

**DAVULTEPE VE TECE (MEZİTLİ-MERSİN) YERLEŞİM
ALANLARININ SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR ÖZHAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
OCAK- 2021**

**DAVULTEPE VE TECE (MEZİTLİ-MERSİN) YERLEŞİM
ALANLARININ SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR ÖZHAN
ORCID ID: 0000-0001-9074-0106

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS
ORCID ID: 0000-0002-2086-7379

MERSİN
OCAK-2021

ÖZET

DAVULTEPE VE TECE (MEZİTLİ-MERSİN) YERLEŞİM ALANLARININ SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Depremelerde, yapıların ağır hasar görmelerinin en önemli nedenlerinden biri yapının oturduğu zeminin dayanımını kaybetmesi yani, zemin sıvılaşmasıdır. Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi altında yer alan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu zeminlerin deprem sarsıntı sırasında boşluk suyu basıncının artması ve zeminin sıvı gibi davranması olarak tanımlanmaktadır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda, potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su seviyesi altında kalan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada Davultepe yerleşim alanının sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgesinde 33 adet sondajdan elde edilen SPT sonuçları ve araziden alınan örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmış ve sıvılaşma analizleri için girdi parametreleri oluşturulmuştur. Ayrıca, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD)'nın Türkiye Deprem Haritaları dikkate alınarak en büyük deprem ivmesi (a_{max}) hesaplanmış ve 0,132 olarak belirlenmiştir.

Sıvılaşma analizleri, Prosıvı sıvılaşma programında Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre 5 metre sabit derinlikte ve 3 farklı deprem senaryosu ($M_w=6,0-6,5-7,0$) oluşturularak bölgenin sıvılaşma potansiyeli hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinin sıvılaşma potansiyeli haritaları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla, Ters Mesafe Ağırlık Enterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır.

Çalışma bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda genellikle kıyı kesimlerde daha çok alüvyonal birimlerin, kuzey kesimlerinde ise sert kalış birimlerin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sıvılaşma potansiyeli haritalarına ek olarak, bölgenin yeraltı su seviyesi haritaları da oluşturulmuş ve kıyı kesimlerde 2 ile 5 metre arasında değiştiği belirlenmiştir. Sıvılaşma potansiyeli analiz çalışmalarına göre, çalışma bölgesinin kıyı kesimlerinin sıvılaşma riski taşıdığı belirlenmiştir. Ancak, çalışma bölgesi için bir genelleme yapılabilmesi daha fazla sondaj çalışmaları yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alüvyon, CBS, Deprem, IDW, Mersin, Sıvılaşma.

Danışman: Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS, Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE LIQUIDATION POTENTIAL OF DAVULTEPE AND TECE (MEZİTLİ-MERSİN) SETTLEMENTS USING THE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

During earthquakes, one of the most important reasons for buildings to be heavily damaged is due to the loss of strength of the ground on which the building sits, that is the ground liquefaction. Soil liquefaction is defined as the increase in the pore water pressure of the cohesionless or low cohesion soils under the groundwater level during earthquake shaking and the soil behaving like a liquid. As a result of field and laboratory studies, potentially liquefiable soils are defined as sand below groundwater level, gravelly sand, silty clayey sand, non-plastic silt and silt-sand mixtures.

Aim of this study determine the liquefaction potential of Davultepe settlement area. In the study area, laboratory experiments were carried out on SPT results obtained from 33 boreholes and samples taken from the field, with input parameters established for liquefaction analysis. Also, the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) conducts earthquake assessment using Turkey's largest earthquake acceleration maps (AMAX) and is calculated and determined to be 0,132.

Liquefaction analysis, liquefaction potential of the region was calculated by creating 5 meters constant depth and 3 different earthquake scenarios ($M_w = 6,0-6,5-7,0$) according to the Seed and Idriss (1971) method in the liquid liquefaction program. Liquefaction potential maps of the study area were prepared using the Inverse Distance Weight Interpolation (IDW) method with the help of Geographic Information Systems (GIS).

According to the information obtained from the drillings made in the study area, it was determined that there are mostly alluvial units in the coastal areas and hard caliche units in the northern parts. In addition to the liquefaction potential maps, groundwater level maps of the region were created and it was determined that it varied between 2 and 5 meters in the coastal areas. According to the liquefaction potential analysis studies, it was determined that the coastal areas of the study area have liquefaction risk. However, more drilling is required to make a generalization for the study area.

KeyWords: Alluvium, GIS, Earthquake, IDW, Mezitli, Liquefaction.

Advisor: Professor Kivanç ZORLU ARAS, Mersin University, Department of Geological Engineering, Mersin.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından “2020-1-TP2-3845” proje numarası ile desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkür ederim.

Bu araştırmanın planlanması, gerçekleştirilmesi, yürütülmesi ve değerlendirilmesi sırasında her zaman ilgi ve desteklerini gördüğüm değerli danışman hocam Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın geliştirilmesine katkıda bulunan Jeoloji Mühendisi Dengir ŞAHİN'e ve MerTest Mühendislik firmasına; ayrıca, çalışmalarımnda benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Özcan BEYTEKİN'e teşekkür ederim.

Son olarak, eğitimim boyunca fedakârlık yaparak rahat bir şekilde ders çalışmam için her türlü imkânı sağlayan aileme en içten sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLOLAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
EKLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Tanıtımı	4
1.2. Çalışma Bölgesinin Özellikleri	4
1.2.1. Coğrafi Konum	4
1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü	5
1.2.3. Depremsellik	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	8
2.1. Önceki Çalışmalar	8
2.2. Bölgenin Jeolojisi	14
2.2.1. Karahamzaşağı Formasyonu	17
2.2.2. Mersin Ofiyolitik Melanjı	17
2.2.3. Gildirli Formasyonu	17
2.2.4. Karaisalı Formasyonu	17
2.2.5. Güvenç Formasyonu	18
2.2.6. Kuzgun Formasyonu	18
2.2.7. Handere Formasyonu	18
2.2.8. Kuvaterner Birimleri	18
2.3. Zeminlerde Sıvılaşma	19
2.3.1. Sıvılaşma Nedir?	19
2.3.2. Sıvılaşma Ölçütleri	19
2.3.3. Sıvılaşmadan Kaynaklı Yapı Hasarları	22
2.3.4. Sıvılaşmayı Etkileyen Faktörler	26
2.4. Arazi ve Laboratuvar Deneyleri	27
2.4.1. Arazi Deneyleri	27
2.4.1.1. Standart Penetrasyon Deneyi	28
2.4.2. Laboratuvar Deneyleri	32
2.4.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi	32
2.4.2.2. Özgül Ağırlık Deneyi	32
2.4.2.3. Su/Nem İçeriği Deneyi	33
2.4.2.4. Tane Boyu Dağılım Analizi Deneyi	33
2.4.2.5. Atterberg Limitleri	35
2.4.2.6. Tekrarlı Üç Eksenli Basınç Deneyi	35
2.4.2.7. Tekrarlı Basit Kesme Kutusu Deneyi	35
2.5. Sıvılaşma Analiz Yöntemleri	36
2.5.1. Seed ve Idriss Yöntemi	37
2.6. Coğrafi Bilgi Sistemi	40
2.6.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Elemanları	40
2.6.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Genel Fonksiyonları	41
2.6.3. Veri Toplama Teknikleri	42
2.6.4. Veri Depolama Teknikleri	42
2.6.5. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Sorgulama	43
2.6.6. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analiz Yöntemleri	44

	Sayfa
3. MATERYAL VE METOT	45
3.1. Haritalar	45
3.2. Çalışmada Kullanılan Sıvılaşma Analiz Yazılımı	45
3.2.1. Pro-Sıvı Sıvılaşma Programı	45
3.3. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yönteminin Uygulanması	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1. Arazi Çalışmaları	52
4.2. Laboratuvar Çalışmaları	57
4.3. Sıvılaşma Potansiyeli Analizi	62
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
EKLER	80



