanelerin şekli de sıvılaşma duyarlılığında etkili faktörlerdir. İyi derecelenmiş zeminler, kötü derecelenmiş zeminlerden daha düşük sıvılaşma duyarlılığına sahiptirler. İyi derecelenmiş bir zeminde iri tanelerin arasındaki boşluklar daha küçük tanelerle doldurulurlar. Bu ince taneler, drenajlı koşullar altında zeminin hacim değişikliği potansiyelini azaltırlar. Bu da deprem sırasında drenajsız koşullarda aşırı gözenek suyu basınçlarının gelişmesini engeller, dolayısıyla zeminlerin sıvılaşma duyarlılığını azaltır.

Yuvarlak tanelerden oluşan zeminler, köşeli taneleri içeren zeminlere oranla sıvılaşmaya karşı daha duyarlıdır (Poulos vd 1985). Yuvarlak taneler, genellikle gevşek doymun zeminlerin çökeltildiği akarsu çökelleri ve alüvyal ortamlarda gözlenirler (Kramer 1996).

Zeminlerin sıvılaşma davranışında etkili olan ölçütlerden bir diğeri de, göreceli (rölatif) yoğunluktur (D_r). Gözenek suyu basıncı, sarsıntı sırasında başlangıçtaki göreceli yoğunluğun artışıyla önemli miktarda azalır. Gevşek kumlar sarsıntı ile sıkılaşabilir. Bu sıkışma, depremde yapılar üzerinde ciddi sorunlara yol açabilecek oturmalara neden olur. Göreceli yoğunluğu %47'nin altında olan zeminler, daha gevşek bir konumda bulunacakları için sıvılaşmaya daha yatkındırlar (Seed 1976).

Sismik sebepli zemin sıvılaşma hesaplarının ilk aşaması sıvılaşma olasılığının sayısal yöntemler kullanılarak belirlenmesidir. Sıvılaşma olasılığının belirlenmesinde kullanılan iki yöntem vardır (Çetin ve Unutmaz 2004). Bunlar;

- 1) "Örselenmemiş" numunelerin laboratuvar ortamında test edilmesi
- 2) Arazi davranışları ile "indeks" test parametrelerine dayalı ampirik bağlantıların kullanıldığı yöntemlerdir.

Numune alımı ve numunenin arazideki gerilmelere bağlı olarak konsolidasyonu neticesinde oluşan örselenmeler sebebiyle laboratuvar testlerinin kullanılması oldukça zordur. Tekrarlı basit kayma ve üç eksenli dinamik testlerin her projede uygulanabilirliği ve ayrıca testlerin zor ve pahalı olması bakımından kısıtlıdır.

2.8. Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri

Kundu kıyı şerisinde yapılan çalışmalar neticesinde bölgede yaygın zemin türünün kum, siltli kum ve yer yer kil tabakalarından oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak kıyı bölgelerde sıvılaşma potansiyeli büyük önem taşımaktadır. Bölgede gerçekleştirilecek yapılaşmalarda zemin etüt raporlarının hazırlanması sırasında sıvılaşma riskinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Sıvılaşmaya karşı yapıları korumak için alınması gereken önlemler ve zemin iyileştirme yöntemleri aşağıda belirtilmiştir;

- Tekrarlı yükler altında sıvılaşabilen zeminlerde stabiliteyi arttırmak için zemin iyileştirilmesine gidilmesi, temele belirli bir derinliğin kazandırılması, sıkça uygulanmaktadır. Temel ve yapı bütünlüğünün korunması açısından sürekli temellerin tekil temellerden, radye temellerin ise sürekli temellerden daha avantajlı olduğu söylenebilir.
- Sıvılaşan zeminlerin iyileştirilmesi; Binaların altındaki zeminin sıkıştırılması ile mukavemetinin arttırılmasıdır. Sıkıştırma yöntemleri, sıkılaştırma mekanizmasına göre;
 - Vibroflasyon
 - Dinamik kompaksiyon
 - Patlatma
 - Jet-enjeksiyonu
 - Kompaksiyon enjeksiyonu, olarak söylenebilir.

Sıkılaştırma yöntemleri zemini olduğundan daha sıkı hale getirir ve böylece zeminin rijitliği artar. Rijitliği artan zemin, çevrimsel gerilmeler karşısında boşluk suyu basıncının atmasına fırsat vermez.

- Sıvılaşma potansiyeli olan zeminin kazılması veya yer değiştirilmesi.
- Aşırı boşluk suyu basınçlarının şerit drenler ile drenajının yapılması.
- Uygun ise bina temelini sıvılaşabilecek zeminin altındaki sağlam zemine oturtulması.
- Binanın altına ağır ve kalın bir bodrum yapılması. Ağır ve kalın bodrum yapılması efektif gerilmeyi arttıracığından bina altı için sıvılaşma riski azaltılabilir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Ön İncelemeler ve Büro Çalışmaları

Antalya-Kundu Bölgesi ile ilgili jeolojik haritalar, çalışılan alan ve çevresinde gerçekleştirmiş olan geoteknik etütlere ait veriler, planlama ile ilgili bilgiler ve topoğrafik haritalar ilgili yerel yönetimin izni ile belediye arşivlerinden elde edilmiştir.

Bu bilgilerin elde edilmesinin ardından çalışılan saha için gözlemsel olarak detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tüm alan yerinde incelenmiş, arazi sınırları tespit edilmiş ve tasarlanan sondaj kuyularının yerleri haritalara işlenmiştir. Alanda çalışmayı etkileyebilecek yol, enerji hatları, alt yapı tesisleri (doğalgaz, su, elektrik, telefon vb.), ağaçlar ve mevcut yapılar gibi her türlü engeller belirlenmiştir.

Kundu bölgesinin genel jeolojik yapısını ortaya çıkarmaya yeterli sondaj çukurlarının yerleri ve koordinatları belirlenmiştir. Böylece çalışılan alanın jeolojik özellikleri, yeraltısu durumu ve olası mühendislik problemleri hakkında detaylı bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

3.2. Materyal

Tez çalışmasında inceleme alanı Antalya İli, Aksu İlçesi, Kundu mevkiisidir. Antalya-Side karayolunun güneyinde, geniş ve derin bir alüvyon düzlüğünün Akdeniz ile birleştiği kıyı şeridinde yer almaktadır. Antalya şehir merkezine yaklaşık 15 km uzaklıktadır. Bölgede turistik tesisler projelendirilmiş ve bir kısım konut inşaatları da devam etmektedir. İnceleme alanındaki zeminler, Kopak, Acısı ve Aksu akarsularının jeolojik zaman içinde taşıdığı sedimanlarla dolmuştur. Bu mekanizma içinde ince taneli malzemeler denize kadar taşınarak Kundu kıyı şeridini oluşturmuştur. Alüvyon sahası bölgede 10 km'ye varan genişlikte bir düzlük oluşturmaktadır. İnceleme alanı Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmuştur ve bu birimler inceleme alanının tamamını kaplamıştır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar silt ve kumların değişik yüzdelerinden oluşmaktadır. Çeşitli jeolojik evrelerde taşınan malzemede kum içinde kil, silt ve turba katman ya da mercekleri bulunmaktadır.

3.3. Metot

Tez kapsamında öncelikle kapsamlı bir veri tabanı oluşturmak için daha önce bölgede yapılan zemin etüd raporlarına Aksu Belediyesi'nin arşivinden ulaşılmıştır. Çalışmada Antalya ve çevresinin 1/25.000 ölçekli topografik haritası kullanılmıştır. Laboratuvar deneyleri Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik laboratuvarında yapılmıştır.

Saha, laboratuvar ve büroda gerçekleştirilen çalışmalar sonucu elde edilen veriler ve probabilistik yöntemle yapılan sıvılaşma analizi sonuçları coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak bilgisayar ortamına girilmiştir. Bu amaçla da ArcGIS 9.3 programı kullanılmıştır. Çalışma alanındaki zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, 10 noktada mekanik sondaj yapılmış, açılmış sondaj kuyularından örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmış ve 3 noktada Konik Penetrasyon Testi (CPT) yapılmıştır. Sondaj çalışmalarında içi boş helisel burgulu (hollow stem auger) hidrolik rotari sondaj makinesi kullanılmıştır.

CPT çalışmaları boşluk suyu basıncı ölçebilen elektronik CPT (CPTU) ile yapılmıştır. Daha önce bölgede yapılan arazi çalışmalarına ait verilerden ve tez kapsamında yapılan sondaj kuyusu sonuçlarından yararlanılarak geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıca yapılan çalışmalar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

- Kapsamlı bir veri tabanı oluşturmak için daha önce bölgede yapılan zemin etüd raporları Aksu Belediyesi'nin arşivinden elde edilmiştir.
- Google uydu görüntüleri incelenerek ve arazide kontrolleri yapılarak sondaj yapmaya uygun boş araziler belirlenmiş ve daha sonra 1/25.000 ölçekli imar paftası üzerine sondaj yapılacak yerler işlenmiştir.
- Zemin örnekleri almak, yeraltısuyu seviyesi belirlemek ve Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapmak amacıyla mekanik sondajlar yapılmıştır.
- Konik Penetrasyon Testi (CPTU) yapılmıştır.
- Laboratuvar deneyleri ile zemin indeks ve mühendislik özellikleri bulunmuştur.
- Olasılıksal (Probabilistik) yöntemle sıvılaşma hesabı yapılmıştır.
- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak çeşitli tematik haritalar oluşturulmuştur.

3.3.1. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) Metodolojisi

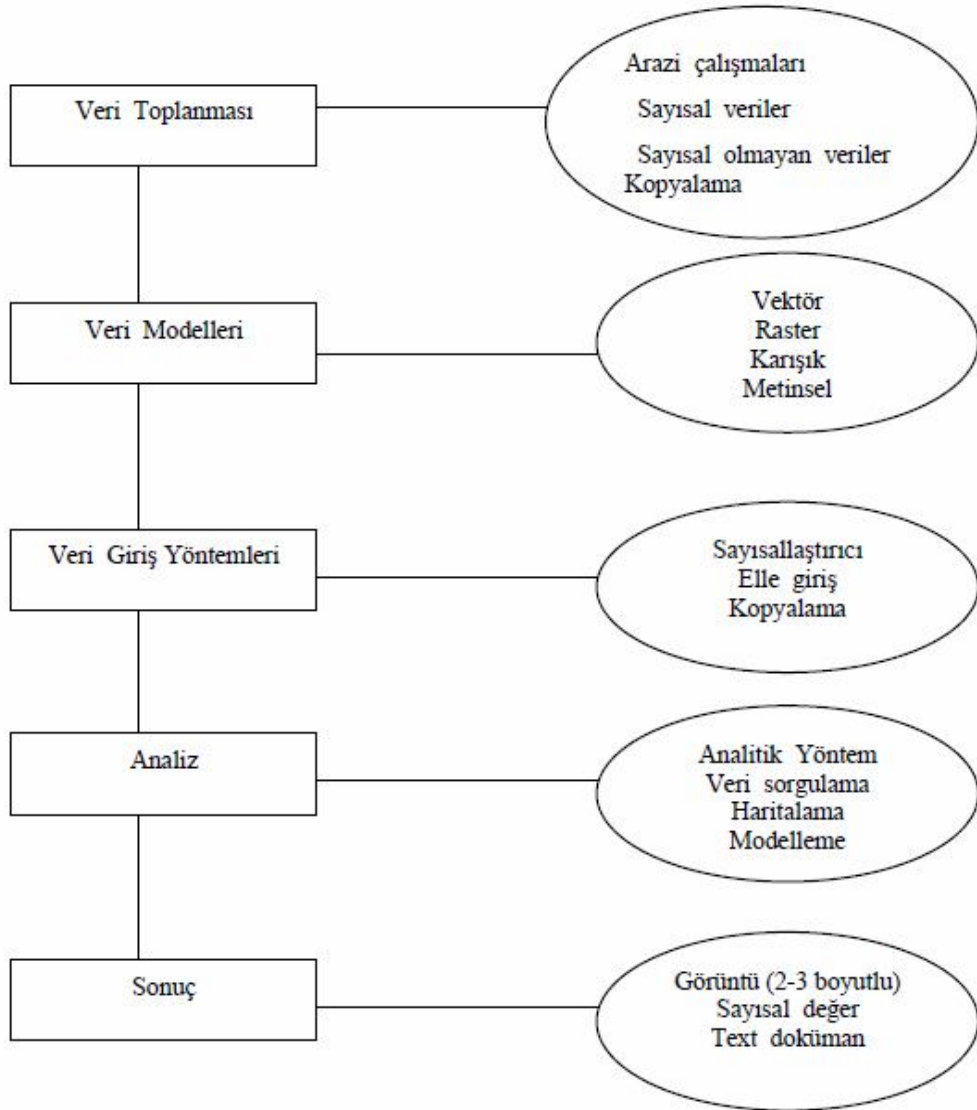
Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) en büyük avantajı yorum tekniği geniş olup, elde edilen verilerden sorgulama yapılabilmesidir. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) tanım, kapsam ve yetenekleri açısından konuya yaklaşıldığında klasik yöntemler ile yapılan çalışmalara göre bazı avantajlar sağladığı görülmektedir. Bilgi toplama yöntemlerinin çeşitliliği ve güvenilirliği ilk avantajlardır. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) uygulamalarında, dosya ve görüntülerin hazırlanması çalışmanın en zor aşamasıdır. Sonraki yeni dosya yaratma aşamaları hazırlanmış olan bu dosya ve görüntüler üzerinde kopyalama ve güncelleştirme işlemleri ile gerçekleştirilir.

Böylece aynı işlerin tekrar edilmediği, zaman ve emek tasarrufunun sağlandığı, hata payının en aza indirildiği, hataların çok kolay ve hızlı bir şekilde düzeltildiği, bir görüntü yaratma işlemi ile bir çaba harcamaksızın o görüntüye ait sayısal ve grafik değerlere ulaşılması sağlanır. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) metodolojisini uygulayan programın kabiliyetlerinin sağladığı analiz yöntemleri, hazırlanan dosyaların taşınması, kopyalanması, başka çalışmalara intibak ettirilmesi, diğer Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) programlarına çevirim imkânı v.b. gibi avantajlar Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) metodolojisinin tercih edilmesine neden olmaktadır. Çizelge 3.1'de Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) kapsam ve özellikleri verilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) metodolojisi, çok genel olarak ölçekle ve alansal büyüklükle sınırlandırılmayan bir doğal ortama bağlı, onun fiziksel özelliklerine ait bilgi toplama, depolama ve analiz yapma yöntemidir (Gümrükçüoğlu 2003). Şekil 3.1'de Coğrafi Bilgi Sistemi Metodolojisi gösterilmiştir. Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) kapsam özellikleri onun metodolojisini belirleyen temel içeriktir.

Çizelge 3.1. Coğrafi bilgi sisteminin (CBS) kapsam ve özellikleri
(Gümrükçüoğlu 2003)

SORGULAMA	CEVAP İÇERİĞİ	CEVAPLAMA YÖNTEMİ	SUNDUĞU İMKANLAR
Ne	Tanımlama	Haritalama	Gelişimin İzlenmesi
Nerede	Mekan	Üç Boyutlu Görüntü	Analiz
Ne kadar	Miktar	Text Dokümanı	Planlama
Ne zamandır	Zaman Aralığı	Veri Analizi	Yönetim
Nasıl	Sebebi	Depolama	Tasarruf



Şekil 3.1. Coğrafi bilgi sistemi metodolojisi (Gümrükçüoğlu 2003)

3.3.1.1. Haritaların oluşturulması

Çalışmada Kundu Bölgesi'nde entegre bir CBS yöntemi olan ArcGIS 9.3 programından yararlanılarak aşağıdaki haritaları oluşturulmuştur;

- Sondaj noktaları ve araştırma sahası sınırları, zemin cinsi,
- Belli derinlikteki SPT-N değeri, sıvılaşma şiddet indeksi ve sıvılaşma potansiyeli.

3.3.2. Arazi Çalışmaları

Geoteknik mühendisliğinde, bina ve bina türü yapıların zemin üzerine veya içine güvenli ve ekonomik olarak yerleştirilmesi, temel tasarımı ve uygulanacak zemin ıslahı çalışmaları için bölge zemininin özellikleri belirlenmelidir. Bu nedenle arazi çalışmaları, geoteknik problemlerin çözümünde önemli bir yere sahiptir.

Birçok çalışmada olduğu gibi zemin etüt çalışmalarında da en önemli husus çalışmanın planlamasıdır. Bu kapsamda; yapılan arşiv taraması sonucu bilgi yetersizliği olan bölgeler tespit edilmiş ve 10 adet 20 m derinliğinde sondaj kuyusu açılmış, Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Konik Penetrasyon Testi (CPTU) yapılmıştır. Yeraltısuyu seviyeleri, zemin parametreleri belirlenmiş ve laboratuvar çalışmaları için örnekler alınmıştır.

3.3.2.1. Mekanik sondajlar

Çalışmamızda bölge zeminlerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla mekanik sondajlar yapılmıştır. Yüzeğe taşıdığı parçacıklar yardımıyla geçilen tabakanın niteliği ve derinliği için bilgiler rahatlıkla alınabilir olmasından dolayı içi boş helisel burgulu (hollow stem auger) mekanik sondaj makinası kullanılmıştır (Şekil 3.2).

Ayrıca muhafaza borusu kullanılmaksızın kumlu zeminlerde kolayca ilerlenmiş ve zaman tasarrufu sağlanmıştır. Delik çapları 100 mm'dir. Sondaj kuyularının derinlikleri 20 m'dir. Sondajlar, temeller için uygun olmayan tüm formasyonların (dolgu, zayıf ve sıkışabilen zeminler) altına kadar sürdürülmüştür.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan sondaj makinesi ve augerler

Çalışma alanında açılan 10 adet sondaj kuyusunda Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış ve 1.5 m arayla örselenmiş numuneler alınmıştır. Örselenmemiş numuneler ise kuyu tabanına indirilen shelby tütün (Şekil 3.3) hidrolik baskı ile zemine batırılması ile gerçekleştirilmiştir. Örselenmiş ve örselenmemiş numuneler, zemin profilini ortaya çıkarmak, arazinin indeks ve mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneylerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Örselenmemiş numune alımında kullanılan shelby tüpler

Shelby tüplerin ağızları parafin mumu ile kapatılmıştır. Böylece zemin numunesinin nemini muhafaza etmesi sağlanmış ve numune dış etkenlerden korunmuştur.

3.3.2.2. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

1927 yılında geliştirilmiş olan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), günümüzde de geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir. Pratik ve ekonomik oluşu yüzünden uzun yıllardan beri tercih edilmektedir (Coduto 2001). SPT deneyinin asıl amacının kumlar ve çakıllar için göreceli sıkılığın elde edilmesi olmasına karşın; silt, kil ve ayrıışmış kayaçların mukavemetinin tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır.

Basit ve ucuz bir teknik olması sebebiyle yaygın olarak kullanılan deney; özellikle sondaj çalışmalarından yeterli kalitede örnek almanın mümkün olmadığı koşullarda zemin parametrelerinin yaklaşık elde edilmesinde yararlı olmaktadır.

Deney sırasında SPT numune alıcısı kuyuya yerleştirilerek, çelik tijler vasıtası ile 63,5 kg'lık şahmerdana bağlanır. Bağlanan şahmerdan 76 cm yüksekliğine çıkartılır ve serbest düşmesine izin verilir. Bu işlem numune alıcıyı zemine 45 cm çakmak için tekrar edilir ve çakılan her 15 cm için darbe sayıları kaydedilir. Son iki 15 cm'lik ilerleme için darbe sayısının toplamı SPT-N_{arazi} olarak verilir. Bu çalışma kapsamında SPT-N_{arazi} değerlerinde gerekli düzeltmeler yapılarak sıvılaştırma analizlerinde SPT N_{1,60} değerleri kullanılmıştır. Şekil 3.4'de çalışma kapsamında yapılan SPT deneyinde kullanılan güvenli (safety) şahmerdan görülmektedir.