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Mersin ili aylık ortalama meteorolojik istatistikler (1940-2018).	5
Tablo 1.2. Mersin ve çevresinde hissedilen tarihsel döneme ait depremler (M.Ö. 2100- M.S. 1900).	8
Tablo 2.1. Yük düzeltme faktörü.	30
Tablo 2.2. Şahmerdan tipleri ve enerji oranları.	31
Tablo 2.3. Tij düzeltme faktörü.	32
Tablo 2.4. ASTM standartlarına göre elek aralıkları.	33
Tablo 4.1. Çalışma bölgesine ait sondaj kuyularının koordinat verileri.	53
Tablo 4.2. Çalışma bölgesindeki yapılan sondajlara ait derinlik, litoloji ve formasyon bilgileri.	54
Tablo 4.3. Laboratuvar deney sonuçları.	58
Tablo 4.4. Sıvılaşma analizi için kullanılan veriler.	63
Tablo 4.5. Deprem büyüklüğü 6,0 olan senaryoya göre sıvılaşma analiz sonuçları.	64
Tablo 4.6. Deprem büyüklüğü 6,5 olan senaryoya göre sıvılaşma analiz sonuçları.	65
Tablo 4.7. Deprem büyüklüğü 7,0 olan senaryoya göre sıvılaşma analiz sonuçları.	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. AFAD, 2018, Türkiye Deprem Tehlike Haritası.	1
Şekil 1.2. 1964 Alaska depremi sonrası zemin sıvılaşması.	3
Şekil 1.3. Çalışma alanı yer bulduru haritası.	5
Şekil 1.4. Mersin ili yıllık alansal yağışları.	6
Şekil 1.5. Mersin ve çevresindeki aktif fay hatları.	7
Şekil 1.6. 1920-2020 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü 4-7 arasında olan depremler.	7
Şekil 1.7. Mersin ili Mezitli ilçesi Davultepe merkezli 100 km yarıçaplı $10 < M < 5$ aralığında 1900-2020'ye kadar gelen depremler.	8
Şekil 2.1. Çalışma bölgesinin jeoloji haritası.	15
Şekil 2.2. Mersin ili genel dikme kesit.	16
Şekil 2.3. Adapazarı (1999) depremi sonrasında görünüm.	20
Şekil 2.4. Tane boyu açısından sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri.	21
Şekil 2.5. (a) Zemin tanelerinin deprem öncesi görünümü, (b) zemin taneleri arasında etkiyen temas kuvvetleri, (c) boşluk basıncının ani artışıyla temasın yitimi, (d) depremin neden olduğu makaslama yer değiştirmesiyle zemin tanelerinde sıvılaşma sürecinin gelişimi.	22
Şekil 2.6. Zemini oluşturan tane şekilleri.	22
Şekil 2.7. Sıvılaşmaya bağlı olarak zeminin taşıma gücünü yitirmesi.	23
Şekil 2.8. Sıvılaşan bir zemin üzerinde inşa edilmiş bir binada oturma.	24
Şekil 2.9. Zemin salınım mekanizması.	24
Şekil 2.10. Yanal yayılmaya tipik bir örnek; San Fernando Barajı (1971 San Fernando depremi).	25
Şekil 2.11. Akma kaymasına tipik bir örnek 1999 Kocaeli depremi.	26
Şekil 2.12. SPT'nin Yapılışı.	29
Şekil 2.13. SPT'nin Aşamaları.	29
Şekil 2.14. Kohezyonlu zeminlerin kuruma sırasındaki hacim değişimi ve kıvam sınırları.	34
Şekil 2.15. Gerilme azaltma katsayısının derinliğe göre değişimi.	38
Şekil 2.16. $M=7,5$ için devirsel direnç oranı ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişki.	39
Şekil 2.17. CBS elemanları.	41
Şekil 2.18. CBS Temel fonksiyonları.	41
Şekil 2.19. Veri Kaynakları.	42
Şekil 2.20. Vektör ve raster veri modeli.	42
Şekil 2.21. Raster ve Vektör Veri Arasındaki Farklar.	43
Şekil 2.22. CBS'de Analiz Sonuçları.	44
Şekil 3.1. Yazılımdaki "Deprem Karakteristikleri" giriş bölümü.	46
Şekil 3.2. Yazılımdaki "Analiz Yöntemleri" giriş bölümü.	46
Şekil 3.3. Yazılımdaki "Zemin Profil Tanımlaması" giriş bölümü.	47
Şekil 3.4. Yazılımdaki analiz sonuçlarının gragiksel görünümü.	47
Şekil 3.5. Yazılımdaki sıvılaşma anazlizi sonuç bölümü.	48
Şekil 3.6. IDW yöntemi için 3 örnek nokta.	49
Şekil 3.7. Örnek IDW yöntemi hesaplama sonucu 3 boyutlu gösterimi.	49
Şekil 4.1. Çalışma bölgesindeki gözlemlenen alüvyon birimleri.	50
Şekil 4.2. Davultepe ve Mezitli civarlarında gözlenen birimler.	51
Şekil 4.3. Çalışma bölgesinin kuzeydoğu kesimlerinde gözlenen Handere Formasyonuna ait görünüm.	52
Şekil 4.4. Çalışma bölgesindeki yapılan sondajların Google Earth üzerindeki lokasyonları.	53
Şekil 4.5. SPT (Standart Penetrasyon Testi) deneyi.	56

	Sayfa
Şekil 4.6. Çalışma bölgesinde yapılan sondaj çalışmaları.	57
Şekil 4.7. Özgül ağırlık deneyinin yapılışı.	59
Şekil 4.8. Plastik limit deneyi zemin örnekleri	60
Şekil 4.9. Zemin örneklerinin etüvde kurutulması.	60
Şekil 4.10. Likit limit deneyi (cassagrande yöntemi).	61
Şekil 4.11. Elek analiz deneyi.	61
Şekil 4.12. Çalışma bölgesinin yeraltı su seviyesi (YASS) haritası.	62
Şekil 4.13. Araziden alınan örnekler üzerinde yapılan elek analizi dağılımını gösteren grafik	62
Şekil 4.14. Büyüklüğü 6,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası	68
Şekil 4.15. Büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası	69
Şekil 4.16. Büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası	70
Şekil 4.17. Büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosuna göre oluşabilecek sıvılaşma bölgelerinin yerleşim yoğunluğu haritası.	71

EKLER DİZİNİ

	Sayfa
EK 1. AFAD SİSMİK TEHLİKE RAPORU	80
Ek 1.1. AFAD Sismik Tehlike Harita Raporu.	80



KISALTMALAR ve SİMGELER

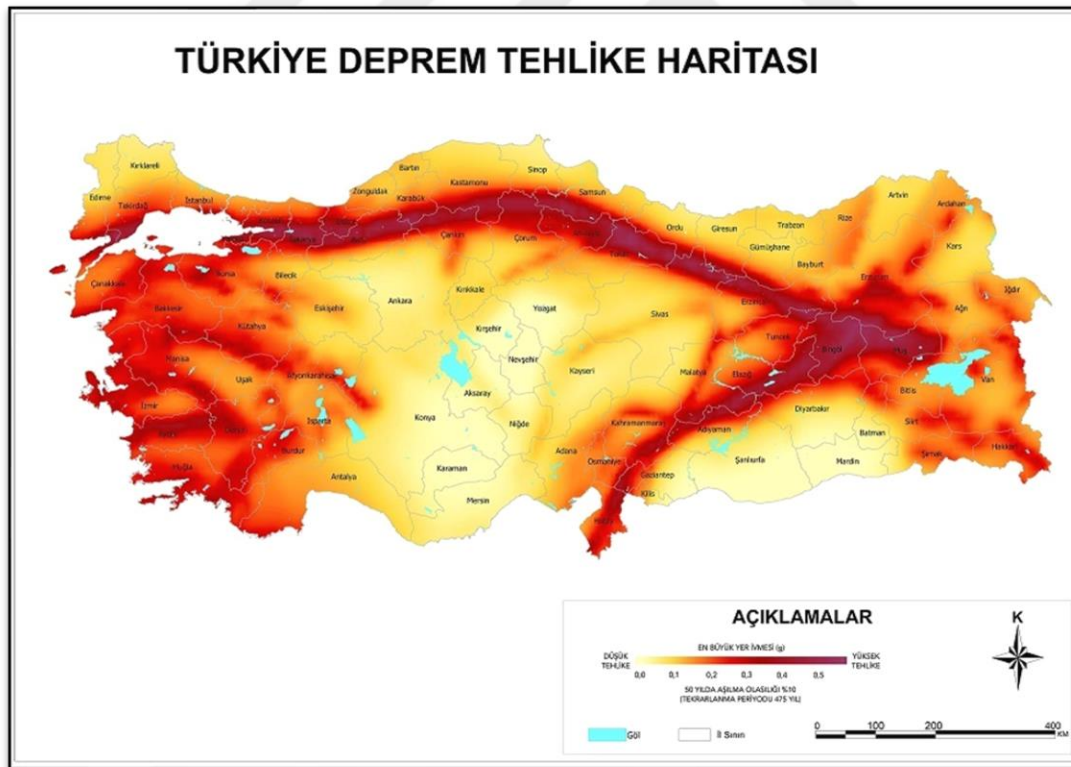
Kısaltma/Simg	Tanım
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
BAF	Batı Anadolu Fayı
DAF	Doğu Anadolu Fayı
SPT	Standart Penetrasyon Testi
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon
a_{max}	Maksimum Yerçekim İvmesi
g	Yerçekimi İvmesi
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CPT	Konik Penetrasyon Deneyi
SPT-N	SPT Darbe Sayısı
V_s	Kayma Dalga Hızı
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Qal	Alüvyon
CR	Karot
DGO	Devirsel Gerilme Oranı
DDO	Devirsel Direnç Oranı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
YASS	Yeraltı Su Seviyesi
SR	Sismik Kırılma
DHT	Kuyu Aşağı Deneyleri
SAWS	Yüzey Dalgaları Spektral Analizi
MASW	Derinlik Kayma Dalgası Hızı
N	Darbe Sayısı
γ	Birim Hacim Ağırlık
γ_n	Doğal Birim Hacim Ağırlığı
γ_k	Kuru Birim Hacim Ağırlığı
γ_d	Doygun Birim Hacim Ağırlığı
γ_A	Batık Birim Hacim Ağırlığı
γ_s	Tane Birim Hacim Ağırlığı
W_T	Örneğin Kütlesi
W_p	Parafinle Kaplı Örneğin Kütlesi
γ_p	Parafinin Yoğunluğu
γ_w	Suyun Birim hacim Ağırlığı
G_s	Özgül Ağırlık
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
ASTM	Amerikan Standartlar Enstitüsü
HDK	Hidrokopik Nem Düzeltme Katsayısı
Fka	Örneğin Fırında Kurutulmuş Ağırlığı
Hka	Örneğin Havada Kurutulmuş Ağırlığı
CU	Üniformluk Katsayısı
Dr	Rölatif Sıklık
LL	Likit Limit Değeri
σ_d	Tekrarlı Gerilme
σ'_c	Çevre Basıncı
σ'_{v0}	Toplam Gerilme
σ_{v0}	Düşey Toplam Gerilme
σ_{v0}	Düşey Efektif Gerilme
r_d	Gerilme Azaltma Katsayısı
r_n	Deprem Büyüklüğü Düzeltme Faktörü
τ_d	Kayma Gerilmesi
E_y	Ortalama Enerji Oranı
	Arazide Kaydedilen Darbe Sayıları