Şekil 3.4. SPT deneyinde kullanılan güvenli (safety) şahmerdan

3.3.2.3. Konik penetrasyon deneyi

Çalışma alanındaki zeminlerin özelliklerini yerinde belirleyebilmek ve zemin cinsini tayin etmek amacıyla yerinde (in-situ) deney yöntemi olan Konik Penetrasyon Testi (CPT) 3 noktada yapılmıştır. CPT verileri ile zemin sınıflamasının yapılabilir olması ile özellikle yumuşak kil, silt ve gevşek kumlarda tercih edilen bir yöntemdir. CPT, konik bir penetrometrenin tijler yardımıyla zemine itilmesi prensibine dayanır.

CPT ekipmanı, bir yükleme ünitesi, penetrometre, tijler ve ölçme-kaydetme bölümlerinden oluşur. Çalışma alanında kullanılan CPT (CPTU) ekipmanı, orijinal Amerikan Hogentogler yapımı olup elektronik veri toplama sistemine sahiptir (Şekil 3.5).

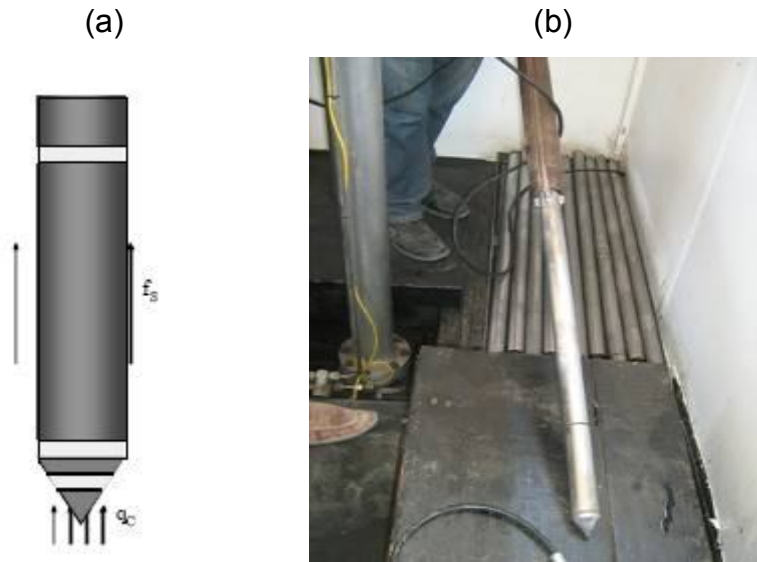
CPT penetrometresinin ortalama 2 cm/sn hızla ve 20 ton yükleme kapasiteli bir hidrolik baskıyla zemine itilmektedir. Penetrometre, 10 cm²'lik bir konik uç ve uç açısı 60° olan bir direnç ölçerdir (Şekil 3.6). Penetrasyon sırasında 5 cm ara ile ölçülen uç direnci ve yanal sürtünme verileri bilgisayarda kaydedilmektedir.

CPT verileri kullanılarak zemin tabakaları tanımlanmaktadır. CPT zemin profilini SPT'den çok daha büyük hassasiyetle tanımlamaktadır. CPT üzerinde çok kapsamlı araştırmalar yapılmış ve buna bağlı olarak da gelişmeler kaydedilmiş (Robertson vd 1983). Bu gelişmelerle SPT'ye göre birçok avantajı olmasına rağmen, zemin numunesi alınamaması, çakıl içeriği fazla olan zeminlerde kullanılamaması veya kullanıldığında bile sonuçlarının güvenli olmayışı, uzman operatör istemesi önemli dezavantajlarıdır. CPT özellikle zemin profilini değerlendirmede faydalı ve hızlı bir yöntemdir. Derinliğe bağlı olarak veriler sürekli kaydedildiğinden zemindeki değişimler tespit edilebilir.

Konik Penetrasyon Testlerinin yukarıda tanımlanan avantajları nedeniyle mekanik sondaj yöntemine ek olarak yerleşim alanında 3 farklı lokasyonda (SK 3, 4 ve 6 nolu kuyularda) CPT yapılmıştır. CPT sırasında uç direnci (q_c), yanal sürtünme (f_s), sürtünme oranı (f_r) ve boşluk suyu basıncı (p_w) ölçülmüş, ölçülen parametrelerin derinliğe bağlı değişimleri grafikler üzerinde gösterilmiştir (Bkz. Şekil 4.8).



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan CPT makinası ve veri toplama sistemi



Şekil 3.6. (a) CPT konik ucunun şematik gösterimi, (b) CPT'de kullanılan konik uç

3.3.3. Laboratuvar Deneyleri

Saha incelemelerinin tamamlayıcı bir parçası olan laboratuvar deneyleri zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak gereği gibi uygulanmadıkları ve araziden gelen numunenin amaca uygun olmayışı yüzünden sonuçları yanıltıcı olabilmektedir. Bu suretle, alınan örselenmiş numuneler çift katlı plastik torba içerisinde, örselenmemiş numuneler ise ağzı parafinlenmiş özel tüplerde, değişmeyen sıcaklık ve rutubette laboratuvara ulaştırılmasına özen gösterilmiştir. Laboratuvar deneyleri TS 1900 standartlarına göre titizlikle yapılmıştır. Yapılan deneyler ile bölge zemininin indeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

3.3.3.1. Sınıflandırma deneyleri

Zeminleri sınıflandırmak için gerçekleştirilen başlıca laboratuvar deneyleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.3.3.1.1. Kuru elek analizi

Mekanik eleme, kohezyonsuz (taneli) zeminlerde uygulanır. Deney 105°'lik fırında kurutulmuş malzeme üstünde yapılır. Malzeme hiçbir topaklanma olmayacak fakat tanecikler kırılmayacak tarzda ufalanır. Elekler en büyük açıklık en üstte, en ufak açıklık en altta olacak şekilde dizilir. Şekil 3.7'de elek analizi ekipmanları verilmiştir.

Ağırlığı belli zemin numunesi en üstteki eleğe konulur. Elekler titreşimli bir tabla vasıtasıyla 15 dakika sallanır. Eleme işlemi bittikten sonra elekler büyükten küçüğe doğru açılarak her eleğin üstünde kalan miktar ayrı ayrı tartılır. Kalan malzemelerin ağırlık toplamları başlangıçta konulan malzeme ağırlığını tutmalıdır. Her elek üstünde kalan malzeme ağırlıklarından, her bir elekten geçen toplam yüzde hesaplanır. Hesaplanan değerler yarı logaritmik bir eşelde işaretlenir ve tane çapı dağılım (granülometri) eğrisi çizilir.



Şekil 3.7. Elek analizi ekipmanları

3.3.3.1.2. Islak elek analizi

İnce tane içeren zeminlerde topaklanmalar olacağından, zeminin 200 no'lu elekten geçen kısmının oranı ancak ıslak elek analizi yapılarak bulunur. 200 no'lu elek üzerinde malzeme kaybı olmamasına dikkat edilerek yıkanır (Şekil 3.8). 200 no'lu elek üzerinde kalan malzeme etüve konur ve 24 saat bekletilir. Etüvden çıkan malzeme desikatörde soğutulur ve tartılarak ağırlığı kaydedilir. Bundan sonra deneye kuru elek analizinde olduğu gibi devam edilir.



Şekil 3.8. Islak elek analizi yapılışı

3.3.3.1.3. Hidrometre deneyi

Bölge zemini içinde bulunan ince taneli zeminlerin hidrometre analizi yapılarak tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Hidrometre analizi, 200 no'lu elekten geçen ince taneli zeminlerin (siltler ve killer) tane boyu dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Deneyin esası aynı özgül ağırlığa sahip küresel taneciklerin su içinde çökme hızının çapa bağlı olduğunu gösteren Stokes kanununa dayanır.

Bu deney çalışmasında, belli bir ağırlıktaki zemin numunesi mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılarak suda bir süspansiyon haline getirilir mezür içine konulur. İyice karıştırılan süspansiyon çökmeye bırakılarak değişik zaman aralıkları ile hidrometre daldırılarak Şekil 3.9'daki gibi hidrometre okumaları gerçekleştirilir. Bu okumalara gerekli düzeltmeler yapılarak, o ana isabet eden tane çapı ve geçen yüzde hesaplanır. Böylece ince taneli zeminlerin tane çapı dağılımı belirlenmiş olmaktadır.



Şekil 3.9. Hidrometre deneyi

3.3.3.1.4. Kıvam limitleri (Atterberg limitleri) deneyi

Kohezyonlu zeminlerde mühendislik özellikleri, boşluklarında bulunan su miktarına bağlı olarak değişmektedir. İnce taneli zeminlerin su muhtevası değiştikçe kıvamı da değişmektedir. Kilin tanımlanması için zemin mekaniğinde kilin su muhtevasına göre kıvamı esas alınır. Zeminin su muhtevasına göre kıvamının tayini için kullanılan başlıca üç deney vardır. Bu sınır su muhtevalarının hepsine birden kıvam limitleri denilmektedir.

Kıvam limitleri ilk olarak Atterberg (1911) tarafından önerildiğinden Atterberg Limitleri olarak da adlandırılmaktadır. Bu üç limit;

- Likit limit (LL),
- Plastik Limit (PL)
- Rötire Limitdir (RL)

Limitler zeminin kıvam sınırlarını belirleyen su muhtevaları olduğuna göre bu limitler arasında zeminin kıvamı; Likit limitten daha yüksek su muhtevalarında likit, likit limite plastik limit arasına plastik, plastik limite rötire limit arasına katı, rötire limitten daha küçük su muhtevalarında sert bulunmaktadır.

Likit Limit deneyinde tanelenmiş kuru zemin, içindeki iri taneleri uzaklaştırmak için 0.425 mm'den (No.40) elenir. Elekten geçen zeminden bir miktar alınarak porselen bir kaptaki damıtık su ile iyice karıştırılarak yoğrulur. Bir miktar alınarak penetrometre aletinin metal kabına yerleştirilir ve üzeri düzlenir. Penetrometre deneyinde kütlesi 80 g olan ve 30° açılı konik uç, örnek yüzeyine temas edinceye kadar indirilir ve 5 saniye süre ile batması (Şekil 3.10) sağlanarak okumalar alınır, su içeriği belirlenir. Deney değişik su içeriklerinde 4 kez tekrarlanarak, su içeriği ve batma – penetrasyon miktarı ilişkisi çizilir. Bu ilişkide, 20 mm'lik batmaya karşılık gelen su içeriği zeminin likit limitini verir.



Şekil 3.10. Koni penetrometre yöntemiyle likit limit deneyi

Plastik Limit; zeminin plastik durumu ile katı durumunu ayıran su muhtevası sınırıdır. Malzemenin 0.425 mm elek altına geçen kısmı kullanılır. Elenmiş numune ile hamur yapılarak ip şeklinde yuvarlatılması sırasında çapının 3 mm kalınlığında yüzeysel çatlama ve kopmaların başladığı ana tekabül eden su muhtevası plastik limittir.

3.3.3.2. Kayma (Makaslama) dayanımının belirlenmesi

Zeminlerin kayma dayanımını ölçmede yaygın olarak kullanılan birkaç laboratuvar deneyi vardır. Bu deneyler arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmişlerinden biri olmaktadır. Bu deney düzeni ile zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemetini gerçeğe yakın olarak belirlemek mümkün olmaktadır.

Suya doymun bölge zemininde ince taneli zemin oranının yüksek oluşu, zeminin permabilitesinin düşük olması ve arazide kısa vadeli yükleme durumlarında beliren fazla boşluk suyu basıncının sönmelenme olanağı bulamamasından dolayı shelby tüpünden çıkarılan numuneler üzerinde konsolidasyonsuz - drenajsız (UU) deneyleri uygulanmıştır.

Bu deneyde, zemin suyunun gerek hücre basıncı uygulanmasında gerekse aksenal yükleme sırasında numuneden dışarı çıkmasına izin verilmemiştir. Numunenin çevresine bir lastik kılıf (Şekil 3.11) geçirilerek zeminin hücreyi dolduran su ile temas etmesi önlenmiştir.



Şekil 3.11. Numunenin çevresine geçirilen lastik kılıf

Numune üst başlığına temas eden bir piston vasıtası ile aksenal gerilme uygulanmakta, numune alt ve üst başlıklarına bağlı ince kanallar vasıtası ile de deney sırasında drenaj durumu (zemin suyunun dışarı çıkıp çıkmaması) kontrol edilebilmektedir. Şekil 3.12’de üç eksenli basınç deney düzeneği gösterilmiştir.

Silindirik zemin numunesi bir hücre içinde, hücreye uygulanan 1, 2 ve 4 bar’lik hücre basınçları altında düşey yöndeki gerilmeler artırılarak numunenin deformasyonları komparatör ile ölçülmüştür. Kuvvet belli bir mertebeye ulaştıktan sonra numune Şekil 3.13’deki gibi yenilmiştir.



Şekil 3.12. Üç eksenli basınç deney düzeneği



Şekil 3.13. Üç eksenli basınç deney sonucu yenilen koyu gri kil numunesi

Bu deney sırasında bölge zemininde alınan numuneler üzerine yatay ve düşey gerilmeler uygulanarak, konsolidasyona izin vermeden drenajsız şartlar altına drenajsız kayma dayanımı elde edilmiştir. Kayma mukavemeti parametreleri olan c_u ve ϕ_u bulunmuştur. Farklı yüklemeler altında yapılan ölçümlerle bulunan sonuçlar gerileme-deformasyon eğrileri halinde gösterilmiştir.

3.3.3.3. Sıkışabilirlik özelliklerinin belirlenmesi

Sondajlardan alınan numuneler üzerinde ödometre deneyi yapılmıştır. Arazideki zemin tabakalarının düşey yüklemeler altında sıkışması esas olarak tek boyutlu bir sıkışma problemi oluşturduğu için, laboratuvar deney düzeneğinde zeminin yanıl genişlemesine izin verilmemekte ve belirli düşey yükler altında zeminin boy kısalması ölçülmektedir. Alınan numune çapı 50 mm kalınlığı 20 mm olan ödometre cihazında rijit bir bronz halka içersine yerleştirilmiştir.

Zemin numunesinin alt ve üst yüzeylerine konan geçirimli taşlardan zemin içersindeki suyun düşey doğrultuda hareketle dışarı çıkmasına izin verilir. Numuneye üstünden su verilerek doygun hale gelmesi sağlanır. Yükleme çerçevesi bir manivela sistemine bağlıdır. Manivela ucuna konan sabit ağırlıklı yükler zemin numunesi üzerindeki basıncın istenen süre sabit kalmasını sağlar.

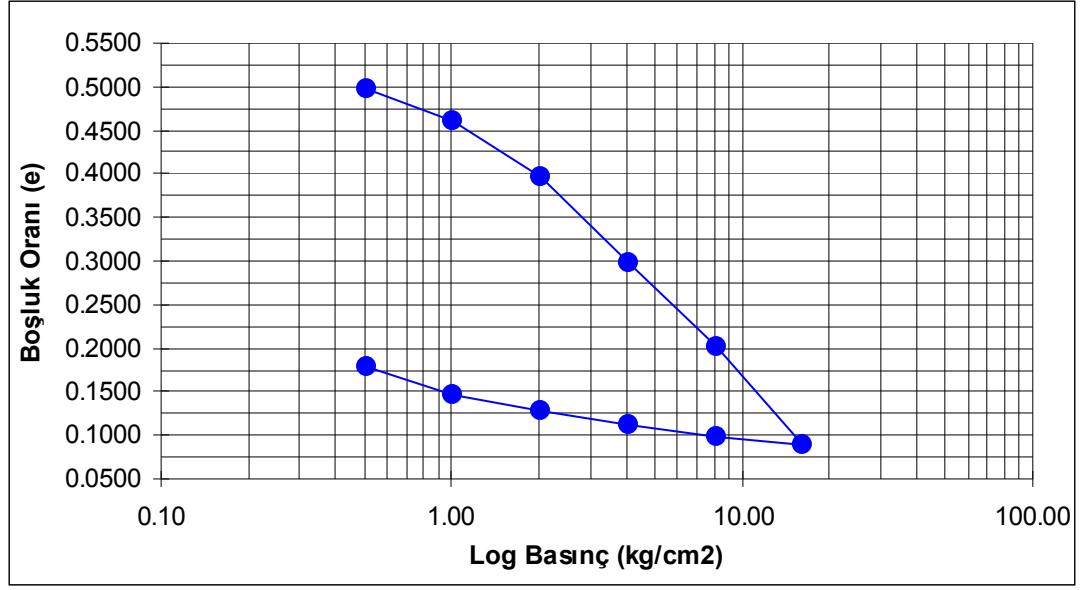
Konsolidasyon aletine yerleştirilen numune üzerine 24 saatlik aralıklarla belirli yükler uygulanmıştır (Şekil 3.14). Basınc verilirken her kademedede bir önceki kademedede verilen toplam yük kadar ilave edilmesi şeklinde uygulanmıştır. Uygulanan basınçlar 1, 2, 4, 8, 16 kg/cm²'dir. Bu şekilde 16 kg/cm² basınç altında da tam konsolidasyon sağlandıktan sonra yükler tekrar aynı aralıklıklarla fakat bu sefer geriden başlayarak başa doğru boşaltılmıştır. Oturmaların ölçülmesinde hassas komparatörler kullanılmıştır.

Bu şekilde numunenin geri kabarması sağlanır. Kabarma içinde yine 24 saat beklenilmiştir. Yükün boşaltılması tamamlandıktan sonra numune alınır, etüvde kurutulur su muhtevası tayin edilir.



Şekil 3.14. Ödometre deney düzeneği

Yükleme süresinde numunede meydana gelen düşey deformasyonlar, numune üzerindeki komparatör saatlerinden okunarak kaydedilir. Her yükte konsolidasyon tamamlandıktan sonra yani nihai oturmaya erişildikten sonra o duruma tekabül eden boşluk oranları hesaplanır ve yükler logaritmik grafikte e - $\log P$ eğrisi Şekil 3.15'deki gibi belirlenir. Sıkışma indisi C_c elde edilir.



Şekil 3.15. Ödometre deney sonuçlarından elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi

3.3.4. SPT'ye Dayalı Sıvılaşma Analiz Yöntemleri

3.3.4.1. NCEER Workshop yöntemi ile sıvılaşma analizi

Günümüzde sık kullanılan yöntem, zeminlerin sıvılaşma direnci analizleri üzerinde çalışılmak için 1997 yılında Brigham Young ve California Üniversitelerince oluşturulan NCEER Workshop grubu tarafından, literatürdeki mevcut çalışmalara dayanarak ve sıvılaşma etkenlerinin daha doğru biçimde analizlere katılmasını sağlayacak biçimde geliştirilen yöntemdir. Mühendislik uygulamalarında arazi deneylerinin kullanımı oldukça yaygındır. NCEER (1997), sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde dört değişik arazi deney yönteminin başarıyla kullanılabileceğini bildirmektedir. Bu testler;

- 1) Standart Penetrasyon Deneyi (SPT),
- 2) Konik Penetrasyon Deneyi (CPT),
- 3) Arazi Kayma Dalga Hızının Ölçülmesi (V_s) ve
- 4) Becker Penetrasyon Deneyi'dir.

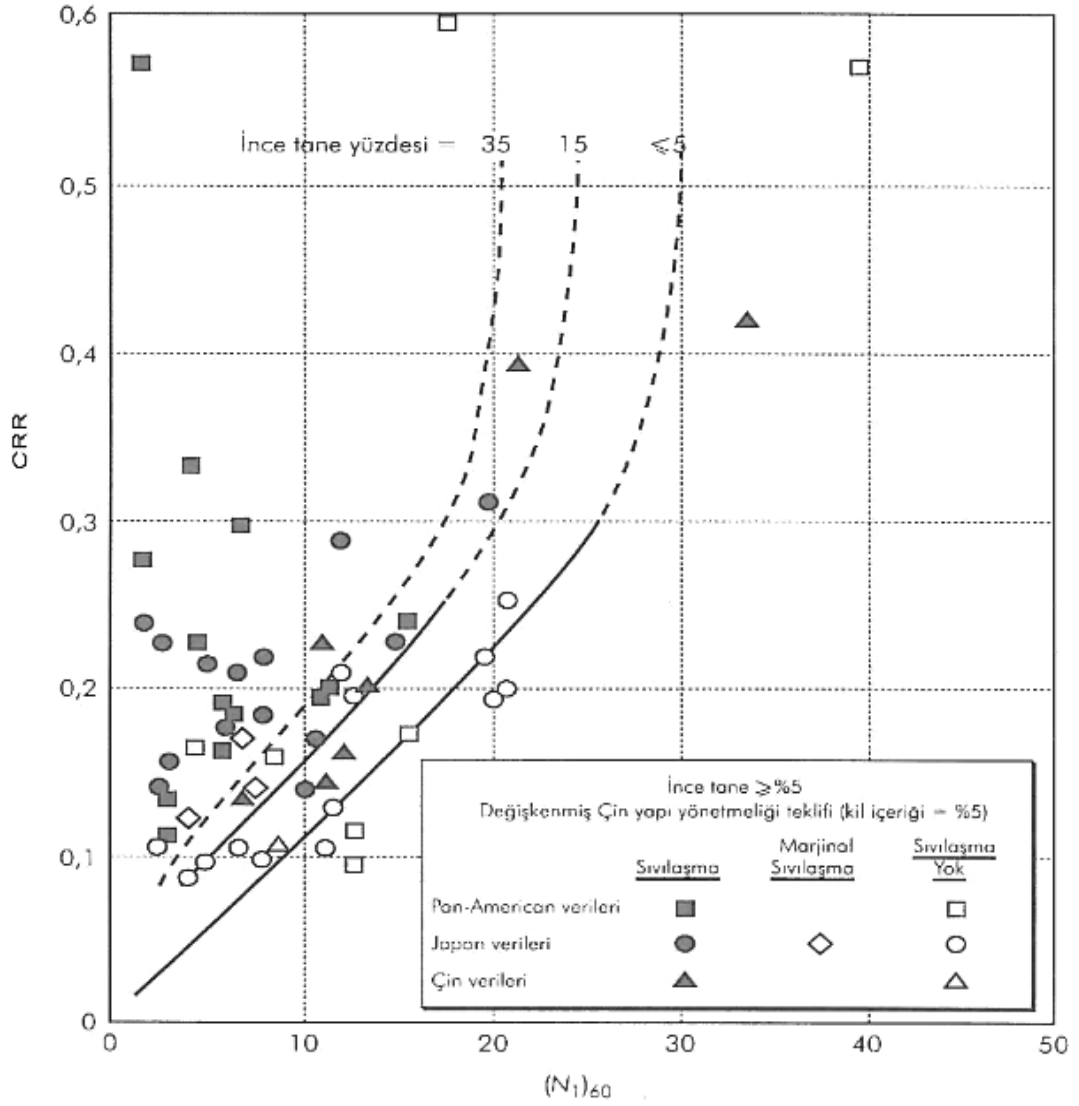
Bu araştırma kapsamında zemin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde yukarıda verilen yöntemler arasında en eski ve sıkça kullanılan yöntem olan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) açıklanacaktır.

3.3.4.1.1. Zeminin tekrarlı yüklemeye karşı direnci (CRR)

NCEER (1997)'in önerdiği yöntem, genel olarak Seed vd (1985) sıvılaşma üzerine yaptıkları çalışmalara dayanmaktadır. Seed vd (1985) ile NCEER (1997) grubunun sıvılaşma üzerine yaptıkları çalışmalarda, araziden elde edilen SPT-N değerinin düzeltilmesi ile elde edilmiş $(N_1)_{60}$ değeri ile sıvılaşma olasılığı arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmış ve gayet iyi sonuçlar veren ilişkiler oluşturulmuştur. Şekil 3.16'da $(N_1)_{60}$ ile sıvılaşma arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

NCEER (1997) grubunun önerdiği yöntem özetle şöyledir; Plastiklik oranı %5 ve daha küçük olan zeminlerde, arazide elde edilen ham SPT-N değerinin, %5 ince malzeme içeren aynı zeminin düzeltilmiş $(N_1)_{60}$ değerine dönüştürülerek, sıvılaşma için geliştirilen korelasyonlarda bu eşdeğer $(N_1)_{60}$ değerinin kullanılmasına dayanmaktadır. NCEER (1997) grubu tarafından önerilen bu yöntem, ince malzeme oranının %35 den büyük ($-No.200 > \%35$) ve zeminin plastiklik indisinin $I_p > \%5$ olması durumunu içermemektedir. Zemin deprem sırasında tekrarlı bir yüklemeye maruz kalır. Zeminin tekrarlı yüklemeye karşı olan direnci (CRR), mevcut efektif yüke, tekrarlı gerilme oranına (CSR) ve zemin özelliklerine bağlıdır. Zemin özellikleri olarak;

- Dane çapı dağılımı,
- Dane şekli,
- Mineraloji,
- Zeminin sıklığı gibi etkenler sayılabilir.



Şekil 3.16. Tekrarlı gerilme direnci (CRR) ile kumlu zeminlerdeki SPT-N arasındaki ilişki (Seed vd 1985)

Zeminin tekrarlı yüklemeye karşı direnci literatürde CRR olarak ifade edilmektedir. CRR laboratuvarında bu amaca yönelik yapılan deneylerle veya arazi ve laboratuvar deneylerine bağlı olarak geliştirilen korelasyonlar ile hesaplanabilmektedir. Günümüzde arazideki zemin hakkında bilgi edinmek için yapılan deneylerin başında, kumlu zeminler için SPT (Standart Penetrasyon Testi), killi zeminler için CPT (Konik Penetrasyon Testi) gelmektedir.

Arazide yapılan SPT'den elde edilen N değerine birçok dış etken etki etmektedir. Bu etkenlerden önemlileri;

- Deney sırasında oluşan enerji kayıpları,
- Sondaj borusunun boyu ve çapı,
- Deneyin yapılış şekli (elle ya da otomatik araçlarla yapılması),
- Açık hava basıncının etkisi,
- İnce malzeme oranının etkisi,
- Zeminin plastiklik özelliği etkileridir.

SPT-N değerine bağlı oluşturulan korelasyonların doğru sonuçlar vermesi için araziden elde edilen ve yukarıdaki etkileride içeren N değeri üzerinde bazı düzeltmeler yapılarak standartlaştırılması gerekmektedir. Bu paragrafta değinilen ilk dört etkinin N üzerindeki etkilerini düzeltmek için NCEER (1997) tarafından önerilen katsayılar Çizelge 3.2'de verilmiştir. Arazide elde edilen ham SPT-N değerine Çizelge 3.2'deki düzeltmeler uygulandığında Eşitlik 3.1 elde edilir.

$$(N_1)_{60} : N C_N C_E C_B C_R C_S \quad (3.1)$$

N: Arazide yapılan deneyden elde edilen ham SPT-N değeri.

C_N : Aşırı yük düzeltmesi.

P_v : Deniz seviyesindeki açık hava basıncı,

σ'_{vo} : Düşey efektif gerilme.

C_E : Enerji düzeltmesi.

C_B : Sondaj çapı düzeltmesi.

C_R : Sondaj uzunluğu düzeltmesi.

C_S : Deney yöntemi düzeltmesi.

$(N_1)_{60}$: Düzeltilmiş SPT-N değeri.

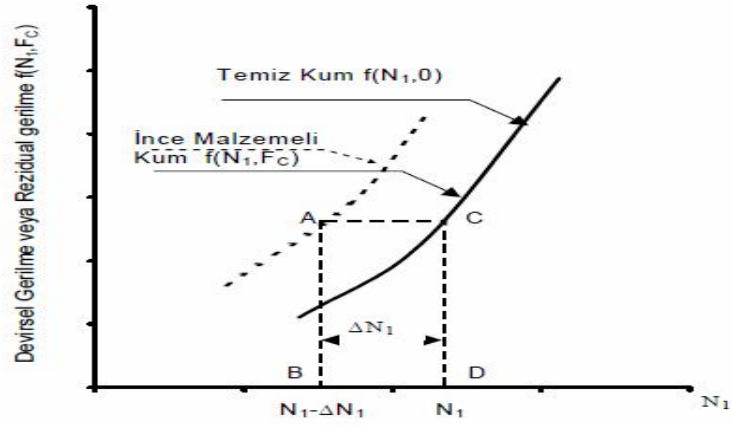
Çizelge 3.2. SPT için düzeltme katsayıları (NCEER 1997)

Etki	Ekipmanlar ve Yöntemler	Terim	Katsayı
Efektif Gerilme Düzeltmesi		C_N	$(P_v/\sigma'_{vo})^{1/2} \leq 2 \Rightarrow (P_v/\sigma'_{vo})^{1/2}$ $(P_v/\sigma'_{vo})^{1/2} > 2 \Rightarrow 2$
Enerji Oranı	Donut Çekici Safety Çekici Otomatik Çekiç	C_E	0,5 – 1,0 0,7 – 1,2 0,8 – 1,5
Sondaj Çapı	65-115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1,0 1,05 1,15
Çubuk Uzunluğu	3-4 m 4-6 m 6-10 m 10-30 m >30 m	C_R	0,75 0,85 0,95 1,0 <1,0
Deney yöntemi	Standart Deney Doğrusal Olmayan Deney	C_S	1,0 1,1 – 1,3

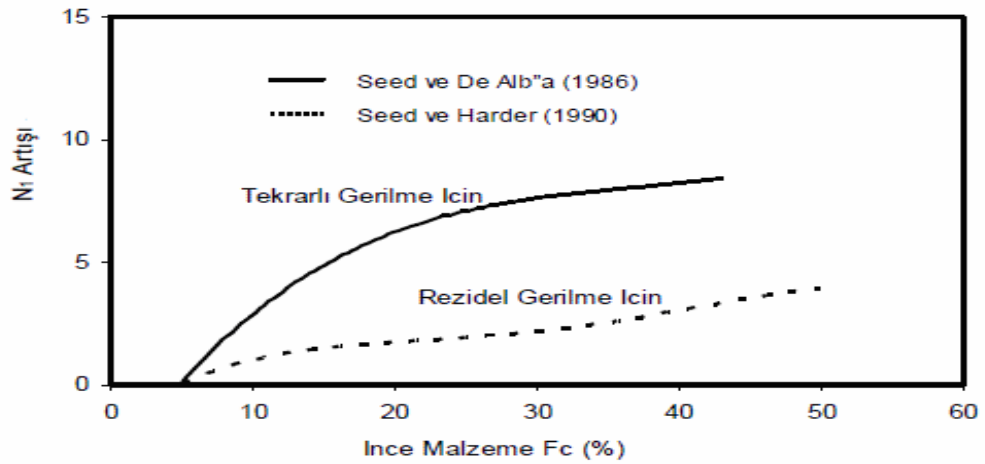
3.3.4.1.2. İnce malzeme oranı (F_c) düzeltmesi

Sıvılaştırılabilir zeminlerde 200 No'lu elekten geçen ince malzeme miktarı zeminin sıvılaştırma direncini arttırmaktadır. Temiz kum ile aynı SPT-N değerine sahip ince malzeme içeren kumun tekrarlı gerilme dirençleri (CRR) arasındaki ilişki Şekil 3.17'de verilmiştir. Şekil 3.17'de ince malzeme oranının tekrarlı gerilme direnci (CRR)'deki neden olduğu artış görülebilmektedir.

Dirençteki bu değişim ince malzeme oranı (F_c) ile ilişkilidir. Farklı ince malzeme oranlarına ait eğriler grafikte görüldüğü gibi, ince malzeme oranı arttıkça eğriler yaklaşık paralel olarak kendinden bir önceki eğrinin soluna kaymaktadır. Bu kayma (ΔN_1) ince malzeme oranının bir fonksiyonu olarak Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Seed ve De Alba (1986) kum içinde bulunan ince malzeme oranının temiz kumun tekrarlı gerilme direncinde meydana getirdiği artışı incelemişlerdir. Yine Seed ve Harder (1990) ince malzeme oranının reziduel zemin direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmaların sonucunda şekil 3.18'de gösterilen eğrileri elde etmişlerdir.

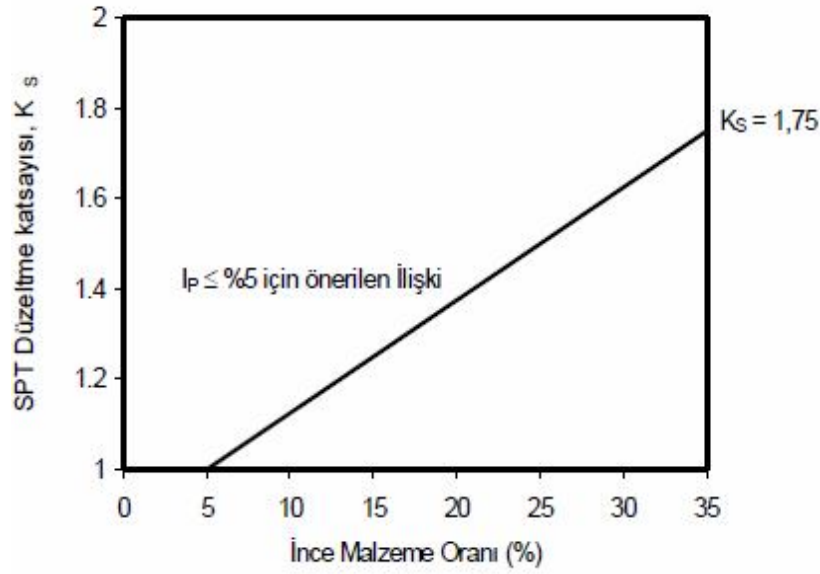


Şekil 3.17. İnce malzeme (No.200) artışının, tekrarlı gerilme direnci üzerindeki etkisi



Şekil 3.18. İnce malzeme oranına bağlı olarak ΔN_1 artışı

Bu bölümde sivilaşma analizlerinde NCEER (1997) grubunun önerdiği hesaplamalar anlatılmıştır. İnce malzeme oranının %35 den daha büyük olması durumunda NCEER (1997) grubunun önerdiği gibi zeminin sivilaşmayacağı kabul edilir. $F_c \leq \%35$ için sadece NCEER (1997) grubunun önerdiği prosedür uygulanmıştır. İnce malzeme içeren zeminler için NCEER (1997) grubunca önerilen K_s düzeltme katsayısı Şekil 3.19 ve Eşitlik 3.2 ile verilmiştir.



Şekil 3.19. $I_p \leq \%5$ için ince malzeme içeren zeminin temiz kumdaki eşdeğer SPT direnci için düzeltme katsayısı

$$F_c \leq \%35 \quad \text{için} \quad K_s = 1.00 \quad (3.2)$$

$$\%5 \leq F_c \leq \%35 \quad \text{için} \quad K_s = (1 + (0.75/30)) * (F_c - 5) \quad (3.3)$$

Analizlerde kullanılmak üzere $(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} \times K_s$ ile belirlenir.

SPT-N değeri üzerinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra Eşitlik 3.3 kullanılmadan Şekil 3.16'da verilen ilgili eğri kullanılarak CRR değeri belirlenebilir. Grafikten okuma için ince malzeme oranı düzeltmesi yapılmasına gerek yoktur. Zeminin içerdiği ince malzeme oranına göre ilgili eğri seçilip okuma yapılabilir.

Farklı büyüklükteki depremler için zeminin Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) Eşitlik 3.4 ve 3.6 ile hesaplanabilir.

$$CRR = \left[\frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \right] \quad (3.4)$$

$(N_1)_{60}$: Düzeltilmiş SPT-N değeri.

MSF: Magnitüd düzeltme faktörü.

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad (3.5)$$

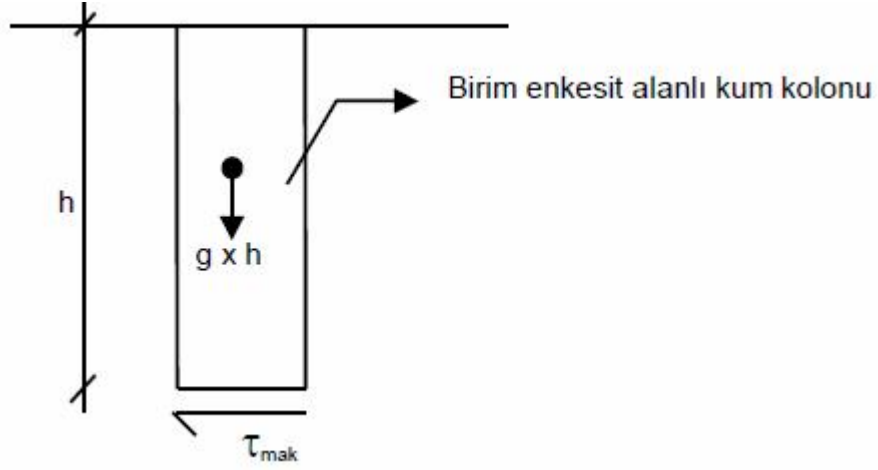
M: Sıvılaşma analizi için göz önüne alınan deprem büyüklüğü.

$$CRR_{m 7.5} = CRR * MSF \quad (3.6)$$

Ancak bu bağıntı $(N_1)_{60} < 30$ değerleri için geçerli bir bağıntıdır. Çünkü bu değerden büyük değerlerin sıvılaşmayacak kadar yoğun olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Sıvılaşmanın buraya kadar anlatılan kısmında arazideki SPT-N değerinden zemini temsil edebilecek CRR (Tekrarlı Gerilme Direncinin) nasıl hesaplanacağı verilmiştir.

3.3.4.1.3. Tekrarlı gerilme oranı (CSR)

Zeminin $(N_1)_{60}$ değeri ve içerdiği ince tane yüzdesi esas alınarak zeminde sıvılaşmaya neden olacak tekrarlı gerilme oranı (CSR) belirlenir. CSR, deprem sırasında herhangi bir derinlikte zemini etkileyen ve depremin neden olduğu tekrarlı gerilme oranı (τ_o / σ'_v) olarak tanımlanır ve ortalama eşdeğer kayma gerilmelerinin efektif düşey gerilmelere oranıdır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Birim en kesit alanlı kum kolonunda oluşan kayma gerilmesi (τ_{mak})

a_{mak} : Bir depremde zemin yüzeyinde oluşacağı tahmin edilen maksimum ivme

$$\tau_{mak rijit} = \gamma h \frac{a_{mak}}{g} = \sigma_v \frac{a_{mak}}{g} \quad (3.7)$$

Zemin rijit kütle hareketi yapmadığı için $\tau_{mak rijit}$ değerine derinliğe bağlı düzeltme yapılır.

$$\tau_{mak} = \tau_{mak rijit} \times r_d \quad (3.8)$$

$r_d = 1 - 0,00765.z$	$z < 9,15$
$= 1,174 - 0,0267.z$	$9,15m < z < 23m$
$= 0,744 - 0,088.z$	$23m < z < 30m$
$= 0,5$	$30m < z$

$$\tau_{mak} = \sigma_v \frac{a_{mak}}{g} r_d$$

$$\tau_o = 0,65 \cdot \tau_{mak} \quad (3.9) \text{ ve } (3.10)$$

$$\tau_o = 0,65 \sigma_v \frac{a_{\text{mak}}}{g} r_d \quad (3.11)$$

$$\text{CSR} = \frac{\tau_o}{\sigma'_v} = 0,65 \left(\frac{a_{\text{mak}}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (3.12)$$

a_{mak} : Bir depremde zemin yüzeyinde oluşacağı tahmin edilen maksimum ivme

r_d : Derinlik düzeltme katsayısı

z : Derinlik

τ_{mak} : Belli bir derinlikte oluşacak maksimum kayma gerilmesi

σ_v : Toplam düşey gerilme

σ'_v : Efektif düşey gerilme

τ_o : Ortalama kayma gerilmesi

Zeminde deprem esnasında oluşacağı tahmin edilen Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) Eşitlik 3.12 ile hesaplanır.