Kısaltma/Simgesi	Tanım
N_y	Enerji Oranı
E_x	İki Farklı SPT Sisteminin Enerji Transfer Oranı
C_E	Enerji Oranı
E_R	Piyezo-Elektrik Konik Sondalar
CPTU	Sismik-Piyezo Konik Sondalar
SCPTU	Emniyet Faktörü
EF	Magnitüd Düzeltme Faktörü
MDF	Deprem Büyüklüğü
M	Deprem Odağından Olan Uzaklık
R	İnce Tane Oranı
ITO	Düzeltilmiş Uç Direnç
q_{c1}	Üst Tabaka Yüğü Düzeltme Sayısı
C_Q	Uç Direnç
q_c	100 Kpa'lık Referans Gerilmesi
P_a	İnce Tane Oranına Göre Düzeltilmiş Uç Direnç
q_{c1tk}	İnce Tane Düzeltme Katsayısı
Δ_{qc1}	Zemin İndeksi
I_z	Ölçülen Çeper Sürtünmesi
f_s	Normalize Edilmiş Uç Direnç
Q	Normalize Edilmiş Sürtünme Oranı
F	Zemin İndeksine Göre Düzeltilmiş Uç Direnç
q_{ca}	Tane Karakteri İçin Düzeltme Katsayısı
K_c	Üst Tabaka Düzeltme Katsayı
C_v	Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması
USCS	İnce Tane Oranı Yüzdesi
FC	Sıvılaşma Katsayısı

1. GİRİŞ

Her yıl doğal afetlerden dolayı milyonlarca insan etkilenmekte, önemli sayıda can kaybına ve yaralanmalara neden olmakta, milyarlarca dolarlık maddi kayıp yaşanmaktadır. Doğal afetler, alt ve üst yapıları değişik derecelerde bozmakta, ulaşım ve haberleşme kesintiye uğramakta, bulaşıcı ve salgın hastalıklara neden olmaktadır. Doğal afetler içerisinde insan yaşamını en çok etkileyen sonuçları itibariyle en yıkıcı olan afet, şüphesiz depremlerdir. Türkiye de doğal afetlerin en şiddetli örneğini 17 Ağustos 1999'da yaşamıştır. Bu deprem binlerce insanın hayatına mal olmuştur [1].

Yer kabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına “deprem” denilmektedir [2]. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir (Şekil 1). Mersin'in de içinde yer aldığı Akdeniz bölgesinin deprem tehlikesi açısından daha düşük bir bölgede yer alması, depremlerin az olacağı ya da hiç deprem olmayacağı anlamına gelmemektedir. Depremler sivilleşmadaki en büyük etkenlerdir.



Şekil 1. AFAD, 2018, Türkiye Deprem Tehlike Haritası [3]

Depremlerin yapılar üzerindeki etkileri çok büyüktür. Yapının kalitesi ve yapıyı inşa ettikleri zeminin özellikleri önemli parametrelerdir. Uygun olmayan zemin koşulları ve bu

zeminlerin üzerine inşa edilmiş yapılar deprem sırasında etkileneceği için maddi ve manevi kayıplara neden olacaktır.

Zeminlerde sıvılaşma olgusu, ilk kez 1964 yılında Japonya'da meydana gelen Niigata depreminden sonra önem kazanmıştır. Bu deprem sırasında bazı yapılarda herhangi bir hasar meydana gelmemiş olmasına rağmen, yapıların yana yatmış, devrilmiş ve zemine batmış olması dikkatleri çekmiş ve yapıların bu tür davranışlarının zeminle ilişkili olduğu farkedilmiştir. Bu nedenle yapılar inşa edilmeden önce, bölgenin zemin özelliklerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

1998 Adana depremi, alüviyal zeminin yaygın olarak gözlendiği deprem bölgesinde özellikle Ceyhan Nehri kıyısına paralel 50 km'lik bir hat boyunca olmuştur. Ceyhan ile yakın civarındaki bazı yerleşim birimlerinde deprem sırasında meydana gelen titreşimler, bu çökellerin içerdiği, suya doygun kum ve siltli kum düzeylerinde sıvılaşma davranışının gelişmesine neden olmuştur. Yeraltı suyu seviyesinin Ceyhan Nehri civarında oldukça sık konumda olması bu süreci kolaylaştırıcı bir rol oynamıştır. Adana ve Ceyhan arasındaki bölgede sıvılaşmanın geniş bir alana yayılması, depremin büyük ölçüde zarar verici etkilerinin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu etkiler metrelerce genişlikte çatlakları ve onlara eşlik eden kum kaynamalarını içermektedir.

Sıvılaşma, 29 Nisan 1964'de Alaska, Good Friday, (MS=9,2) ve 16 Haziran 1964'te Japonya, Niigata, (MS=7,5) depremleri yaşandıktan sonra, 1965'te Arthur Cassagrande tarafından ilk kez ortaya konulmuştur. Bu depremlerde binaların birçoğunda, temel zemininin taşıma gücünü yitirmesinden dolayı; yan yatmalar, batmalar veya devrilmeler gözlemlenmiştir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı nedeniyle istinat duvarlarında ötelenmeler veya devrilmeler gözlemlenmiştir. Eğimli arazilerde ise sıvılaşma kökenli akma ve yanal yayılmalara rastlanmaktadır (Şekil 1.2.) [4].



Şekil 1.2. 1964 Alaska Depremi Sonrası Zemin Sıvılaşması [3]

1964 yılında Alaska depreminden sonra meydana gelen zemin sıvılaşmalarının yapılar üzerindeki etkileri çok yıkıcı olmuştur. Bu tarihe kadar zeminin yapılar üzerindeki etkilerine yeteri kadar önem verilmemekteydi. Alaska ve Japonya'daki depremlerden sonra araştırmacılar ve mühendisler, bu zemin davranışları ve yapılar üzerinde bıraktıkları hasarları araştırmaya daha çok önem vermişlerdir. Cassagrande'nin [5] yapmış olduğu çalışmalar neticesinde sıvılaşma kavramı önem kazanmış ve anlaşılabilir hale gelmiştir. Türkiye'de 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen Gölcük depremi sıvılaşma olayının yaşandığı, büyük hasarlara, can ve mal kayıplarına neden olan bir doğal afet örneklerindendir [3]. Ülkemizde yaşanan bu üzücü olay sonrasında sıvılaşmanın ne kadar tehlikeli ve önemli olduğu anlaşılmıştır.

Zemin sıvılaşması, deprem sırasında meydana gelen gerilimler ve titreşimler sonucunda meydana gelmektedir. Zemin sıvılaşmasına bağlı olarak sıvılaşma potansiyelini belirlemek ve daha sonrasında meydana gelebilecek hasarlara karşı önlem alabilmek önemli ve özen gösterilmesi gereken bir araştırma konusudur. Bu konu ile alakalı farklı değerlendirmeler, analiz yöntemleri ve standartlar bulunmaktadır. Sıvılaşma terimini literatüre kazandıran Castro [6] sıvılaşma terimini şu şekilde tanımlamıştır: " Sıvılaşma, suya doygun zeminin çökmesi sırasında, zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının zemini çevreleyen suya aktarılmasıyla oluşur. Bu olay sonucunda, zeminin herhangi bir derinliğinde hidrostatik su basıncı yükselerek, bu basıncın büyüklüğü suya batan zeminin birim ağırlığına yaklaşır" [7].