3.3.4.1.4. Zeminin sıvılaşma analizi

Zeminin Tekrarlı Yükleme Karsı Direncinin (CRR), tekrarlı yükleme esnasında zeminde oluşacak Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) oranı (CRR/CSR), zeminin sıvılaşmaya karşı Güvenlik Faktörü (G_F) olarak tanımlanır.

$$G_F = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}} \quad (3.13)$$

$G_F \leq 1,0$ Zeminin sıvılaşma riski vardır.

$G_F > 1,0$ Zeminin sıvılaşma riski yoktur.

3.3.4.2. Olasılıksal (Probabilistik) yöntem ile sınılaşma analizi

Araziden alınan SPT verileri kullanılarak olasılıksal yöntem ile sınılaşma analizi (Çetin 2000, Seed vd 2003, Çetin vd 2004) yapılmıştır. Olasılıksal sismik tehlike analizi; gerek sismik kaynakların geometrisinde, ilgilenilen sahaya uzaklıklarında, sönüm ilişkilerinde, gerekse beklenen depremlerin büyüklüklerindeki belirsizlik durumlarında, ilgilenilen sahaya seçilen tasarım periyodu içinde gelebilecek ve belli bir aşılma olasılığına sahip yer hareketi parametrelerinin sistematik bir şekilde modellenip, tahmin edilebilmesini sağlar.

Jeolojik parametrelerden başlayarak, kaynaktan uzaklığa kadar uzanan birçok ögenin belirsizliğe sahip olabildiği bu doğa olayı karşısında; sahanın maruz kalacağı yer hareketi parametrelerinin tahmininin, deterministik analiz yaklaşımıyla karşılaştırıldığında çok daha fazla başarılı olduğu, yöntemin Cornell (1968) tarafından ortaya atıldığı tarihten beri uygulama alanlarının genişlemesiyle görülmektedir.

Probabilistik yöntemle yapılan SPT ile sınılaşma analizinde; yeraltı su seviyesi, numunenin alındığı tabakanın orta noktasının derinliği, SPT vuruş sayıları, enerji oranı, sondaj kuyu çapı, numune alma yöntemi, tij boyu verileri girilmelidir. Sınılaşmaya karşı direnç, düzeltilmiş SPT darbe sayıları $N_{1,60}$ ile modellenmiştir.

Youd vd (2001)'nin kullanmış oldukları veri tabanına 300 farklı veri daha ekleyen Çetin vd (2004) tüm verileri tekrar değerlendirerek, sınılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik olasılık esaslı yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerilen bu yöntemde, CSR'nin ve CRR'nin belirlenmesinde kullanılan bazı parametreler deterministik yöntemlere göre farklılıklar içermektedir. Bu farklılıklar ve tez çalışmasında kullanılan bağıntılar aşağıda açıklanmıştır. Tüm SPT'N değerleri düşey gerilme durumları için düzeltilmiş ve 1 atm. lik efektif düşey gerilme altında hesaplanmıştır.

Düzeltilmiş standart penetrasyon direncinin $N_{1,60}$ belirlenmesinde, yine önerilen eşitlik (Bkz. Eşitlik 3.1) kullanılmakta olup, dikkate alınan düzeltme faktörleri Çizelge 3.3 ve Şekil 3.21'de verilmiştir.

$$N_{1,60} = N \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E \quad (3.14)$$

N: Arazide yapılan deneyden elde edilen ham SPT-N değeri.

C_R : Tij düzeltmesi.

C_S : Standart olmayan numune alıcı düzeltmesi.

C_B : Sondaj çap düzeltmesi.

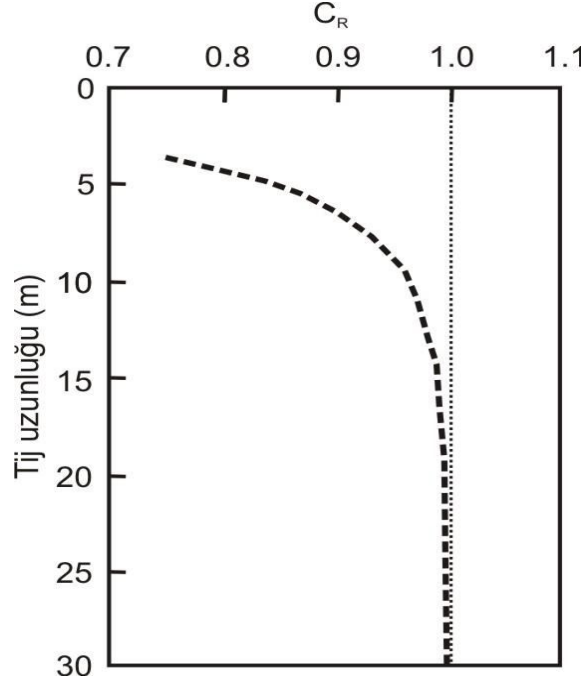
C_E : Tokmak enerji verim düzeltmesi.

Çizelge 3.3. Düzeltilmiş $N_{1,60}$ değerinin belirlenmesinde kullanılan düzeltme faktörleri (Çetin vd 2004)

Faktör	Simge	Gereç	Düzeltilme
Örtü yükü basıncı	C_N	-	$(P_d/\sigma'_v)^{0.5}$ $C_N \leq 2$
Enerji oranı	C_E	Safety tipi şahmerdan	0.70-1.20
		Donut tipi şahmerdan ^a	0.50-1.00
		Donut tipi şahmerdan ^b	1.10-1.40
		Otomatik-trip tip şahmerdan	0.80-1.40
Kuyu çapı	C_B	65-115 mm	1.00
		150 mm	1.05
		200 mm	1.15
Tij uzunluğu	C_R	Bakınız Şekil 3.21	
Örnekleme yöntemi	C_S	Standart örnekleyci	1.0
		İç tüpsüz örnekleyci	1.15-1.0

^aKedibaşının çevresinde 2 kez dönen halat sistemi; ^bJaponlara özel halat ve kedibaşı sistemi

Tez kapsamında kedibaşının çevresinde 2 kez dönen halat sistemi ve safety tipi şahmerdan kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Tij uzunluğu düzeltmesi (Çetin vd 2004)

Diğer bir farklılık Çetin vd (2004)'nin önerdikleri yöntemde, CSR'nin belirlenmesi için yine Eşitlik 3.17 kullanılmakta olup, sadece gerilme azaltma faktörünün belirlenmesi amacıyla farklı bir yaklaşım kullanılmıştır. Çetin vd (2004), gerilme azaltma faktörünü etkileyen, derinlik (d), depremin moment büyüklüğü (M_w), maksimum yüzey ivmesi (a_{max}), 12 m derinliğe kadar olan zemin seviyesinin sıklığı ve makaslama dalgası hızı ($V_{s,12}^*$) parametrelerini göz önüne alarak, 2153 lokasyonda arazi tepki analizi yapmışlardır (Çetin vd 2004).

Analiz sonuçlarına göre araştırmacılar gerilme azaltma faktörünün; en büyük yer ivmesinin, deprem büyüklüğünün ve zeminin sıklığının artmasına bağlı olarak azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacıların diğer bir gözlemi ise, r_d 'nin 12 m'ye kadar derinlikle birlikte arttığı, 12 m'den sonra ise hemen hemen sabit kaldığı bu nedenle, 12 m derinliğe kadar ve 12 m'den daha fazla derinlikler için gerilme azaltma faktörünün farklı eşitlikler kullanılarak hesaplanması önerilmiştir (Eşitlik 3.15 ve Eşitlik 3.16 Çetin vd 2004).

$d < 19.8$ m için;

$$r_d(d, M_w, a_{\max}, V_{s,12}^*) = \left[\frac{1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{\max} + 0.999 \cdot M_w + 0.0525 \cdot V_{s,12}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.341(-d + 0.0785V_{s,12}^* + 7.586)}}}{1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{\max} + 0.999 \cdot M_w + 0.0525 \cdot V_{s,12}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.341(0.0785V_{s,12}^* + 7.586)}}} \right] \pm \sigma_{\varepsilon r_d} \quad (3.15)$$

$d \geq 19.8$ m için ise;

$$r_d(d, M_w, a_{\max}, V_{s,12}^*) = \left[\frac{1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{\max} + 0.999 \cdot M_w + 0.0525 \cdot V_{s,12}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.341(-d + 0.0785V_{s,12}^* + 7.586)}}}{1 + \frac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{\max} + 0.999 \cdot M_w + 0.0525 \cdot V_{s,12}^*}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.341(0.0785V_{s,12}^* + 7.586)}}} \right] - 0.046(d - 20) \pm \sigma_{\varepsilon r_d} \quad (3.16)$$

formülüyle bulunabilmektedir.

Burada;

$d < 12$ m için $\sigma_{\text{erd}}(d) = d^{0.850} \cdot 0.0198$ ve

$d \geq 12$ m için $\sigma_{\text{erd}}(d) = 40^{0.850} \cdot 0.0198$ 'dir.

$$CSR_{\text{eq}} = \frac{\tau_o}{\sigma'_v} = 0,65 \left(\frac{a_{\text{mak}}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (3.17)$$

CSR_{eq}: Tekrarlı dayanım oranı

a_{max}: En büyük yatay yer ivmesi

g: Yerçekimi ivmesi

σ'_v: Efektif düşey örtü yükü gerilmesi

σ_v: Toplam düşey örtü yükü gerilmesi

r_d: Gerilme azaltma faktörüdür

Olasılıksal senaryonun her aşaması kademeli olarak çalışırken, Eşitlik 3.17 kullanılarak deneyin yapıldığı numunenin alındığı tabakanın orta noktasının derinliği (m) için eşdeğer tekrarlı gerilme oranı hesaplanmış sonra Eşitlik 3.18'e uygun olarak sıvılaşma tetiklenme olasılıkları bulunmuştur.

İşlenen sondaj verilerinde gerekli SPT düzeltmeleri yapılarak, her sondajın tüm derinliklerinde sıvılaşma gerçekleşme olasılığı Seed vd (2001) ve Çetin vd (2004) yöntemlerine göre hesaplanmış ve "PL" olarak ifade edilmiştir. Analizlerde senaryo depremi olarak Antalya'da kayıt edilen en büyük deprem olan 01 Mart 1926 yılında karşılaştığı depremlerin episantr şiddetlerine yaklaşık olarak karşılık gelen $M_w = 6.5$ büyüklüğü kullanılmıştır. Sıvılaşma olasılığı (PL) Eşitlik 3.18'de gösterilmiştir. Burada Φ standard kümülatif normal dağılım, $N_{1,60}$ derinlik düzeltmesi yapılmış standart penetrasyon vuruş sayısı, M_w depremin moment büyüklüğü, F_c ise SPT verilerinin alındığı noktadaki ince daneli malzeme yüzdesidir (Yunatçı ve Çetin 2007).

$$P_L(N_{1,60}, CSR, M_w, \sigma'_v, FC) = \Phi \left[\frac{\left(\begin{array}{l} N_{1,60} \cdot (1 + 0.004 \cdot FC) - 13.32 \cdot \ln(CSR) - \\ 29.53 \cdot \ln(M_w) - 3.70 \cdot \ln(\sigma'_v) \\ + 0.05 \cdot FC + 44.97 \end{array} \right)}{2.70} \right] \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18. sıvılaşma tetiklenme olasılığını hesaplamada kullanılır.

Analizlerde granüler malzemelerin ve siltlerin sıvılaşabileceği göz önüne alınmıştır. Son olarak sıvılaşan tabakanın yüzeyden derinliği arttıkça yaratacağı hasarın azaldığı kanıtından yola çıkarak Yılmaz ve Çetin (2004) tarafından ifade edilen "WF" etkeni üçüncü birleşen olarak değerlendirilmiş ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar azalan bir lineer değişime sahip olduğu belirtilmiştir.

Böylece Iwasaki (1982) tarafından geliştirilen LSI indeksine (Liquefaction Severity Index) benzeyen ve Yılmaz ve Çetin (2004) tarafından tanımlanan yeni bir kavram olan “Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) kullanılmıştır.

$$LSI = \int_0^{20} PL \cdot TH \cdot WF \quad (3.19)$$

Burada;

PL: Sıvılaşma olasılığı

TH: Potansiyel olarak sıvılaşabilir tabaka kalınlığı

WF: Yüzeiden olan derinliğe bağılı sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörüdür

İncelenen zemin seviyesinin orta noktasının derinliğine (z) bağılı olarak, yüzeiden olan derinliğe bağılı sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörünün (WF) belirlenmesinde Eşitlik 3.20. kullanılmaktadır.

$$WF=1-0.05z \quad z \leq 20 \quad (3.20)$$

Olasılıksal sismik tehlike analizlerinin özelleşmiş zemin tepki analizleriyle tümleştirilebilmesi, aynı omurgaya sismik zemin sıvılaşması gibi geoteknik deprem mühendisliği alanındaki risklerin de benzer şekilde dahil edilebilmesine olanak tanımaktadır (Yunatçı ve Çetin 2007).

LSI'ye göre sıvılaşma riski dereceleri (Yılmaz ve Çetin 2003);

- $0 < LSI < 0.35$, sıvılaşma potansiyeli çok düşük
- $0.35 < LSI < 1.30$, sıvılaşma potansiyeli düşük
- $1.30 < LSI < 2.5$, sıvılaşma potansiyeli yüksek
- $2.5 < LSI = 10.0$, sıvılaşma potansiyeli çok yüksek

Bu sınırlar, Yılmaz ve Çetin (2004) tarafından 1999 Kocaeli depremi sonrası Adapazarı'ndaki gözlemlere dayanarak belirlenmiştir. Bu analizler sonrası sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılırsa, zemin iyileştirmesi ya da yapısal önlemlerin alınması gerekmektedir.

3.3.5. ArcGIS 9.3 Yazılım Programı İle Veri Analizi

Kundu bölgesinde yapılan incelemelerin bu aşamasında sondaj noktaları, zemin cinsi, belirli derinlikteki SPT-N ve zemin sıvılaşma şiddet indeksi CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) programı kullanılarak sayısal ortamdaki harita üzerine aktarılmıştır. Haritaların hazırlanmasında ArcGIS 9.3 yazılım programı kullanılmıştır.

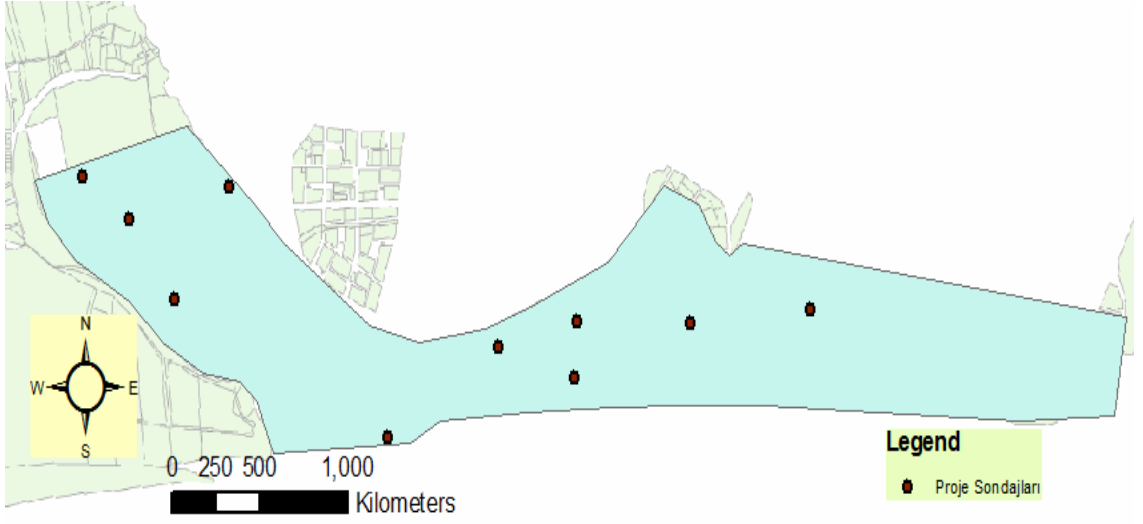
Öncelikle çalışma alanına ait raster veriler (çalışma alanının sınırları, sondaj noktalarına ait paftalar) taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Çalışma sahasında GPS ile belirlenen sondaj kuyularına ait koordinatları haritaya yerleştirebilmek için nokta olarak tanımlanan sondaj kuyuları için dataların oluşmasını sağlayan ArcCatalog'da bir şekil dosyası (shapefile) oluşturulmuştur. Sondaj noktaları nokta (point) olarak tanımlanmıştır. Böylece tablosal değerlerin veri tabanına aktarılması sağlanmıştır.

Çalışma alanının sınırlarını belirtmek amacıyla BOLGE isimli bir şekil dosyası (shape file) oluşturulmuştur. Çalışma alanı ise polygon (alan) olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'de çalışma alanının sınırlarını, proje ve arşiv sondaj noktaları gösterilmiştir. Bölgenin zemin cinsi haritayı oluşturulurken; her sondaj noktası ve sondaj noktasının farklı derinlikleri için laboratuvar deney sonuçlarına göre bulunan zemin cinsleri metin olarak (SM-SC-SW-SP gibi) girilmiştir.

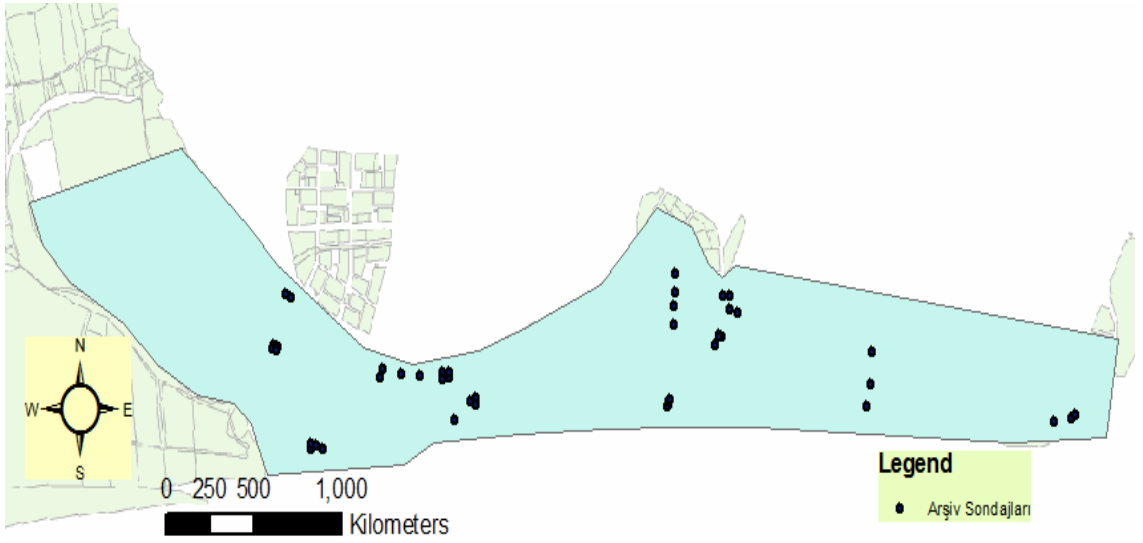
Noktaların tamamına ait zemin cinsleri girildikten sonra her bir zemin cinsi için birer sayı tanımlanmıştır; çünkü iki sondaj arasındaki zemin cinsini CBS tabanlı programda yorumlattırabilmek için (ara değerleri bulabilmek ya da enterpolasyon yapabilmek için) her sondaj noktasındaki zemin cinslerinin birer sayısal karşılığı olmalıdır. Zemin cinsleri bu şekilde modellendikten sonra her zemin cinsi ve sondajlar arasında kalan bölgeler için renklendirme işlemi yapılarak farklı derinlikler için hakim zemin cinsi tematik haritaları oluşturulmuştur.