1.1. Çalışmanın Tanıtımı

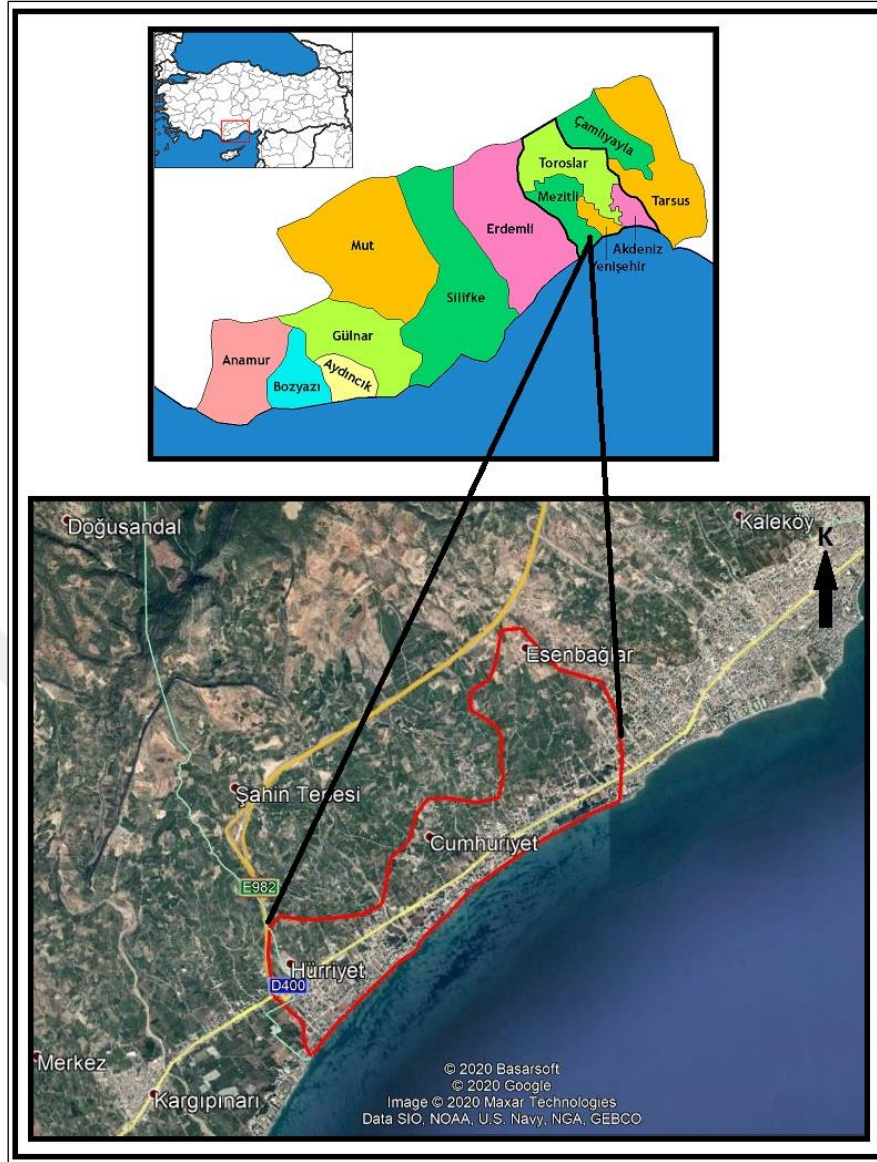
Bu çalışmada Mersin ili Davultepe yerleşim alanlarında yer alan zeminlerin deprem esnasında ortaya çıkan sıvılaşma durumunun olup olmayacağını ortaya koymak için, zeminlerin sıvılaşma potansiyeli analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla bölgenin jeolojisi, tektonik özellikleri ve depremselliği gibi farklı değişkenlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçtan yola çıkarak tez süresi boyunca açılmış sondajlardan başka bölgede özel firmalar tarafından yapılmış sondajlara ait SPT verileri alınıp düzenlenerek alınan örnekler üzerinde atterbeg limitleri (plastik ve likit limit), birim hacim ağırlık, su içeriği ve tane boyu dağılım analizi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler, PROSIVI sıvılaşma analizi programına [8] girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Programın içinde bulunan ve Seed&Idriss tarafından [9] geliştirilen yöntem ile sıvılaşma güvenlik katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen bu güvenlik katsayılarını ArcGIS 10,2 programına [10] girdi parametresi olarak aktararak çalışma bölgesinde meydana gelebilecek bir deprem sonrasında oluşabilecek sıvılaşma potansiyel haritaları oluşturulmuştur.

1.2. Çalışma Bölgesinin Özellikleri

1.2.1. Coğrafi Konum

Mezitli ilçesi 515,79 km²'lik yüzölçümüne sahip ve nüfus yoğunluğunun olduğu önemli bir bölgedir. Deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 3-5 metre arasındadır. Mezitli bölgesinin büyük bir çoğunluğu dağ, yayla ve dalgalı arazilerden oluşmaktadır. Dağ ve deniz arasında kalan kıyı şeridi batıya gittikçe daralmaktadır. Toroslar bu konumu sayesinde kuzey rüzgarlarına karşı bir set oluşturarak tipik Akdeniz ikliminin hâkim sürmesini sağlamaktadır. Çalışma bölgesi Mezitli ilçesine bağlı Davultepe bölgesinin batısında Erdemli, doğusunda Yenişehir, kuzeyinde ise Toroslar ilçeleri bulunmaktadır. Çalışma bölgesi Akdeniz kıyılarına yakın yani düşük eğime sahip bölgelerdir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Çalışma alanı yer bulduru haritası [11]

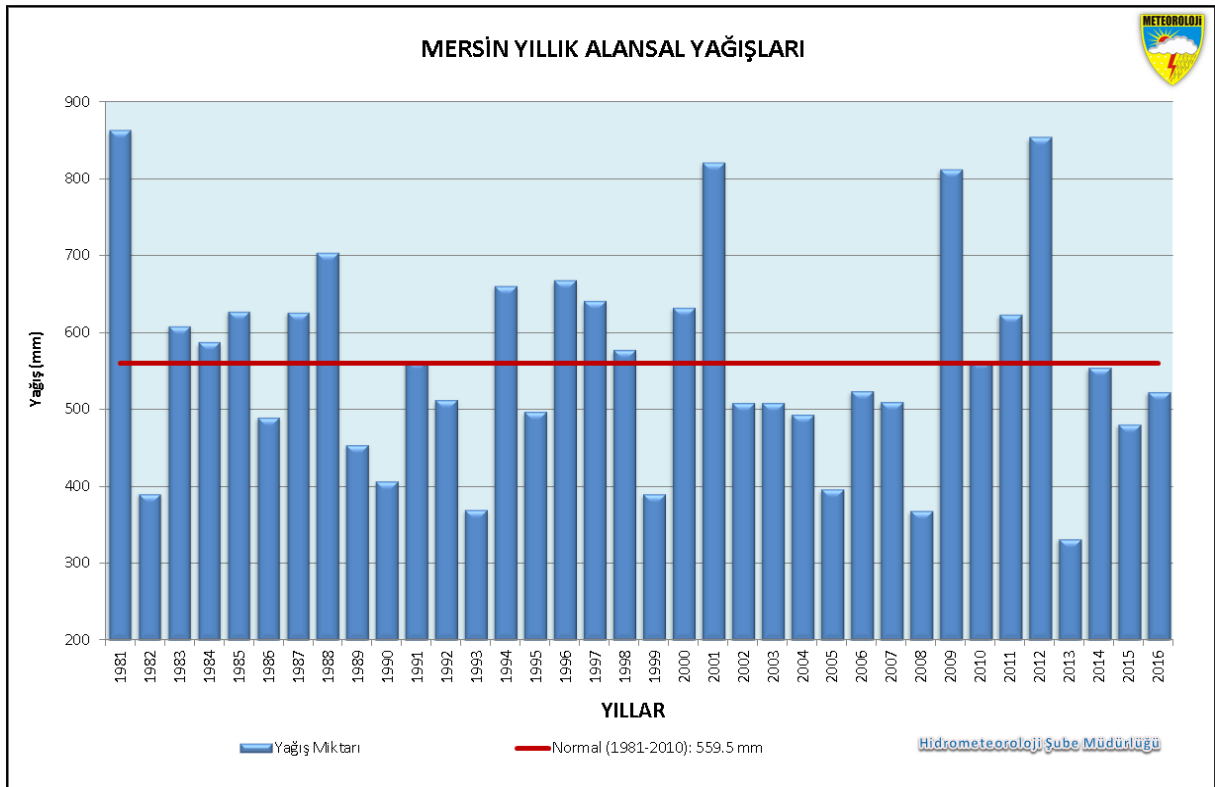
1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Mersin ili tipik Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtmaktadır. Bölgenin kıyı kesimlerinde yazları sıcak ve kurak, kışlar ise daha çok ılık ve yağışlı geçmektedir. Deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça yazları serin, kışları ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Yağış ortalaması yıllık 615,8 mm, sıcaklık ortalaması 19,1 °C ve bu bakımdan Türkiye'nin en sıcak bölgelerinden biridir. (Tablo 1.1. ve Şekil 1.4.).

Tablo 1.1. Mersin ili aylık ortalama meteorolojik istatistikler (1940-2018) [12].

MERSİN	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
Ortalama Sıcaklık(°C)	10,1	11,0	13,7	17,4	21,2	25,0	27,7	28,3	25,7	21,4	16,1	11,8	19,1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık(°C)	14,5	15,4	18,1	21,6	24,9	28,1	30,7	31,5	30,0	26,6	21,5	16,4	23,3

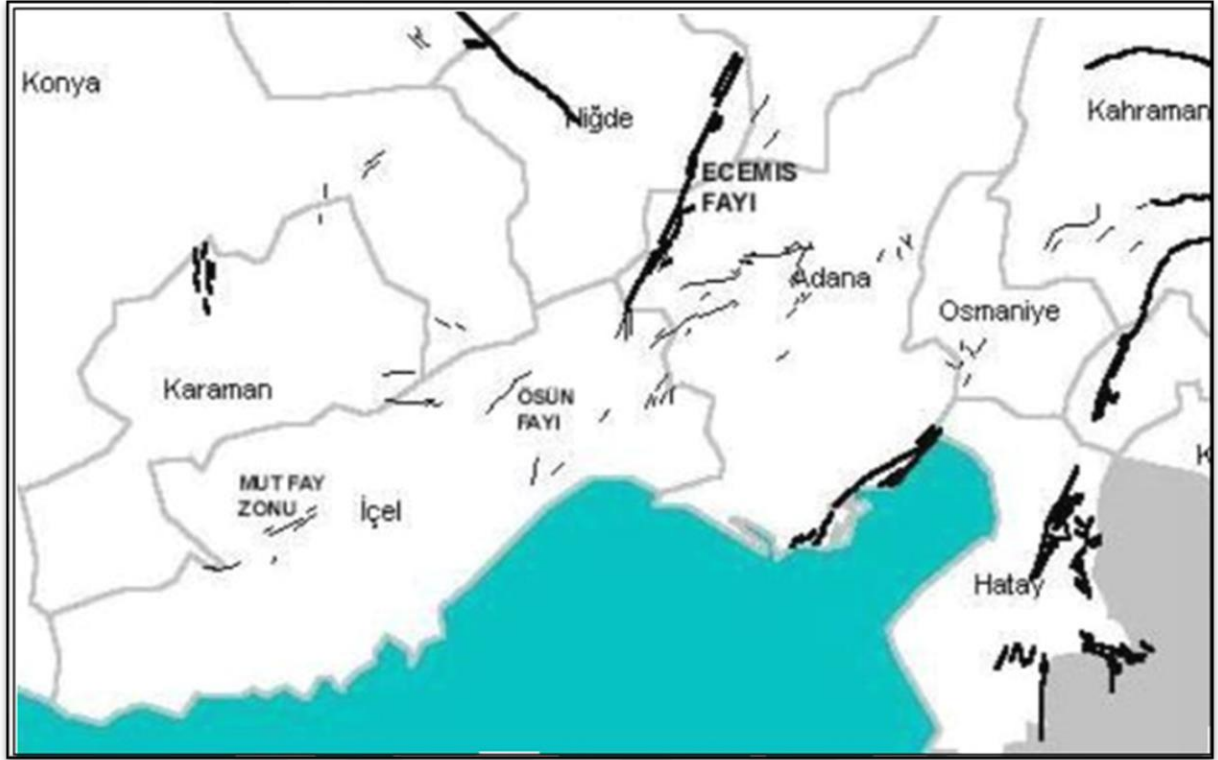
Ortalama En Düşük Sıcaklık(°C)	6,2	6,8	9,1	12,8	16,8	20,8	23,9	24,2	20,8	16,2	11,5	7,8	14,7
Ortalama Güneşlenme Süresi(saat)	4,7	5,6	6,7	7,6	8,4	9,8	9,9	9,8	9,1	7,5	5,7	4,7	89,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10,6	9,2	7,6	6,7	5,1	2,2	0,9	0,8	1,7	5,0	6,6	10,4	66,8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması(mm)	118,5	85,5	56,2	34,8	23,8	10,2	11,6	6,9	11,7	39,2	77,8	139,6	615,8
En Yüksek Sıcaklık	25,2	26,5	29,8	34,7	36	40	38,1	39,8	39,0	37,5	31,0	27,0	40,0
En Düşük Sıcaklık	-6,3	-6,6	-2,2	0,6	7,0	12,0	16,1	15,0	11,0	2,7	-3,3	-3,0	-6,6



Şekil 1.4. Mersin ili yıllık alansal yağışları [12]

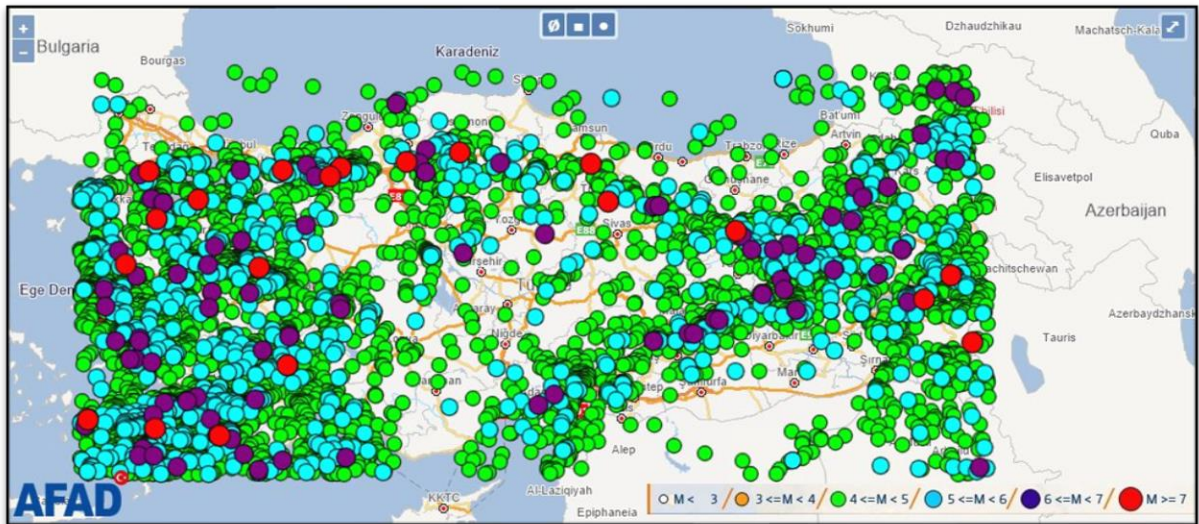
1.2.3. Depremsellik

Deprem oluşumuna neden olan en büyük etkenlerden biri aktif faylardır. Mersin ili ve çevresinde ise deprem oluşturabilecek aktif faylar bulunmaktadır. 1998 Ceyhan depremine neden olan Yumurtalık-Karataş fay hattı Akdeniz üzerinden Kıbrıs'a kadar uzanmaktadır [13]. Mersin ili ve çevresindeki aktif faylar aşağıdaki gibidir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Mersin ve çevresindeki aktif fay hatları [14]

Türkiye’de kayda geçmiş büyüklüğü 4-7 arasında olan birçok deprem olmuştur. Bu deprem kayıtları, 1900-2020 yılları arasındadır (Şekil 1.6.). Ayrıca, Türkiye Deprem Tehlike Haritası’na göre Mersin ili ve çevresinde gerçekleşebilecek bir depremin ya da depremlerin en büyük yer ivmesi 0,1 ve 0,2 arasındadır [15].



Şekil 1.6. 1920-2020 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü 4-7 arasında olan depremler [3]

DAF (Doğu Anadolu Fayı) sismik kuşağı, Mersin ve yakın çevresini de kapsadığı Erdik vd. [16] tarafından belirtilmiştir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)’nun Kahramanmaraş’tan sonraki

sahip kum çökellerinin kesme gerilmelerine maruz kalmaları durumunda hacimsel genişleme ile boşluk suyu basıncının azalacağı ve takriben efektif gerilmenin artacağını belirtmiştir.

Cassagrande [18], çalışmasında kritik boşluk oranı ile çevre basıncı arasındaki bağlantıyı araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda, çevre basıncının artması ile kritik boşluk oranının azaldığını gözlemlemiştir. Bu durumda, sıvılaşma potansiyeli riski olan suya doymuş kumların düşük çevre basınçlarında, yüksek çevre basınçlarına göre daha fazla duyarlı olabileceğini belirtmiştir.

Mogomi ve Kubo [19], sıvılaşma terimi ilk defa kohezyonsuz zeminlerde dengesiz, drenajı olmayan ve tekrarlı örselenmeden kaynaklanan zemin deformasyonlarını tanımlamak üzere kullanmıştır.