Çalışma alanında ölçülen ve bitmiş olan sondajlardan elde edilen arazi verileri derlenerek, SPT-N derinlik değerleri, hesaplanan sıvılaşma potansiyeli ve şiddet indeksi değerleri programa girilmiştir. Her sondaj kuyusuna ait verileri içeren bu dosya ArcGIS'de hazırlanan gözlem kuyularına ait veri katmanı ile ilişkilendirilmiş ve haritaları dizayn eden ArcMap ortamına aktarılmıştır. Sıvılaşma olasılığı (PL) sonuçları, SPT-N, zemin cinsi ve sıvılaşma şiddet indeksi (LSI) tematik haritalarında GIS ortamında noktasal olarak harita üzerinde gösterilmiştir. Haritalar oluşturulurken her bir değer için bir renk atanmıştır. Sondaj noktaları arasındaki kısımlara ait değerler ise program tarafından enterpolasyon yapılarak bulunmuş ve ara değerler için de renk atanmıştır.

Her bir özellik için oluşturulan haritalara lejant, kuzey oku, ölçek, veri metni gibi özellikler eklenerek, mxd uzantılı dosyalar hazırlanmıştır. Böylece tablosal değerlerin veri tabanına aktarılması sağlanmış ve Antalya-Kundu bölgesine ait geoteknik veritabanı oluşturulmuştur.



Şekil 3.22. Proje Sondajları



Şekil 3.23. Arşiv Sondajları

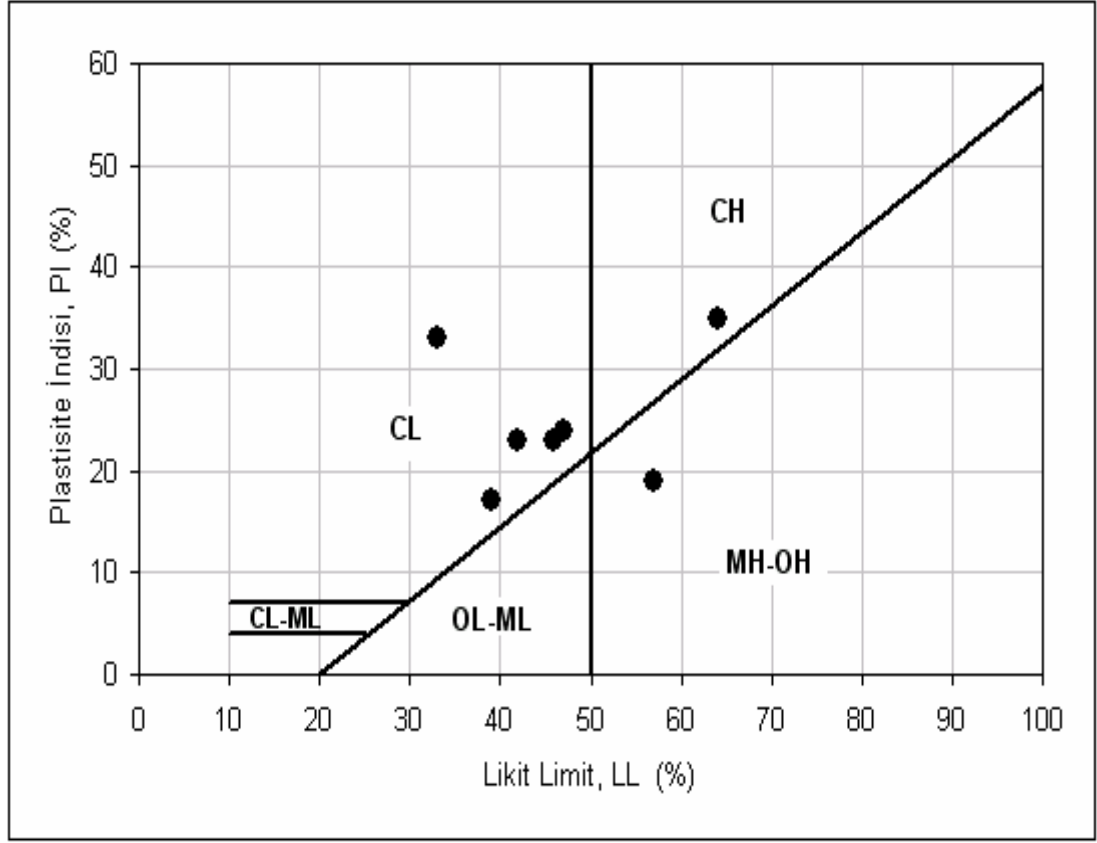
4. BULGULAR

4.1. Laboratuvar Deney Sonuçları

Antalya Kundu mevkininde yapılan zemin etüd çalışmalarında, bölge zemininin homojen bir yapıya sahip olmadığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamındaki sondaj kuyularından farklı derinliklerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen Kıvam limitleri deney sonuçları incelendiğinde, ince taneli zeminlerden yüksek plastisiteli killer (CH), düşük plastisiteli killer (CL) ve yüksek plastisiteli siltli zeminlere (MH) ulaşılmıştır. Kıvam Limitleri deney sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’de ise kıvam limitleri deneyi sonuçlarına göre bulunan sonuçlar plastisite kartında gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kıvam limitleri deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	LL	PL	PI	Zemin Cinsi	Açıklama
SK-2	3.00-3.45	57	38	19	MH	Yüksek Plastisiteli Silt
SK-3	1.38-1.80	39	22	17	CL	Düşük Plastisiteli Killer
SK-4	3.00-3.45	64	29	35	CH	Yüksek plastisiteli Killer
SK-6	1.25-1.70	47	23	24	CL	Düşük Plastisiteli Killer
SK-9	1.50-1.95	42	19	23	CL	Düşük Plastisiteli Killer
SK-9	17.50-17.95	46	23	23	CL	Düşük Plastisiteli Killer
SK-10	1.50-1.96	33	0	33	CL	Düşük Plastisiteli Killer



Şekil 4.1. Çalışma Bölgesindeki İnce Taneli Zeminlerin Plastisite Kartında Gösterilmesi

Tüm sondaj kuyularında elde edilen örselenmiş numuneler üzerinde yapılan elek analizi sonuçları incelendiğinde USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)'ye göre bölgedeki hakim zeminin siltli kum (SM) olduğu, bölgenin büyük kısmındaki kumun kötü derecelendiği (SP) görülmüştür.

Yapılan deney sonuçlarına göre ise SP ve SW karakterli kumların ince tane oranı %5-%12 arasında değişenlerinin ikinci simgesinin bölgenin büyük kısmında M simgesine sahip olduğu, iki sembolü zeminlerin SPM veya SWM olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elek Analizi sonuçları aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 4.2. SK-1 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23	0	87	13	4.93	0.52	SM
2.73	0	87	13	1.87	0.77	SM
4.23	0	97	3	3	1.66	SP
5.73	0	97	3	4.12	0.86	SP
7.23	0	95	5	3.33	1.01	SP
8.73	4	89	7	5.56	0.72	SPM
10.23	2	94	4	6.16	0.65	SP
11.73	0	91	9	2.5	0.9	SPM
13.23	0	90	10	2.67	0.96	SPM
14.73	0	92	8	2.63	1.17	SPM
16.23	0	91	9	2.67	1.13	SPM
17.73	0	96	4	2.67	1.34	SP
19.23	1	90	9	2.8	1.07	SPM
20.73	5	93	2	3.75	1.07	SP

Çizelge 4.3. SK-2 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23	4	97	3	2.35	0.99	SP
2.73						MH
4.23	0	87	13	1.89	0.97	SM
5.73	0	95	5	3.33	1.2	SP
7.23	3	87	10	6.27	0.92	SPM
8.73	0	96	4	3.25	1.56	SP
10.23	0	91	9	2.5	1.6	SPM
11.73	0	94	6	2.33	1.53	SPM
13.23	0	95	5	2.22	1.42	SPM
14.73	0	92	8	2.5	1.6	SPM
16.23	0	93	7	2.55	1.67	SPM
17.73	0	98	2	2	1.45	SP
19.23	0	97	3	2.22	1.61	SP
20.73	0	97	3	2.25	1.23	SP

Çizelge 4.4. SK-3 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23						CL
2.73	16	83	1	4.77	1.07	SP
4.23	0	97	3	3.5	1.06	SP
5.73	0	97	3	2.41	1.16	SP
7.23	0	97	3	3.34	0.91	SP
8.73	2	95	3	2.97	1.01	SP
10.23	6	88	6	2.84	1.02	SPM
11.73	0	94	6	2.88	1.13	SPM
13.23	0	79	21	3.02	1.37	SM
14.73	0	83	17	2.55	1.29	SM
16.23	0	81	19	2.4	0.73	SM
17.73	25	65	10	5.33	0.6	SPM
19.23	0	78	22	2.23	0.83	SM
20.73	0	88	12	2.37	0.81	SM

Çizelge 4.5. SK-4 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23	0	83	17	2.78	1.24	SM
2.73						CH
4.23	2	95	3	3.5	1.06	SP
5.73	27	70	3	2.41	1.16	SP
7.23	2	95	3	3.34	0.91	SP
8.73	0	97	3	2.97	1.01	SPM
10.23	30	64	6	2.84	1.02	SPM
11.73	5	89	6	2.88	1.13	SPM
13.23	0	79	21	3.02	1.37	SM

Çizelge 4.6. SK-5 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23	0	97	3	2.16	0.75	SP
2.73	0	97	3	2.06	0.77	SP
4.23	0	98	2	1.79	0.76	SP
5.73	0	88	12	4.22	1.11	SM
7.23	15	84	1	3.36	0.73	SP
8.73	25	74	1	3.47	0.65	SP
10.23	14	76	10	2.8	0.77	SPM
11.73	25	59	16	4.22	0.68	SM
13.23	7	78	15	2.64	0.78	SM
14.73	10	79	11	2.69	0.7	SPM
16.23	7	83	10	3.74	0.84	SPM
17.73	4	86	10	3.88	1.32	SPM
19.23	3	75	22	3.06	0.62	SM
20.73	2	86	12	2.9	1.25	SM

Çizelge 4.7. SK-6 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23						CL
2.73	0	98	2	3.21	0.98	SP
4.23	0	99	1	0.27	0.1	SP
5.73	0	96	4	2.4	1.16	SP
7.23	0	99	1	2.7	1.08	SP
8.73	0	94	6	3.06	1.35	SPM
10.23	0	96	4	3	1.27	SP
11.73	0	92	8	2.6	1.43	SPM
13.23	0	91	9	2.54	1.5	SPM
14.73	0	95	5	2.6	1.59	SP
16.23	0	95	5	2.7	1.45	SPM
17.73	0	94	6	2.83	1.4	SPM
19.23	0	94	6	2.58	1.2	SPM
20.73	0	93	7	2.93	1.2	SPM

Çizelge 4.8. SK-7 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23	2	95	3	1.59	0.77	SP
2.73	5	93	2	1.76	0.78	SP
4.23	2	92	6	2.86	1.27	SPM
5.73	1	96	3	2.41	0.76	SP
7.23	5	85	10	6.73	1.16	SWM
8.73	20	73	7	13.33	1.05	SWM
10.23	0	93	7	2.56	1.56	SPM
11.73	2	90	8	2.75	1.45	SPM
13.23	0	91	9	2.27	0.86	SPM
14.73	0	90	10	2.40	0.90	SPM
16.23	4	86	10	2.53	1.01	SPM
17.73	0	92	8	2.50	0.90	SPM
19.23	0	89	11	2.27	0.78	SPM
20.73	0	90	10	2.67	0.96	SPM

Çizelge 4.9. SK-8 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23	2	92	6	2.67	1.26	SM
2.73	8	91	1	3.11	0.89	SP
4.23	6	90	4	3.43	1.09	SP
5.73	2	96	2	2.24	1.00	SP
7.23	5	81	14	4.72	1.49	SM
8.73	5	93	2	2.30	0.77	SP
10.23	4	93	3	0.22	0.08	SP
11.73	5	92	3	3.48	1.07	SP
13.23	6	80	14	3.51	0.65	SM
14.73	13	66	21	2.71	0.63	SM
16.23	28	54	18	2.90	0.72	SM
17.73	13	73	14	2.43	0.86	SM
19.23	2	88	10	2.67	1.11	SPM
20.73	0	90	10	2.72	1.30	SPM

Çizelge 4.10. SK-9 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23						CL
2.73	12	86	2	6.8	0.6	SP
4.23	11	86	3	2.82	0.71	SP
5.73	7	90	3	2.41	0.71	SP
7.23	3	94	3	4.24	0.76	SP
8.73	0	90	10	2.72	1.21	SPM
10.23	3	92	5	2.67	1.19	SPM
11.73	0	91	9	2.27	0.95	SPM
13.23	2	88	10	2.53	0.85	SPM
14.73	4	86	10	2.47	0.79	SPM
16.23	34	48	14	9.93	0.81	SM
17.73						CL
19.23	7	61	32	20.94	0.06	SC
20.73	7	54	39	3.36	0.52	SC

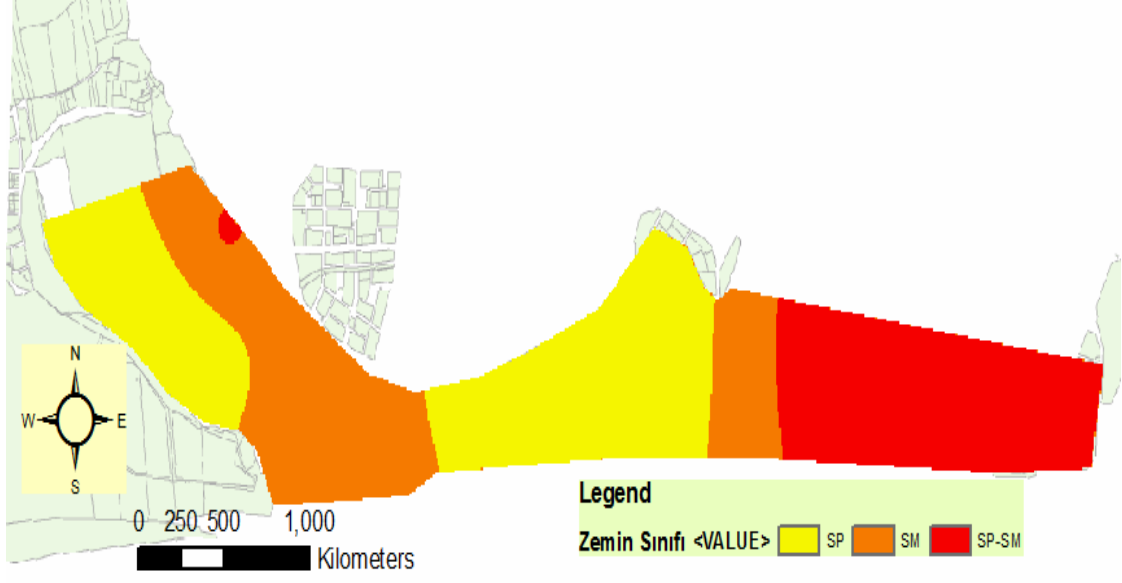
Çizelge 4.11. SK-10 kuyusuna ait zemin örneklerinin tane boyu dağılımı özellikleri

Derinlik (m)	% Çakıl	% Kum	% Silt+Kil	Cu	Cc	Zemin Cinsi
1.23						ML
2.73	0	96	4	2.44	1.06	SP
4.23	17	75	8	4.81	1.26	SPM
5.73	4	92	4	2.22	0.70	SP
7.23	2	97	1	2.59	1.09	SP
8.73	6	92	2	2.72	1.07	SP
10.23	0	88	12	2.32	0.82	SM
11.73	2	88	10	2.63	1.33	SPM
13.23	0	85	15	2.59	0.84	SM
14.73	0	95	5	2.45	1.76	SPM
16.23	8	83	9	3.71	0.69	SPM
17.73	11	82	7	3.75	1.34	SPM
19.23	0	90	10	3.16	1.00	SPM
20.73	0	92	8	3.68	1.27	SPM

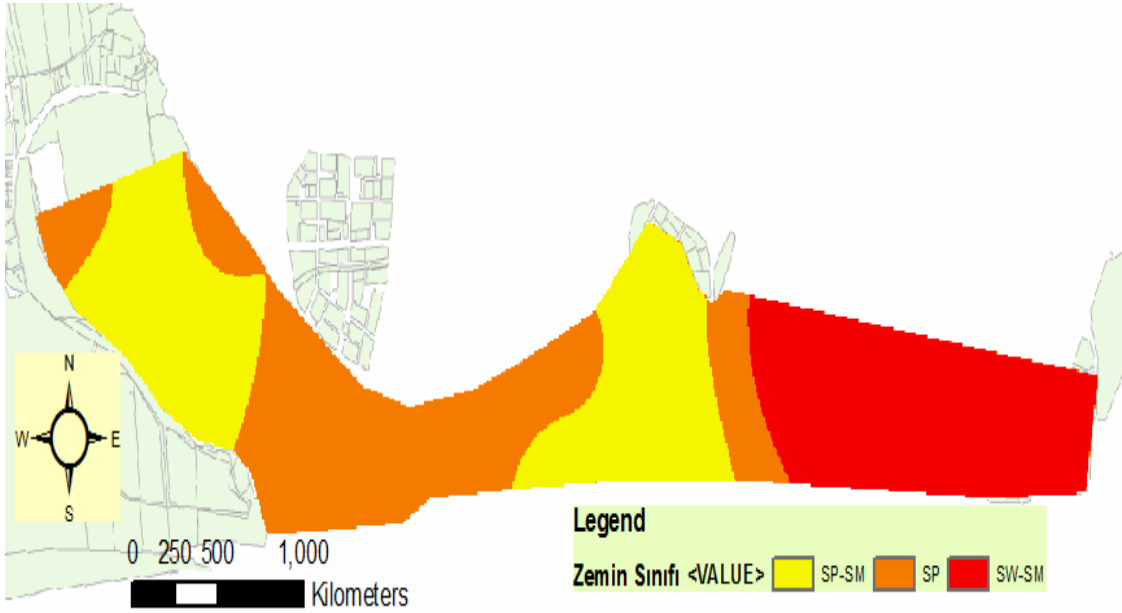
Yapılan deney sonuçlarına göre; zemin tasnifi, yaygın zemin türünün kum, çakıllı kum, siltli-killi kum ve yer yer kil tabakalarından oluştuğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de çalışma alanının 4 m ve 8.5 m'deki zemin cinsi haritaları gösterilmiştir.