Seed [20], deprem anında zemini etkileyebilecek gerilme koşullarını dikkate alarak kum zeminlerde dinamik üç eksenli basınç deneyi yapmıştır. Yapılan çalışma ile çevrimsel yükleme genliği, rölatif sıkılığın, çevrim sayısının ve çevre basıncının sıvılaşma üzerinde olan etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçlarında yük çevrim sayısının artması ile deformasyon artışları ve boşluk suyu basıncında artışların meydana geldiğini gözlemiş ve kumlu zeminlerde başlangıç sıvılaşmasının oluştuğunun sonucuna varmıştır.

Işık vd. [21], Fethiye yerleşim alanında 40 adet sondaj verilerinden (arazi ve laboratuvar verilerini kullanarak) yararlanarak Seed ve Idriss yöntemini esas alarak Fethiye yerleşim bölgesinin sıvılaşma risk haritalarını hazırlamıştır. Bu haritalar, $M= 7,0$ büyüklüğündeki bir deprem senaryosunda yerleşim bölgesindeki sıvılaşma riski bulunan bölgeleri belirlemiştir. Sıvılaşma risk haritasının hazırlanması amacıyla sıvılaşma risk indeksi Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerildiği gibi belirlenmiştir.

Ishihara [22], zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için çalışmalar yapmıştır. Kumlu zeminlerde tekrarlı üç eksenli deneyler yapmış, eksenel gerilmeler ile boşluk suyu basıncı arasındaki ilişkiyi gözlemlemiştir. Zeminlere eksenel gerilme uygulandıkça boşluk suyu basıncında artış olduğunu belirlemiştir.

Kramer [23], drenajsız koşullarda bulunan suya doymuş kohezyonsuz zeminlerin statik, geçici veya tekrarlı yüklemelerin etkisi altında oluşan zemin deformasyonlarını sıvılaşma terimi olarak ifade etmiştir.

Erken [24], yaptığı çalışmada, son 10 yıl içerisinde Türkiye ve dünyada meydana gelen büyük depremlerde yapı hasar etkilerinin azaltılması için yapı temellerinin oturduğu zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışlarının iyi bilinmesi gerektiğini vurgulamıştır. Yapılan incelemelerde kumlu zeminler ile düşük plastisiteli siltli zeminlerin genellikle sıvılaştığı ve killi zeminlerin ise taşıma gücü kaybına uğradığını gözlemlemiştir. Bu çalışma çerçevesinde öncelikle silt, kum ve killerin deprem yükleri altında göstereceği etki araştırılmış ve düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın sonunda, plastik killi zeminlerin dinamik yükler altında yumuşaması ile taşıma gücüne etkileri açıklanmıştır.

Özaydın [25], Depremlerde, bazı jeolojik ortamlarda ve zemin koşullarında, büyük yapısal hasarlara ve zemin hareketlerine yol açan zeminlerde sıvılaşma oluşumu henüz bütün yönleri ile açıklığa kavuşturulamamıştır. Sıvılaşmış zemine ilişkin stabilite, yer değiştirme (akmayayılma) ve zemin- yapı etkileşimi problemlerinin çözümü için sıvılaşmış zemin özellikleri yanında, davranış modellerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada mühendislik tasarımlarında sıvılaşmanın depremlerde yapısal davranış üzerinde etkilerinin tam olarak gözönüne alınmasındaki güçlüklerden dolayı, inşaat alanlarının seçiminde sıvılaşabilir zeminlerle kaplı alanlardan sakınılması veya bu tür zeminlerin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Akın, vd. [26], Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanı için 45 adet sondaj kuyusu verisi kullanılarak sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) ve sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) yöntemlerini kullanarak sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturmuşlar. İnceleme alanındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen, sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ve Sönmez ve Gökçeoğlu (2005)'na ait sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Sönmez ve Gökçeoğlu [27], deprem jeoteknik mühendisliğindeki en önemli görevlerden biri sıvılaşma duyarlılık haritalarının hazırlanmasıdır. Bu amaçla sıvılaşma duyarlılığına ilişkin bazı endeksler kullanılır. Ancak, şu anda kullanılan endekslerin bazı sınırlamaları vardır. Bu çalışmada duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılabilecek bir sıvılaşma şiddeti indeksi önerilmiştir. Önerilen şiddet indeksi, performansı incelenmek için Tayvan (Yuanlin) ve Türkiye' den (İnegöl) seçilen iki bölgeye uygulanır. Uygulama önerilen endeksin seçilen siteler için iyi bir performans gösterdiğini ve daha sonraki çalışmalar için bir araç olarak değerlendirilebileceğini gösterdi.

Ateş [28], Düzce konum itibari ile dünyanın ve ülkemizin sismik olarak en aktif kuşağı üzerindedir. Sıvılaşma olgusu ülkemizde Erzincan depremiyle literatürümüze girmiştir. 1999

depreminden sonra Düzce özellikle de Sakarya ve Kocaeli zeminlerinde oldukça fazla sıvılaşma vakalarına rastlanılmıştır. Bu çalışmada Düzce ili Gölyaka ilçesi yerleşim alanında 35 noktada SPT (Standard Penetrasyon Test) ve Vs (Kayma dalgası hızları) kaydedilmiştir. Çalışma alanında SPT ve sismik deney noktaları karşılaştırılmaya çalışarak sonuçların uyumlu olması sağlanmıştır. Düzce fay zonunun gelecek depremde kırılması halinde üretebileceği deprem moment büyüklüğü $MW=7,2$ ve yatay deprem ivmesinin ise $a_{maks}=0,53$ olması şartlarında sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri sonucunda elde edilen sıvılaşma indeksi sonuçlarına göre sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ilçenin büyük bölümünde sıvılaşma olabileceği ortaya konulmuştur.

Esin ve Ceryan [29], Türkiye’de birinci derece deprem bölgesinde yer alan Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Burhaniye belediyesinin arşivinden temin edilen arazi ve deney sonuçlarını içeren jeolojik ve jeoteknik etüt raporlarından derlenerek hazırlanan veri tabanı kullanılmıştır. Söz konusu raporlardan temin edilen 97 sondaj verisi kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında değerlendirilmiştir. Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanı için eğim haritası, yeraltı suyu seviyesi ve yeraltı su derinlik haritaları, farklı derinlikler (3, 6, 9, 12 ve 15m) için düzeltilmiş SPT-N değerlerinin dağılımı haritaları hazırlanmıştır. Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanını etkileyecek diri fayların uzunlukları ve inceleme alanına olan uzaklıkları dikkate alınarak azalım ilişkisinden, olası en büyük yer ivmesi hesaplanmıştır. Söz konusu yerleşim alanını etkileyebilecek $Mw=7,2$ büyüklüğündeki olası deprem senaryosu ve en büyük ivmesinin $0,37g$ değeri kullanılarak Burhaniye yerleşim alanının sıvılaşmaya potansiyeli haritaları oluşturulmuştur.

Bol, Arel ve Önalp [30], Adapazarı kentinde değişik temel derinlikleri için zemin SPTN haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra ise kentin sıvılaşma haritası, önceden belirlenmiş temel gömme derinlikleri için taşıma gücü haritaları çıkartılmış ve elde edilen tüm haritalar 1999 depreminde kentte meydana gelen hasarın dağılımı haritası ile karşılaştırılmışlardır. Sonuçta, hasarın kentin kısıtlı bir bölümünde yüzeyleyen anakayada oturan yapılarda çok az belirdiği, anakayanın hemen etrafındaki aluviyal düzlük kısımlarda bulunan orta ve yüksek plastisiteli killi topraklar üzerinde ise kentin diğer bölgelerine oranla daha az belirdiği ortaya çıkmıştır. Öte yandan, kent merkezine doğru yıkımların yoğunlaştığı, çalışma alanının sıvılaşma gösteren bölgeleri ve taşıma gücünün zayıf olduğu bölgeleri ile diğer bölgelerine oranla iyi olarak kabul edilebilecek bölgelerinde hasar dağılımı yönünden pek bir farkın olmadığı, ancak hasarın kökeni türünden farklılıklar belirdiği ortaya çıkmıştır.

Koç [31], Gölcük ve çevresinde 39 sondaj verisinin sıvılaşma potansiyeli Seed ve Idriss [9] Yöntemi kullanılarak incelemiştir. Kohezyonsuz zeminlerde ise, Standart Sıvılaşma Analiz yöntemini esas alan LiquefyPro (CivilTech 2002) bilgisayar programı kullanılmıştır. Ayrıca suya doygun zeminlerde Tokimatsu ve Seed [32] Yöntemi kullanılarak oturma miktarları hesaplanmıştır. ArcGIS programı kullanılmış ve sıvılaşma potansiyeli haritası hazırlanmıştır.

Özaydın [33], sıvılaşmış zeminlerin rijitlik ve mukavemet özelliklerinin belirlenmesi açısından çalışmalar yapmıştır. Sıvılaşmış zeminde akma, yayılma ve stabilite problemlerinin çözümü için sıvılaşmış zemin özellikleri ile birlikte, tekrarlı ve geçici yükler altında zeminin davranış modellerinin oluşturulması gerektiğini vurgulamıştır. Mühendislik tasarımlarında sıvılaşmanın depremlerde yapısal davranış üzerindeki etkilerinin tam olarak çözülmemesinden dolayı, yapı yapılacak alan seçiminde bu tür zeminlerin ıslah edilmesi veya sıvılaşabilir zeminlerle kaplı alanların terk edilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Bayrakçı, vd. [34], sıvılaşmaya uğrayabilecek zeminlerin deprem olmadan önce belirlenmesi ve buna göre önlem alınması deprem anında sıvılaşma nedeniyle oluşacak hasarları en aza indirir. Literatüre ve yönetmeliklere göre, sıvılaşan bir zeminin belirlenmesi için, alüvyon zeminlerde en az 20 m'lik bir sondaj derinliği boyunca analiz yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Eskişehir'de 080240 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında 885 adet zemin etüt raporu incelenmiştir. İnceleme sonunda, zemin etüt raporlarının %67'sinde sıvılaşma riski olduğu belirtilmiş, ancak sondaj derinliğinin bu zemin etüt raporlarında 20 m'nin altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Eskişehir'de yapılan 87 adet sondajın verileri kullanılarak, farklı derinlikler için (5 m, 10 m, 15 m ve 20 m) sıvılaşma analizleri Seed ve Idriss (1971) tarafından ortaya konulmuş olan ve Youd vd. (2001) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada sondaj verilerinin toplanması ve sıvılaşma haritalarının oluşturulmasına yönelik bir veritabanı tasarımı yapılmış ve bütün haritalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında haritalanmış ve analiz edilmiştir. Sonuç olarak Eskişehir şehir merkezinde yapılacak sıvılaşma analizleri için 10 metrelik sondajların yetersiz olduğu, sıvılaşma değerinin derinlik boyunca değiştiği tespit edilmiştir.

Alpaslan [35], sıvılaşmanın mekanizması ve zemin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Zemin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde birçok ampirik bağıntı, analiz ve yöntemler bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan sıvılaşma hesaplamalarında S Dalga Hızı ve SPT (Standart Penetrasyon) arasındaki ilişkinin belirlenmesi oldukça önem kazanmıştır.

Sönmezer, Çeliker ve Kılınç [36], Kırıkkale ili Bahçelievler ve Fabrikalar mahallelerinin zemin parametrelerinin belirlenmesi amaçlamıştır. Bu amaçla yapılan sondajlarda, arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veri parametreleri ile yeraltısuyu seviyesi ve sıvılaşma haritaları Coğrafi Bilgi Sistemlerinde oluşturulmuştur. Bu haritalar, bu bölgedeki inşaat plan ve proje çalışmaları için önemlidir.

Aydın [37], Zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesi için ortaya konulan kriterlerin incelenmesi ve şartnamelerin farklı deprem şiddetlerinin ve hesaplama da kullanılan parametreler için elde edilmiş korelasyonların sıvılaşma analizlerine etkileri araştırmıştır.

Atak vd. [38], 1999 Kocaeli depremi öncesine ve sonrasına ait hava fotoğraflarını kullanarak Sapanca Gölü çevresinde, İzmit Körfezi güney kıyılarında ve Sakarya ili şehir merkezinde zemin sıvılaşması ve faylanma nedeni ile meydana gelen konum değişikliklerini tespit etmişlerdir. Ayrıca farklı tarihlerde alınmış hava fotoğrafları kullanılarak yapılan benzer çalışmalarla da İstanbul ili Avcılar ilçesinde ve Denizli ili Babadağ ilçesinde, zeminde meydana gelen yer değiştirmelerin yönleri ve büyüklüklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak da yeterli sayıda noktada ölçüm yapıldığı takdirde hassas sonuçların elde edilebileceği ve fotogrametrik yöntemin, araştırılan bölgenin tümünü temsil eden sağlıklı yaklaşımlar verebileceği görmüşlerdir.

Erdoğan [39], bu çalışmada, Erdemli (Mersin) ilçesi kent yerleşiminin bulunduğu alan, olası bir deprem etkisi altında ilçe sınırları içerisinde kalan alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla, 325 noktada yapılan sondaj, 7 araştırma çukuru ve 4 el burgusu ile alınan ve alınmış örnekler incelenmiştir. Zeminlerin fiziksel özellikleri laboratuvar da araştırılmış veri haline dönüştürülmüştür. Daha sonra çalışma alanında homojen dağılımı esas alan 50 sondaj noktası belirlenmiş ve bu noktalarda yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonuçlarından yararlanılarak, zeminlerin sıvılaşma potansiyelleri araştırılmıştır.

Kavurmacı [40], bu çalışmada Aksaray ilinin sıvılaşma potansiyeli jeoteknik ve hidrojeolojik veriler yardımıyla Coğrafi Bilgi Sistemi teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında zemin özelliklerini tespit edebilmek için jeoteknik sondajlardan 58 adet zemin örneği toplanmıştır. İnceleme alanının sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde Tokimatsu-Yoshimi yöntemi kullanılmıştır. Sıvılaşma riskinin belirlenmesi için farklı büyüklüklerde deprem senaryoları oluşturulmuş ve maksimum yatay yer ivmeleri hesaplanmıştır. Sıvılaşma risk haritalarının oluşturulmasında interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Yüksek sıvılaşma riski içeren alanlar şehrin kuzeybatı, batı ve güney bölgelerinde yoğunlaşmıştır.

Ulusay [41], 145 kişinin hayatını kaybettiği ve yapılarda büyük hasarlara neden olan 1998 Adana- Ceyhan (Türkiye) Depremi sonrası Ulusay [42] tarafından güncel Halosen çökellerinin çoğunlukta olduğu bölgede sıvılaşmaya duyarlılık analizleri yapılmış, sıvılaşan ve sıvılaşmayan zemin tabakalarının karakteristikleri araştırılmıştır. Sıvılaşma duyarlılığının değerlendirilmesi çalışmalarında jeoteknik veri ve sismik parametreleri kullanan bilgisayar modeli “Liquefac” geliştirilmiştir.

Ulusay ve Aydan [43], tarafından Bingöl Depreminin karakteristiği ve mühendislik jeolojisi özellikleri çalışılmıştır. Sıvılaşma görülen üç lokasyonda açılan sondaj kuyularından elde edilen verilerden yararlanılarak sıvılaşmaya neden olan etkenleri araştırmışlardır.

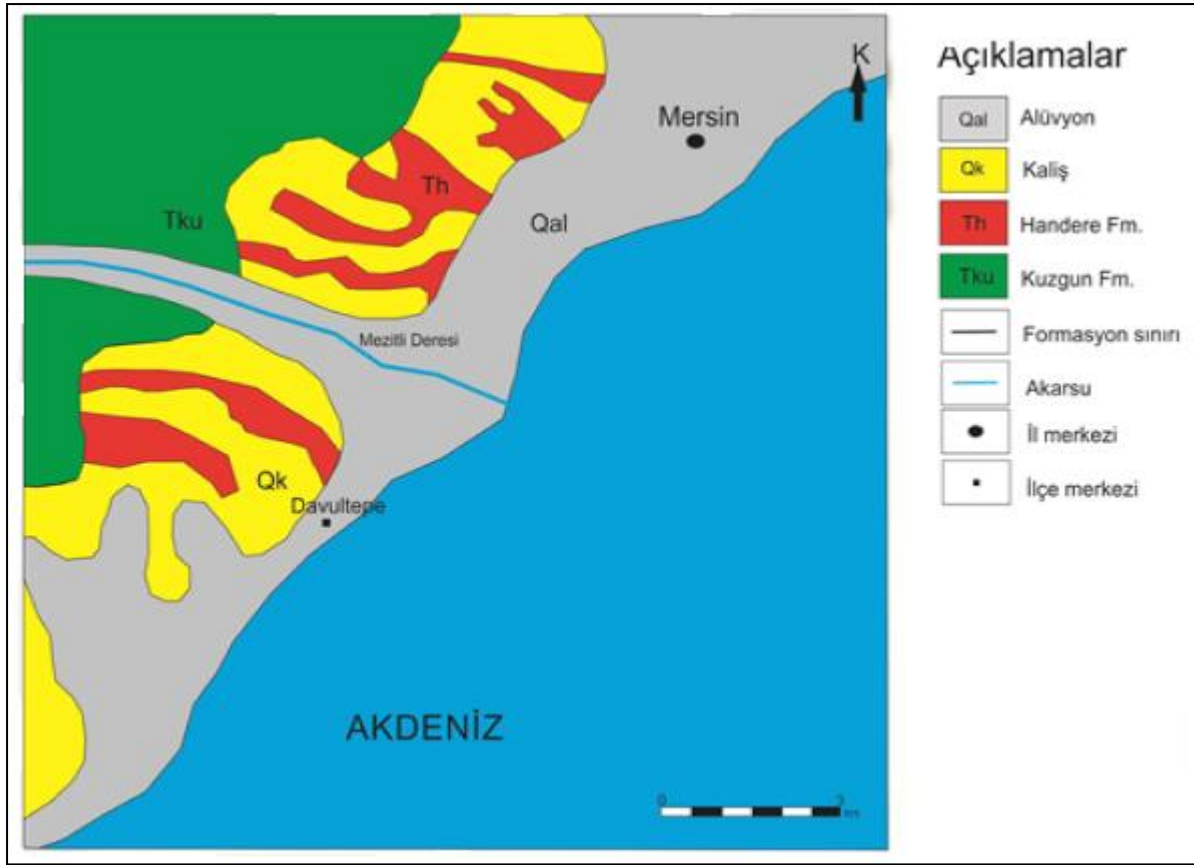
Sönmez [44], sıvılaşmaya yatkın sahalar için sıvılaşma duyarlılık haritalarının çıkarılmasına yönelik çalışma yapmıştır. Marmara Bölgesi’nde yer alan İnegöl için bir vaka incelemesi niteliğinde olan bu çalışmada Sönmez [40] daha önce ileri sürülen sıvılaşma indeksleri ve bu indekslere karşılık gelen kategorilerin eksiklerini gidermeye yönelik araştırmalar yapmış ve bunları derlemiştir.