Sıkışabilirlik parametreleri arazide yapılan sondaj sırasında alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yükleme boşaltma çevrimli ödometre deneyi ile belirlenmiştir. Konsolidasyon deneyi suya tam doymuş kil numuneler üzerinde uygulanmıştır. Ödometre deneyinde elde edilen sıkışma-gerilme eğrilerinin genel biçimi benzer olmakla beraber, gerek sıkışma miktarı gerekse sıkışma hızı killi zeminin cinsine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Sıkışma İndisi (C_c) değerinin 0.37-0.77 arasında değişim gösterdiği bulunmuştur.

Sondaj sırasında alınan shelby tüplerden çıkan örselenmemiş killi numuneler üzerinde; zemin kayma mukavemetini saptamak için konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç (UU) deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda bulunan kırılma zarfları incelendiğinde numunelerin kayma direnci parametreleri drenajsız kayma dayanımı $c_u = 36-91 \text{ kN/m}^2$ ve içsel sürtünme açısında $\phi_u = 6^\circ - 10^\circ$ arasında değişim göstermiştir.



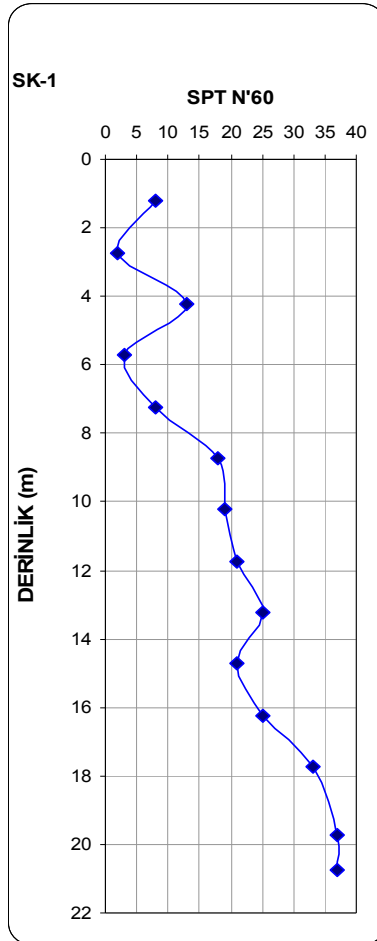
Şekil 4.2. Antalya İli Kundu bölgesi 4 m ait zemin cinsi haritası



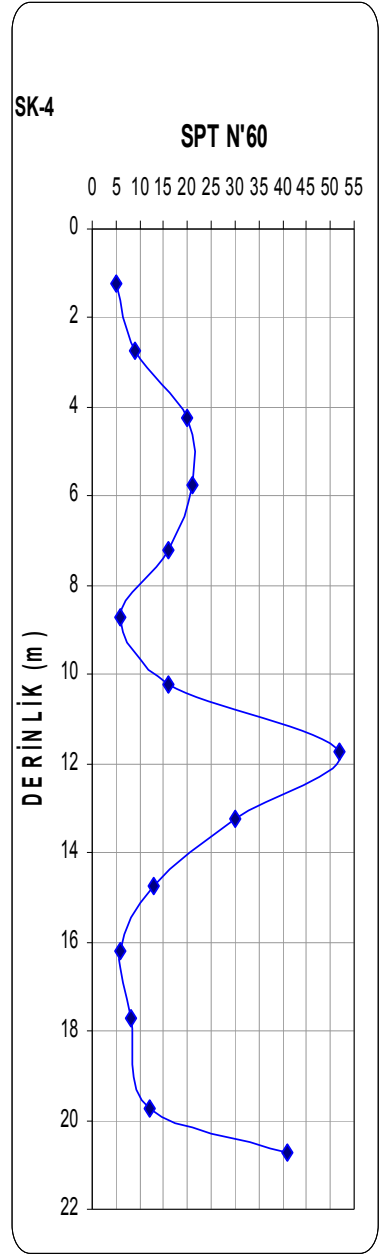
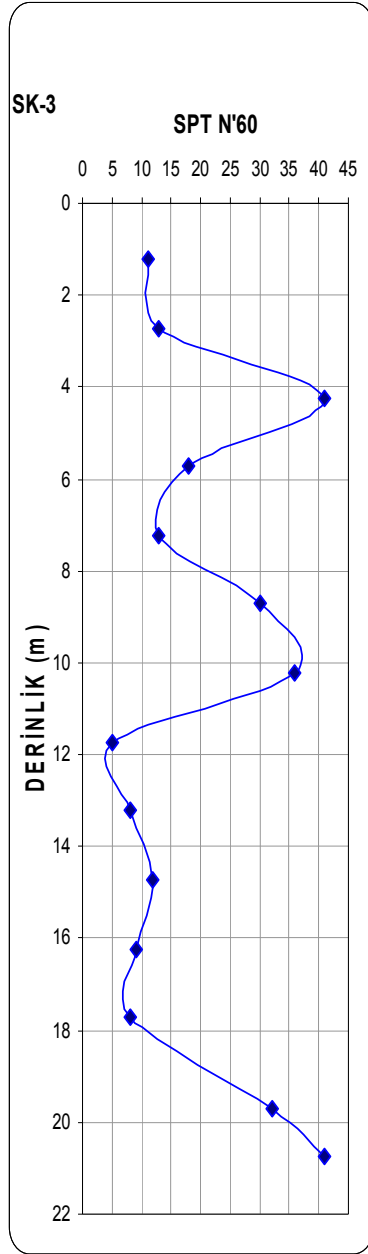
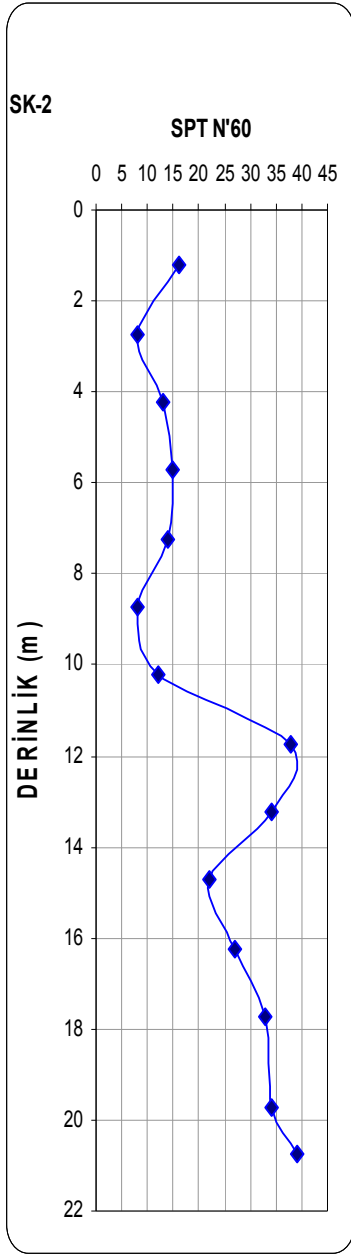
Şekil 4.3. Antalya İli Kundu bölgesi 8.5 m ait zemin cinsi haritası

4.2. Arazi Deney Sonuçları

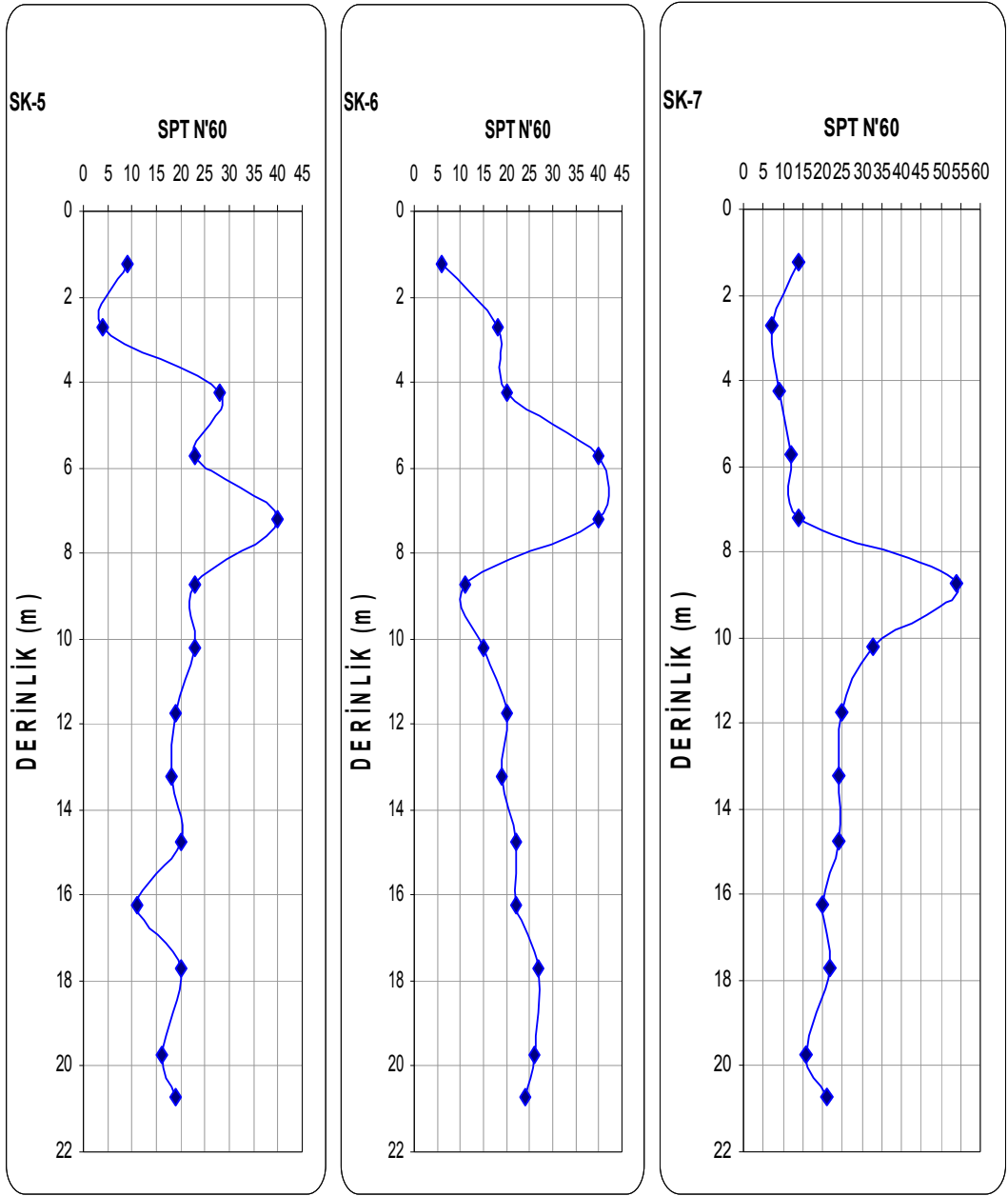
İnceleme alanının zemin özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için yapılan 10 tane sondaj kuyusunda 1.5 metre arayla SPT deneyi yapılmıştır. SPT'_{N60} değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.4'de sunulmaktadır. İnceleme alanının ilk seviyeleri 2.50 metreye kadar ortalama SPT'_N = 10 olup zemin cinsi SM-SP ve CL'dir. 9 metre derinliğe kadar granüler yapıdaki orta sıkı-sıkı gri siltli kum, çakıllı kum ve sarı kum alüvyon tabakalarından oluşmaktadır. Ortalama SPT'_N =18 olup zemin SM-SP, CH, MH ve CL'dir. Daha sonra 21. metrelere kadar yumuşak-orta katı siltli mavi gri kil ve siltli kum tabakaları bulunmaktadır; SPT'_N = 25 olup zemin SM, SC ve CL'dir. Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de SPT'_N değerlerinin 1, 4 ve 8.5 m derinlikteki değerleri gösterilmiştir.



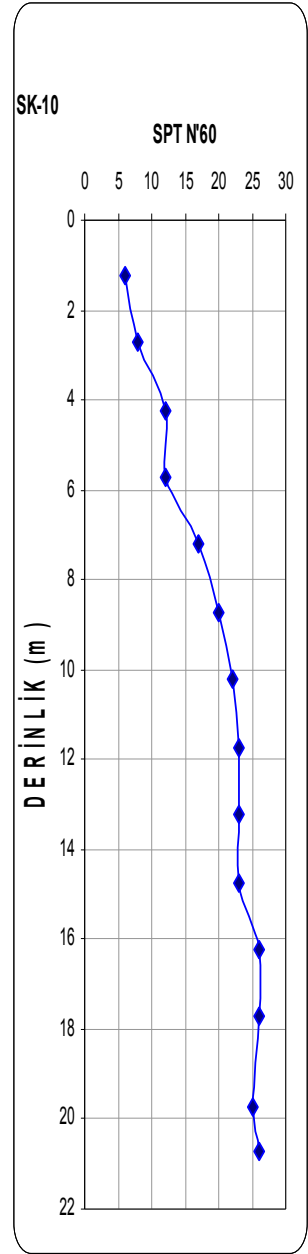
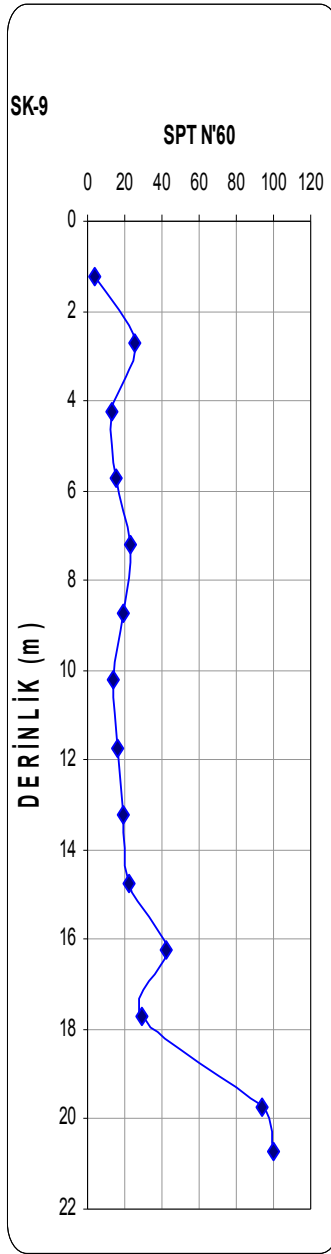
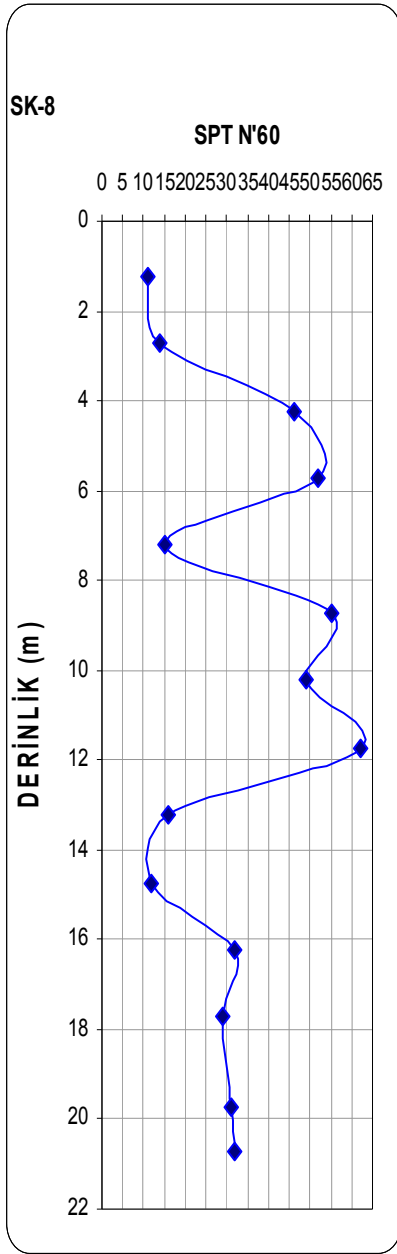
Şekil 4.4. SPT'_{N60} değerlerinin derinlikle değişimi



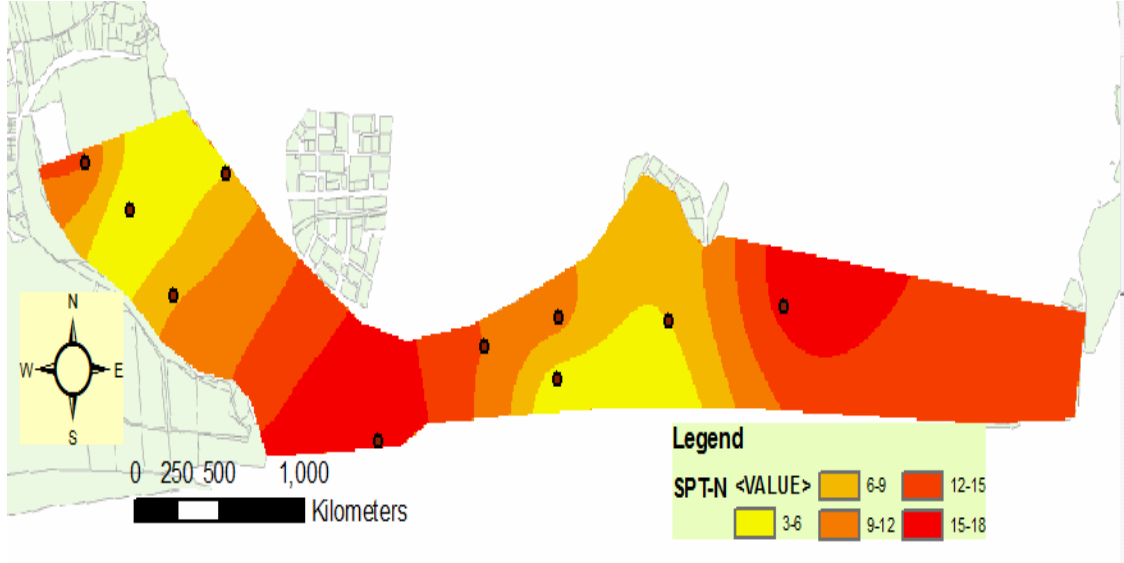
Şekil 4.4. devamı



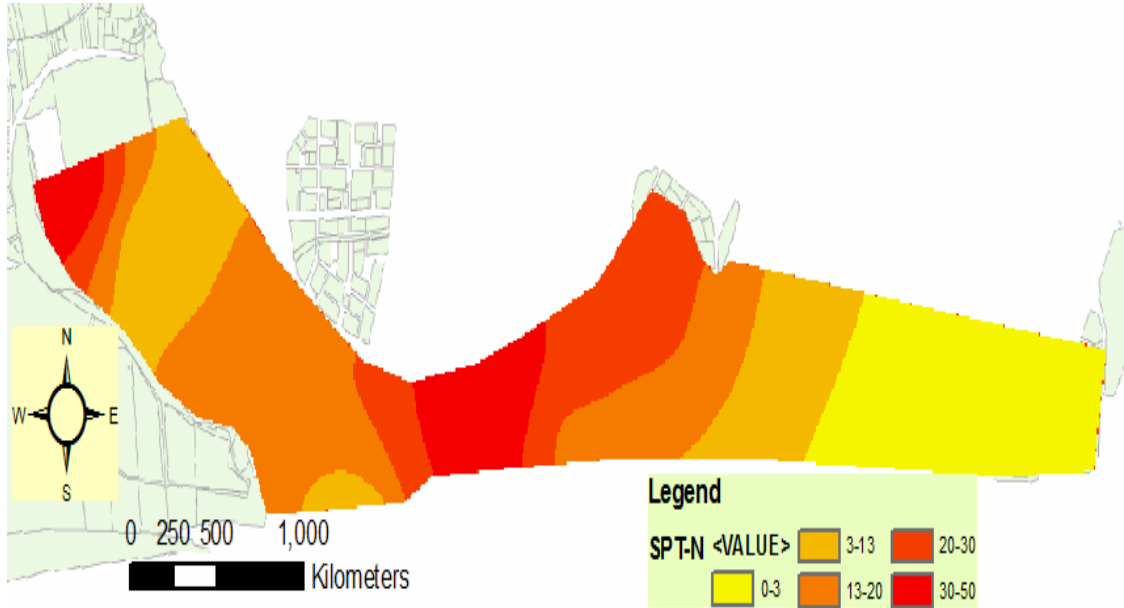
Şekil 4.4. devamı



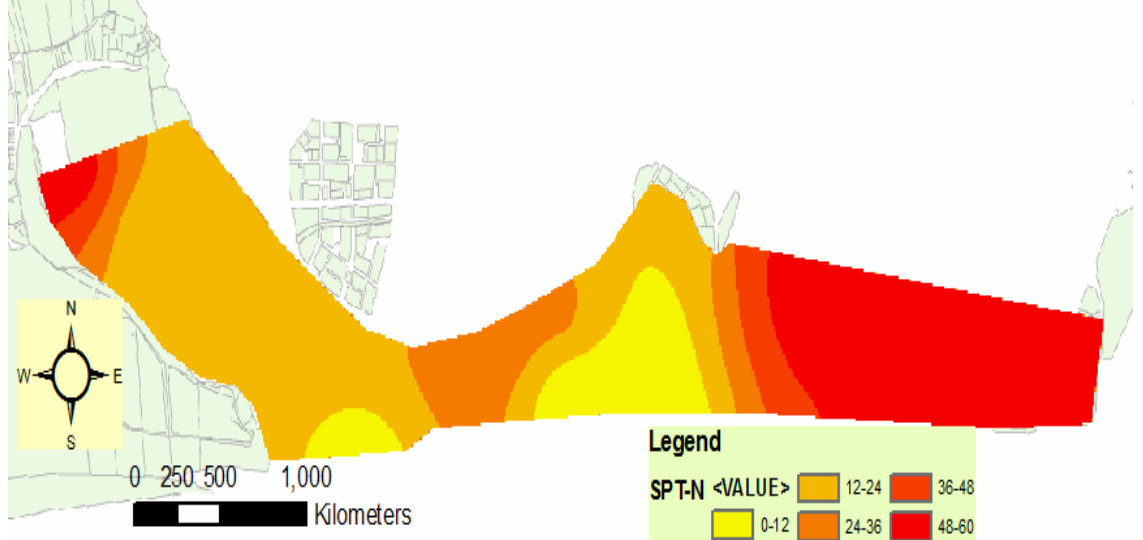
Şekil 4.4. devamı



Şekil 4.5. 1 m derinlik için SPT-N değerleri haritası

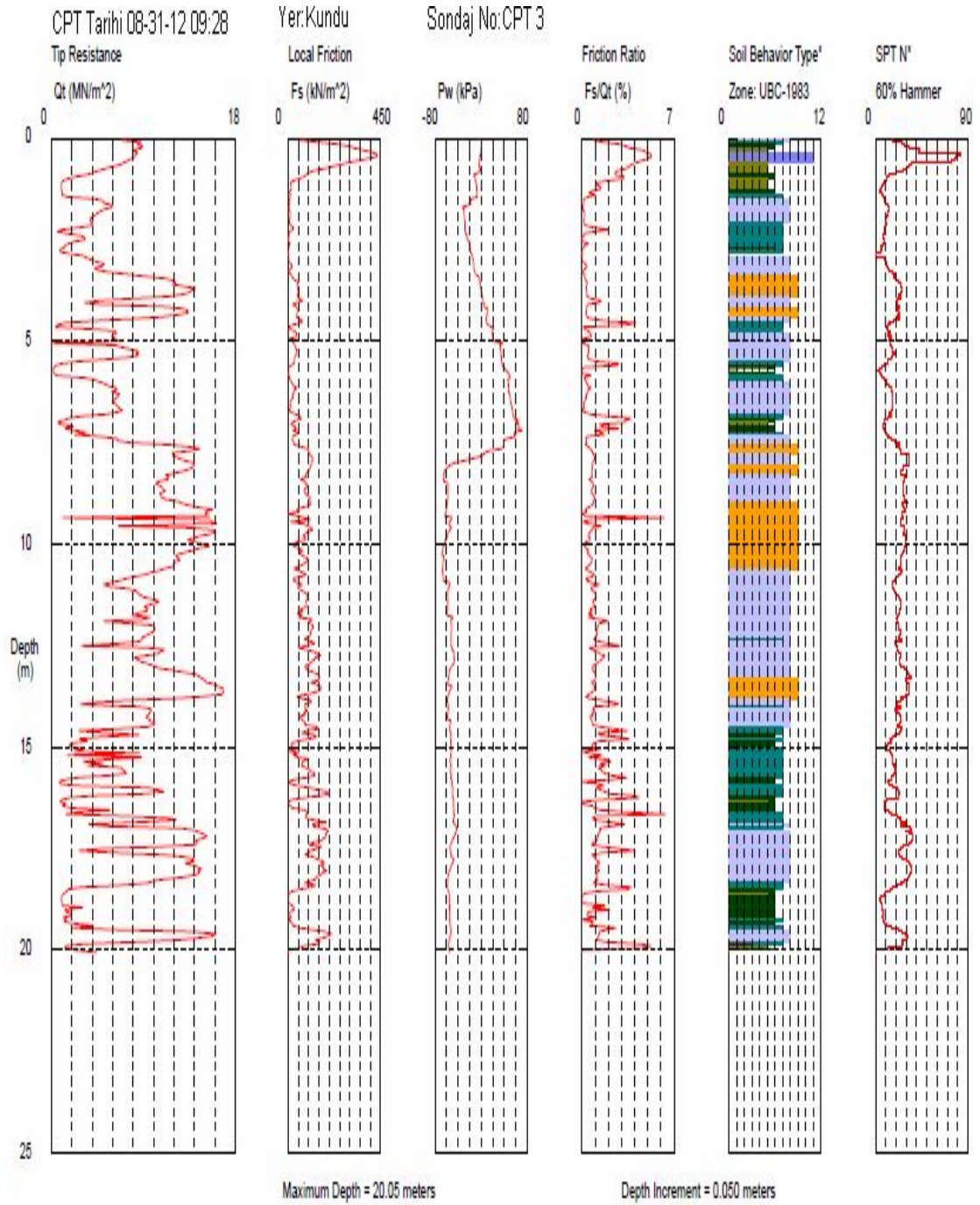


Şekil 4.6. 4 m derinlik için SPT-N değerleri haritası

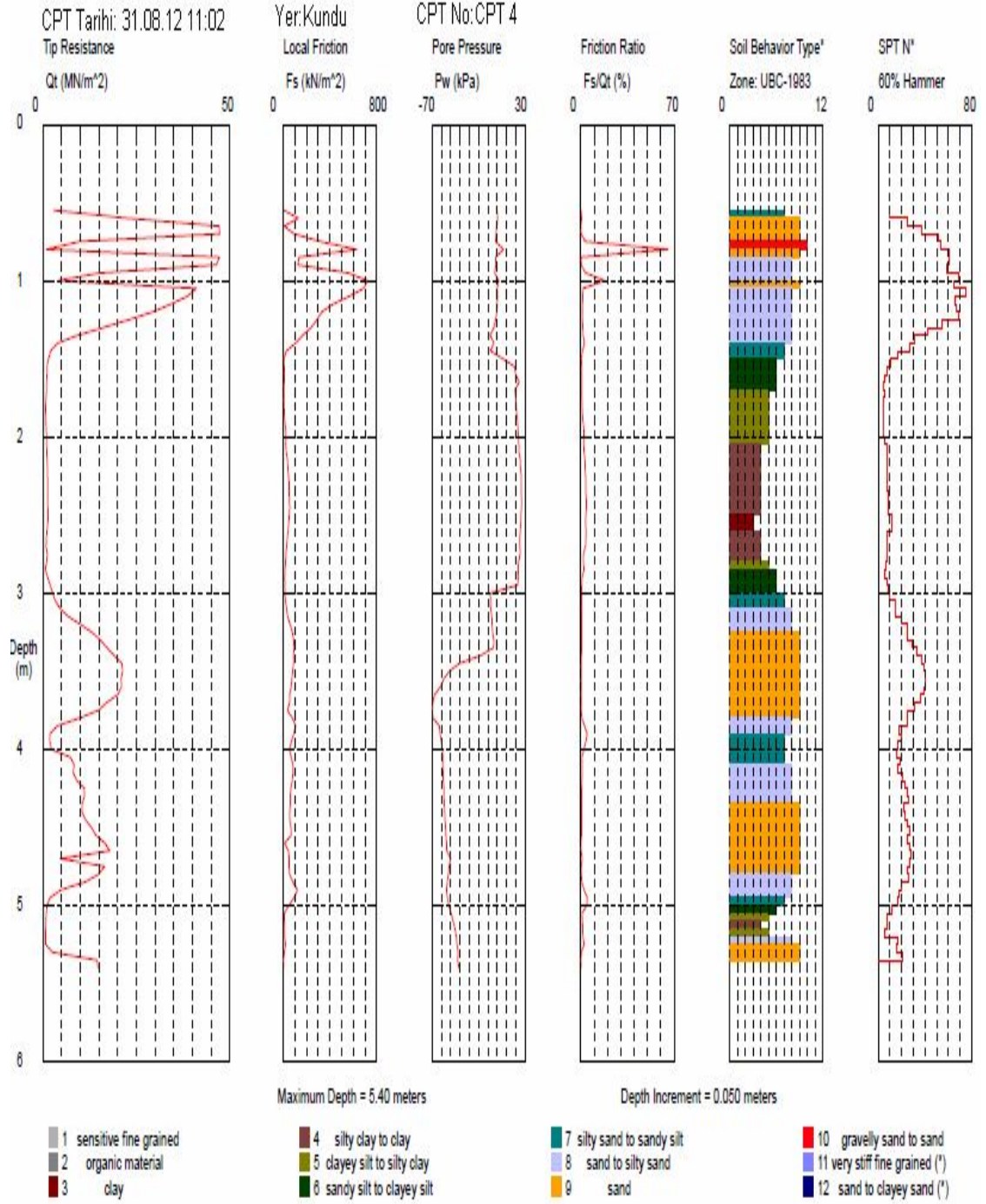


Şekil 4.7. 8.5 m derinlik için SPT-N değerleri haritası

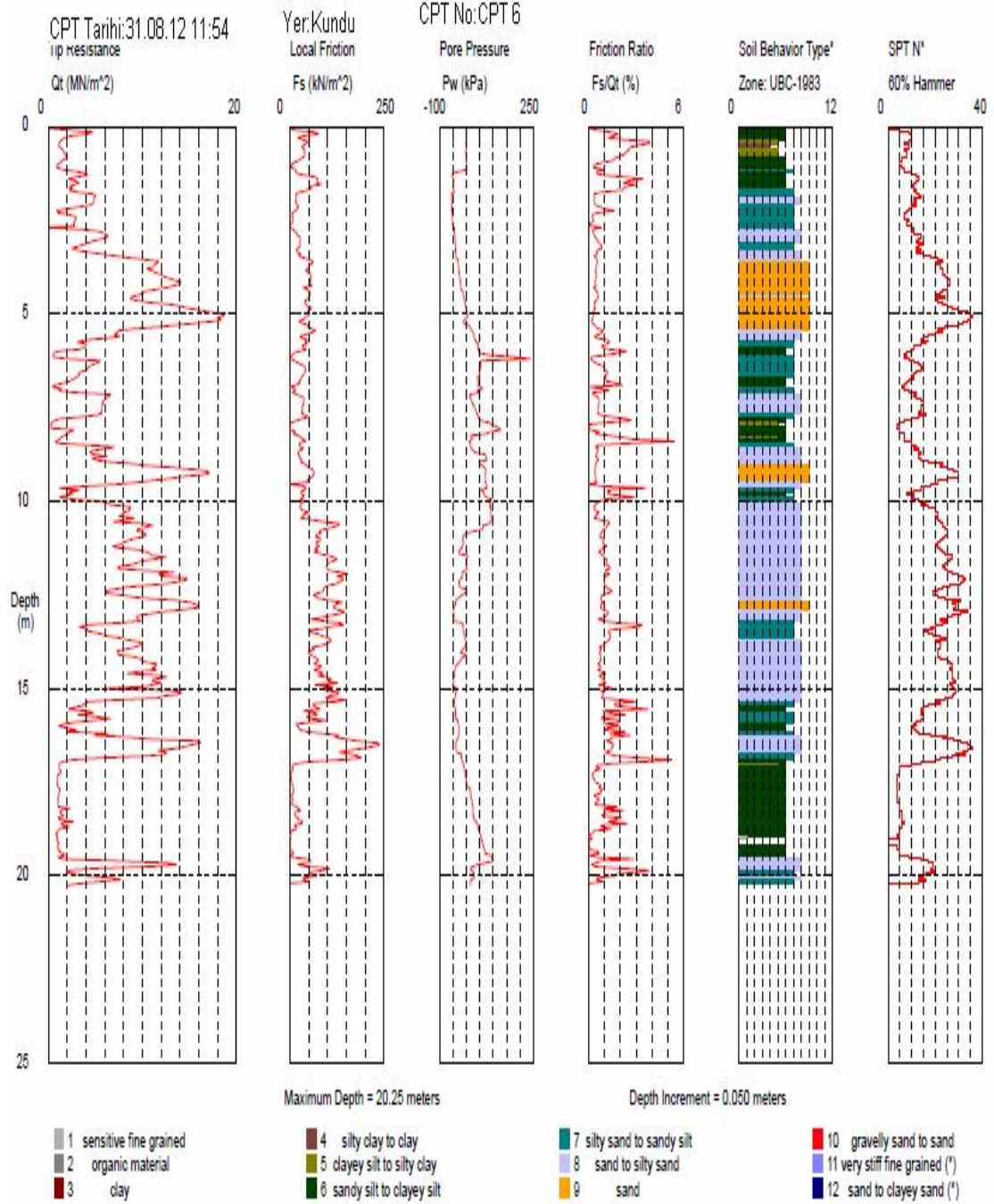
SK-3,4 ve 6 no'lu kuyularda CPT deneyi ile zeminin geoteknik parametreleri elde edilmiştir. CPT kuyu logları incelendiğinde bölgesel sedimantolojik koşullara uyumlu oldukları görülmektedir. Kilin uç direnci $Q_t=0,5-5,0$ MN/m² arasında değişirken, yanal sürtünmesi $F_s=5-370$ kN/m² arasında değerler almaktadır. Kumlarda Q_t değerleri killere göre oldukça yüksek olup 4-17 MN/m² arasındadır. Yanal sürtünme ise killere göre daha düşüktür. Şekil 4.8'de CPTU verileri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. CPTU deney sonuçları



Şekil 4.8. devamı



Şekil 4.8. devamı

4.3. İnceleme Alanının Yeraltısuyu Durumu

İnceleme alanında araştırma sondajlarının yapıldığı Temmuz 2012 tarihi itibari ile sondaj kuyularında yeraltısuyu seviyesi Çizelge 4.12'de verilmiştir. Bölgede daha önce yapılan sondajlar incelendiğinde çalışma alanındaki yeraltısuyu seviyesi 0.60 m ile 4.00 m arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Yeraltısuyu seviyeleri

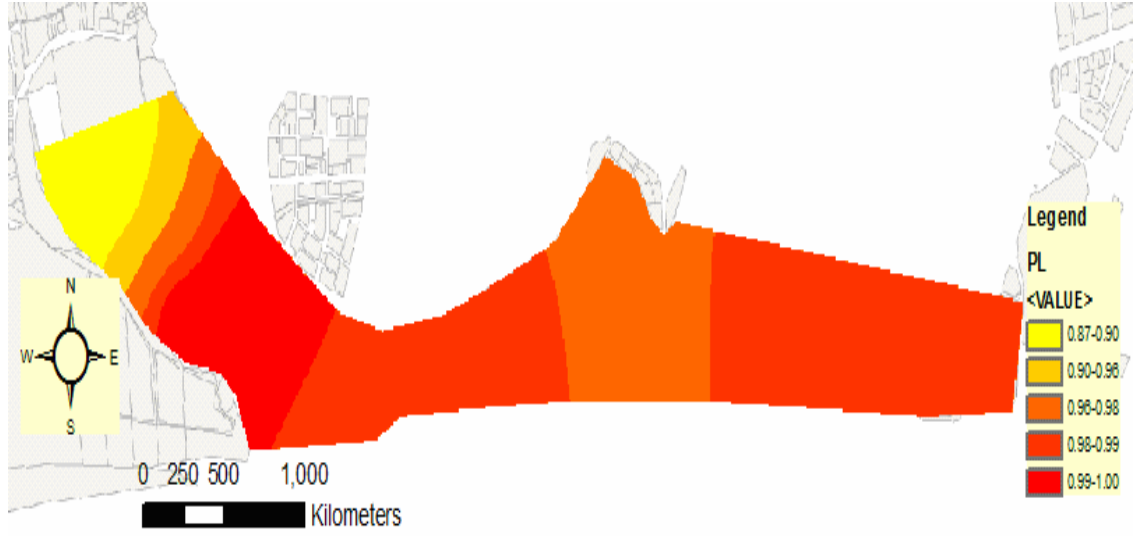
SONDAJ NO	KUYU DERİNLİĞİ (m)	Y.A.S.S (m)
SK-1	20.95	2.5
SK-2	20.95	4.0
SK-3	20.95	2.5
SK-4	20.95	4.0
SK-5	20.95	1.5
SK-6	20.95	2.0
SK-7	20.95	2.5
SK-8	20.95	2.0
SK-9	20.95	2.3
SK-10	20.95	2.0

4.4. Sıvılaşma Analiz Sonuçları

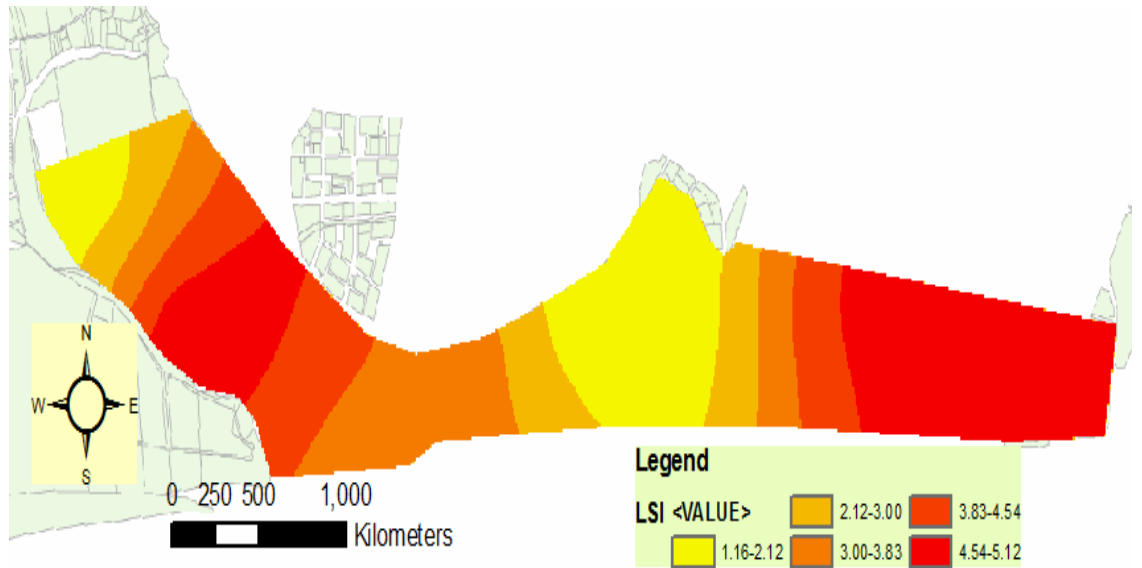
Sıvılaşma analizinde tez kapsamında yapılan 10 tane sondaj kuyusundan çıkan ve ek olarak arşiv taraması sonucu bulunan daha önce bölgede yapılmış SPT verileri dahil, toplam 487 SPT verisi üzerinde probabilistik sıvılaşma analizi yapılmıştır. Sıvılaşma hesapları SPT-N değerleri kullanarak olasılıksal (probabilistik) sıvılaşma analiz yöntemini ile yapılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli hesapları için en büyük deprem büyüklüğü Dipova ve Cangir (2011)'e göre Aksu sismotektonik bölgesi için $M_w = 6.5$ olarak alınmıştır.

Sıvılaşma analizleri için bir Microsoft Office Excel işlem sayfası hazırlanmış, bu işlem sayfasına sondaj kuyularına ait arazi ve laboratuvar deney verileri girilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Homojen bir yapıya sahip olmayan çalışma alanındaki kumlar içerisinde USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)'ye göre SC, SM, SP türü zeminler hakimdir. Siltli kumlar (SM) hem sıvılaşabilir olmaları hem de boşluk suyu basıncının hızlı drenajını engelleyebilecek kadar düşük geçirimsizlikleri nedeniyle en tehlikeli zeminler olarak değerlendirilmektedir. Zeminin derecelenmesi ve zemini oluşturan tanelerin şekli de sıvılaşma duyarlılığında etkili faktörlerdir. Kötü derecelenmiş kum zeminler (SP-SM-SC) sıvılaşma duyarlılığına sahiptirler. Yeraltısu seviyesi Kundu yerleşim alanının genelinde yüzeye yakın olduğundan, SP, SC ve SM cinsi kumların bulunduğu bölgeler, sıvılaşma potansiyeli açısından riskli bölgeleri oluşturmaktadır.

SPT sonuçlarına göre yapılan olasılıksal sıvılaşma analizi sonuçlarına göre sondaj kuyularının tümünde PL (Sıvılaşma olasılığı) değeri 0.88-1.00 ve LSI (Sıvılaşma Şiddeti İndeksi) değeri 1.67-4.68 arasında bulunmuştur ve sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Antalya İli Kundu İlçesi'nde gerçekleştirilecek yapılaşmalarda yapılaşma öncesi gerekli temel mühendisliği çözümlerinin ve zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Olasılıksal sıvılaşma analizi sonucu bulunan PL ve LSI indeksinin dağılımı Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

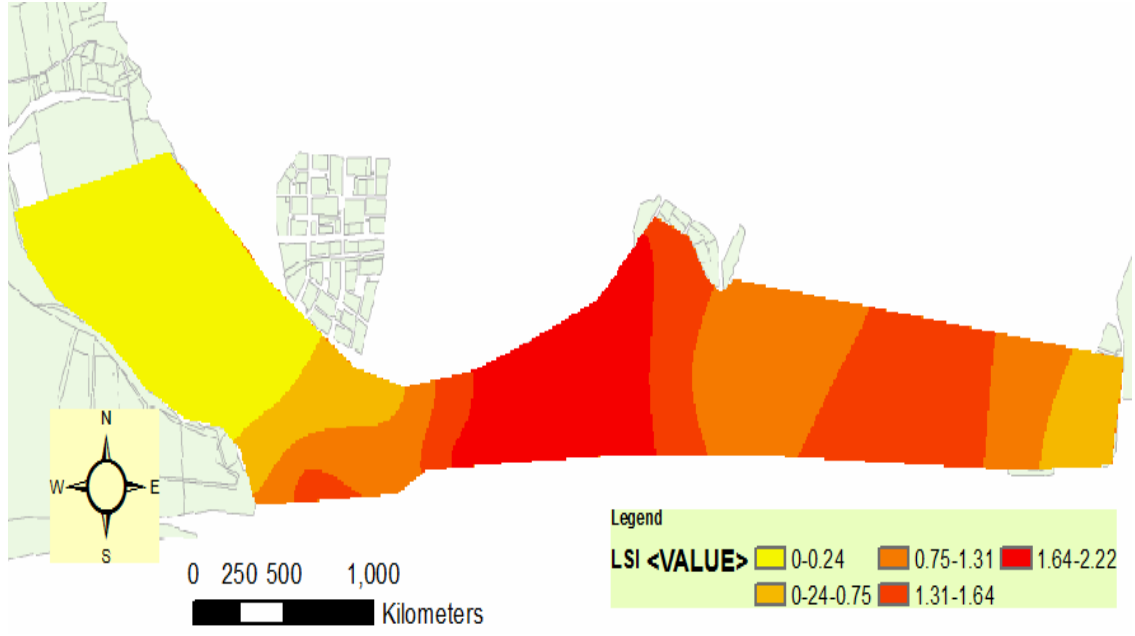


Şekil 4.9. Antalya İli Kültür bölgesine ait sivilaşma olasılığı (PL) haritası



7254-219/1/CS077.11171

Şekil 4.10. Antalya Kültür bölgesine ait proje sondajlarının sivilaşma şiddeti indeksi (LSI) haritası



Şekil 4.11. Antalya Kundu bölgesine ait arşiv sondajları sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) haritası

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Antalya İli Kundu bölgesinde gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında, arşivden derlenen zemin etüd verileri incelenerek veri yetersizliği görülen bölgelerde 10 adet sondaj yapılmış, bu sondajlarda her 1.5 metrede SPT deneyleri uygulanmıştır. SPT deneylerinden elde edilen örselenmiş örnekler ve kohezyonlu zemin katmanlarından alınan örselenmemiş örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak, bölgedeki zeminlerin indeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Mekanik sondajlara ek olarak CPT deneyleri yapılmıştır. SPT-N değerleri kullanarak olasılıksal (probabilistik) sıvılaşma analizi yapılmıştır. Çalışmada kapsamında elde edilen geoteknik verilerin depolanması amacıyla veri tabanı oluşturmak için entegre bir CBS yöntemi olan ArcGIS 9.3 programından yararlanılmıştır. Sondaj noktaları, belli derinlikteki SPT-N dağılım, zemin cinsi, sıvılaşma şiddet indeksi ve sıvılaşma olasılığına ait tematik haritalar oluşturulmuştur.

Etüd alanının ilk seviyeleri 2.50 metreye kadar ortalama SPT $N_{60}=10$ olup zemin cinsi SM-SP ve CL'dir. 9 metre derinliğe kadar granüler yapıdaki orta sıkı-sıkı gri siltli kum, çakıllı kum ve sarı kum alüvyon tabakalarından oluşmaktadır. Ortalama SPT $N_{60}=18$ olup zemin SM-SP, CH, MH ve CL'dir. Daha sonra 21. metrelere kadar yumuşak-orta katı siltli mavi gri kil ve siltli kum tabakaları bulunmaktadır; SPT $N_{60}=25$ olup zemin SM, SC ve CL'dir. Bölgede hakim zemin olan kumlarda, gerekli görüldüğü durumlarda zemin sıkılığını arttırmak amacıyla zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır.

Sıkışabilirlik parametreleri, araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde ve geleneksel konsolidasyon deneyi ile belirlenmiştir. Sıkışma İndisi (C_c) değerinin 0.37-0.77 arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. Zemin mukavemet değerleri laboratuvarında yapılan konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç (UU) deneyi ile belirlenmiştir. drenajsız kayma dayanımı, $c_u = 36-91$ kN/m² değişim gösterirken, içsel sürtünme açısı $\phi_u = 6^\circ-10^\circ$ arasında değişim göstermiştir

İnceleme alanında yeraltı su seviyesi 0.60 m ile 4.0 m arasında değişmektedir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olmasından dolayı yapılar olumsuz etkilenecektir. Yapı temellerinde her mevsim kapiler su etkisi olacaktır. Temel çevresine mutlaka teknik şartnamesine uygun drenaj hattı ve neme karşı temelde tecrit işlemleri yapılmalıdır.

Arazi ve laboratuvar deney sonuçları incelediğinde arazide egemen zemin türünün kum ve siltli kum olduğu, yer yer de kil tabakalarının bulunduğu tespit edilmiştir. Yeraltısuyu seviyesi çalışma alanının genelinde yüzeye yakın olduğundan, SW, SC ve SM cinsi kumların bulunduğu bölgeler, sıvılaşma potansiyeli açısından riskli bölgeleri oluşturmaktadır. SPT sonuçlarına göre deprem büyüklüğü $M_w=6.5$ için sondaj kuyularının tümünde LSI (Sıvılaşma Şiddeti İndeksi) değerinin 1.67–4.68 arasında olduğu ve sıvılaşma potansiyelinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Proje SPT değerleri ile yapılan analizlerle, arşiv SPT değerlerine göre yapılan analiz sonuçlarının uyumlu olmadığı gözlenmiştir. Bölgede gerçekleştirilecek yapılaşmalarda yapılaşma öncesi gerekli temel mühendisliği çözümlerinin ve zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

İnceleme alanı Kopak Çayı taşkın sahası içerisinde olup ve buna bağlı bölgedeki akarsuların yağışlı sezonlarda taşmasından dolayı bölgenin tamamen su altında kaldığı ve yer yer göllenmelerin olduğu bilinmektedir. Bu yüzden, yapım aşamasında arazi topoğrafyasının yükseltilmesi gerekmektedir. Yapılacak bu dolgunun yüksekliği ortalama 2.5 ile 3.5 m. mertebelerinde olmalıdır. DSİ görüşü doğrultusunda su basman kotlarının belirlenmesi gerekmektedir. Gerekirse taşkınları önlemek için inceleme alanı zemin kotundan daha yüksek kotta perde istinat duvarı yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AKAY, E., UYSAL S., POISSON, A., CRAVATTE, J. and MULLER, C. 1985. Antalya neojen havzasının stratigrafisi. TJK Bülteni, 28: 105-119.
- ANDREWS, D.C.A. and MARTIN, G.R. 2000. Criteria for liquefaction of silty soils. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings, Auckland, New Zealand.
- ATTERBER, G.A. 1911. Über die Physikalische Bodenuntersuchung, and über die Plastizität der Tone, Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, Vol. 1, pp. 10-43, Berlin.
- AYDAY, C.H. 1992. Coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) yerbilimlerinde kullanılması ve uygulanabilirliği. Bilgisayar Dergisi 9. Türkiye bilgisayar kongresi ve uygulama gösterileri, İstanbul.
- BRAY, J., SANCIO, R.B., DURGUNOĞLU, T., ÖNALP, A., YOUND, T.L., STEWART, J.P., SEED, R.B., ÇETİN, K.Ö., BOL, E., BATURAY, M.B., CHRISTENSEN, C. and KARADAYILAR, T. 2004. Subsurface Characterization at Ground Failure Sites in Adapazarı, Turkey. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130 (7): 673-685.
- BUDHU, M. 2000. Soil Mechanics and Foundations, John Wiley and Sons, Inc., Arizona, 780 pp.
- CODUTO, D.P. 2001. Foundation Design Principles and Practices Prentice Hall. California State Polytechnic University, Pomona, 883 pp.
- ÇETİN, K.Ö. 2000. Reliability-Based Assessment of Seismic Soil Liquefaction Initiation Hazard. Ph. D. Dissertation, University of California, Berkeley.
- ÇETİN, K.Ö., SEED, R.B., DER KIUREGHIAN, A., TOKIMATSU, K., HARDER JR., L.F., KAYEN, R.E. and MOSS, R.E.S. 2004. SPT-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130 (12): 1314-1340.
- ÇETİN, K.Ö. ve UNUTMAZ, B. 2004. Zemin Sıvılaşması ve Sismik Zemin Davranışı, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH) Dergisi, 430 (2): 32-37.
- ÇETİN, K.Ö. ve YUNATÇI, A.A. 2007. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleriyle Tümüleştirilmiş, Sahaya Özel Sismik Tepki ve Zemin Sıvılaşması Değerlendirmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

- DİPOVA, N. ve OĞUZ, C. 1998. Lara (Antalya) kumulları ve kıyı alanı. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları II. Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı, ODTÜ, Ankara.
- DİPOVA, N. 2002. Antalya Kıyı Düzlüklerinin Oluşumu ve Geoteknik Özellikleri. 4. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya.
- DİPOVA, N. ve CANGİR, B. 2005. Antalya Zeminlerinde CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) Uygulamaları. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya.
- DİPOVA, N. ve CANGİR, B. 2011. Antalya İli Yerleşim Alanının Depremselliğinin Araştırılması. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35 (2): 93-114.
- DURDU, Ö.F. 2003. İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Bilgi Teknolojisinin Önemi. Akademik Bilişim 2003, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- ERGUN, U., ÖZKAN, Y., ÖNALP, A. ve KEÇEL, A. 2005. Zemin–Temel Etüdüleri ve Zemin İyileştirmeler Hakkında Yönetmelik Taslağı Ön Raporu. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute).1990. PC Understanding GIS. Environmental System Research Institute, Inc., USA, 525 pp.
- FERRITTO, J.M. 1997. Seismic design criteria for soil liquefaction. Technical Report TR-2077-SHR. Naval Facilities Engineering Service Center, pp. 58, California.
- GÜMRÜKÇÜOĞLU, M. 2003. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ders notları. Sakarya Üniv. Matbaası, Sakarya
- HAŞİMOĞLU, A. ve ÜNAL, M. 2004. Zemin Etüd Bilgi Sisteminin Oluşturulmasının Önemi Yoncalı (Kütahya) Örneği. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Kütahya.
- HOLTZ, R.D and KOVACS, W.D. 1981. Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall, USA, 747 pp.
- IWASAKI, T., TOKIDA, K., TATSUOKA, T., WATANABE, S., YASUDA, S. and SATO, H. 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. In: Proceeding of Third International Conference on Microzonation, pp. 1319-1330, Seattle.
- KOL, Ç. ve KÜPÇÜ, S. 2008. ESRI ArcGIS Spatial Analiz. İşlem Şirketler Grubu Eğitim Dökümanları, Ankara, 268 ss.

- KRAMER, S.L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, pp. 254-300, New Jersey.
- NATIONAL CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH. 1997. Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. New York, 276 pp.
- OBERMEIER, S.F. 1996. Use of Liquefaction-Induced Features for Paleoseismic Analysis. Engineering Geology, Elsevier, pp. 1-76, USA.
- PORT HARBOUR RESEARCH INSTITUTE. 1997. Handbook of Liquefaction Remediation of Reclaimed Land. A.A. Balkema, Rotterdam, 312 pp.
- POULOS, S.J., CASTRO, G. and FRANCE, J.W. 1985. Liquefaction evaluation procedure. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111 (6): 772-792.
- ROBERTSON, P.K., CAMPANELLA, R.G. and WIGHTMAN, A. 1983. SPT-CPT Correlations. Journal of Geotechnical Engineering, 109 (7): 1449-1459.
- SERT, S., ÖZOCAK, A. ve URAL, N. 2006. Adapazarı'nda Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Geoteknik Amaçlı Kullanımı. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- SEED, H.B. 1976. Some aspects of sand liquefaction under cyclic loading. Conference on Behavior of Off-Shore Structures. The Norwegian Institute of Technology, Norway.
- SEED, H.B. and IDRIS, I.M. 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. EERI Monograph, 109 (3): 458-482.
- SEED, H.B., TOKIMATSU, K., HARDER, L.F. and CHUNG, R.M. 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No.12, Elsevier, pp. 1425-1445, Berkeley, California.
- SEED, H.B. and DE ALBA, P. 1986. Use of SPT and CPT Test for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils. Proc. of the ASCE Specialty Conf. In-Situ'86: Use of In-Situ Tests in Geotechnical Engineering, pp. 281-302, Blacksburg.
- SEED, R.B. and HARDER, L.F. 1990. SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength, in J.M. Duncan. Proceeding, H. Bolton Seed Memorial Symposium, University of California, Berkeley, Vol. 2, pp. 351-376, California.

- SEED, R.B., ÇETİN, K.Ö., MOSS, R.E.S., KAMMERER, A.M., WU J., PESTANA, J.M. and RIEMER, M.F. 2001. Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation. Proc. 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, pp. 28-31, USA.
- SEED R.B., ÇETİN K.Ö., MOSS R.E.S., KAMMERER A.M., WU J., PESTANA J.M., RIEMER M.F., SANCIO R.B., BRAY J.D., KAYEN R.E. and FARIS A. 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, California.
- SKEMPTON, A.W. 1986. Standart penetration test procedures and effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size aging and over consolidation. *Geotechnique*, 36 (3): 425-447.
- SMITH, S.L., BURGESS, M.M., CHARTRAND, J. and LAWRENCE, D.E. 2002. Digital Borehole Geotechnical Database for the Mackenzie Valley/Delta Region. Geological Survey of Canada, 25 pp.
- STROUD, M.A. 1974. The Standard Penetration Test in Isensitive Clays and Soft Rock. Proceedings Of The 1st European Symposium On Penetration Testing, pp. 367-375, Sweden.
- TOKIMATSU, K. and YOSHIMI, Y. 1983. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content. *Soils and Foundations*, JSSMFE, 23(4): 56-74.
- TS 1900, 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- WANG, W. 1979. Some findings in soil liquefaction, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China.
- WANG, J.G.Z.O. and LAW, K.T. 1994. Siting in Earthquake Zones, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 89 pp.
- WEB1. 2012. <https://maps.google.com/>
- WEB2. 2003. <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/why/why2.html>
- WIKLE, T.A. 1991. Computers, maps and geographic Information Systems National Forum, Summer 91, 71 (3): 37-39.

- YILMAZ, Z. ve ÇETİN, K.Ö. 2003. GIS-based seismic soil liquefaction assessment for Sakarya city after 1999 Kocaeli-Turkey earthquake. Proceeding of the 11th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering (11th ICSDEE), University of California Berkeley, pp. 909-917, California.
- YILMAZ, Z. ve ÇETİN, K.Ö. 2004. GIS-Based Seismic Soil Liquefaction Assessment For Sakarya City After 1999 Kocaeli-Turkey Earthquake. The 11th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and The 3rd Int. Conf. On Earthquake Geotechnical Engineering, 7th-9th January 2004, University of California, pp. 909-916, Berkeley, USA.
- YOUD, T.L. 1984. Geological effects-liquefaction and associated ground failure. Geological and Hydrogeological Hazards Training Program, United States Geological Survey Open-File Report, pp. 210-232, USA.
- YOUD, T.L. 1992. Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake. Proceedings of the NSF/UCR US. Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991, Effects on Soils and Structures, pp. 73-75, Oakland, California.
- YOUD, T.L., IDRIS, I.M., ANDRUS, R.D., ARANGO, I., CASTRO, G., CHRISTIAN, J.T., DOBRY, R., FINN, W.D.L., HARDER, L.F., HYNES, M.E., ISHIHARA, K., KOESTER, J.P., LIAO, S.S.C., MARCUSSON, W. F., MARTIN, G.R., MITCHELL, J.K., MORIWAKI, Y., POWER, M.S., ROBERTSON, P.K., SEED, R.B. and STOKOE, K.H. 2001. Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of Liquefaction resistance of soils. J. of Geotech. and Geoenvr. Engrg., ASCE, 127 (4): 817-833.

ÖZGEÇMİŞ

Servet Pelin Özsoy, 1985 yılında Isparta'da doğmuştur. İlköğretimini Antalya Koleji'nde tamamlamış, 2000 yılında Adem Tolunay Anadolu Lisesi'ne başlamıştır. 2003 yılında girdiği Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansına başlamıştır. Halen ÖZKUM İnşaat Taah. Tic.'de çalışma hayatını devam ettirmektedir.