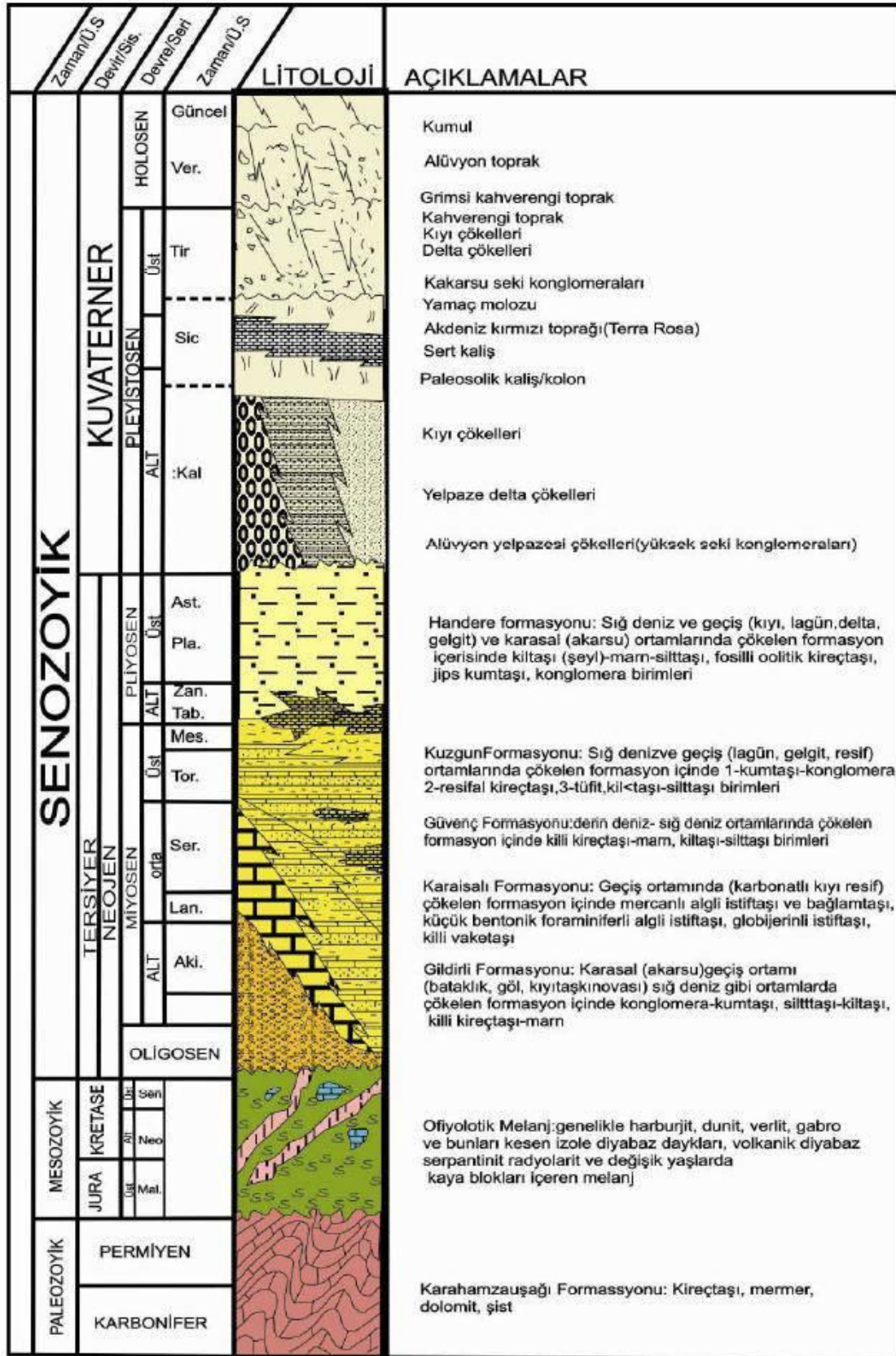
2.2. Bölgenin Jeolojisi

Mersin ilinin genel jeolojik özellikleri incelenirken MTA tarafından yayınlanan 1/25,000 – 1/250,000 ölçekli jeoloji haritalardan ve bölgede önceden yapılmış olan jeolojik çalışmalardan yararlanılmıştır. Ayrıca, çalışma alanında sondajlar ve detaylı gözlemler yapılarak çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tarsus-Mersin bölgesi kıyı akifer sistemi ve bu akifer sisteminin drenaj bölgesinde bulunan jeolojik birimler, Toros Dağ oluşum Kuşağının Ecemiş Fay Hattı güneydoğu kısmında bulunmakta ve jeolojik özelliklerini taşımaktadır.

Çalışma bölgesinde, Kuzgun Formasyonu, Handere Formasyonu, Kaliş birimleri ve alüvyon çökelleri bulunmaktadır. Birimlerin yaşlıdan gence olacak şekilde yayılımları kuzeyden güneye doğrudur (Şekil 2.1.).





Şekil 2.2. Mersin ili genel dikme kesit [45]

2.2.1. Karahamzauşağı Formasyonu

Paleozoyik yaşlı bu formasyon Mersin ilinin temel bir birimi olup sığ ve derin denizlerde çökelmiş ve daha sonra metamorfizmaya geçirerek kireçtaşları, mermer, kuvarsit, şist ve dolomit birimlerinden oluşmaktadır. Ünlügenç [46] tarafından isimlendirilen Karahamzauşağı formasyonu çalışma alanının kuzeybatı bölgesinde görülmektedir.

2.2.2. Mersin Ofiyolitik Melanjı

Ofiyolitik melanj, Mersin ilinin genellikle kuzey kesimlerinde ve daha çok derin vadilerde görülmektedir. Bu ofiyolitik melanj içerisinde; gabro, harzburjit, verlit, dünit, klinoproksenit, lertzolit, diyabaz, radyolarit ve deniz sedimanları da bulunmaktadır. Bu ofiyolitik birimler üzerinde genellikle serpantinleşme hâkim olmuştur. Mersin ofiyolitik birimleri çeşitli tektonik olaylar sonucu ilksel konum ve bitki örtüsünün yoğun olması sebebiyle ofiyolit olarak haritalanmıştır. Ofiyolitik birimlerin yapılan çalışmalar sonucunda bölgeye yerleşim yaşının Üst-Kreatase olarak belirlenmiştir. Ayrıca Oligo-Miyosen yaşlı Gildirli Formasyonu ofiyolitik melanj üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Gildirli formasyonunun bulunmadığı yerlerde veya Jura-Kreatase yaşlı kireçtaşlarının üzerine Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı Formasyonu da yine uyumsuz olarak gelmektedir [45].

2.2.3. Gildirli Formasyonu

Schmidt tarafından isimlendirilen bu formasyon, yine Schmidt tarafından Alt-Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Gildirli formasyonu üç ana kaya biriminden oluşmaktadır: konglomera-kumtaşı, silttaşı-kiltaşı ve killi kireçtaşı-marndır. Alt-Miyosen yaşlı olan formasyon akarsu, göl, sığ deniz ve lagün ortamlarında çökelmiştir. Bu birimler birbirleri ile yanal ve düşey geçişli durumda olmakla birlikte, konglomera-kumtaşı birimi alt kesimlerde, silttaşı-kiltaşı birimi orta kesimlerde killi kireçtaşı-marın birimi de üst kesimlerde bulunmaktadır [47].

2.2.4. Karaisalı Formasyonu

Karaisalı formasyonu genellikle beyaz, açık gri, bej renklerde mercanlı, gastropod ve lamelli kavgılı, killi yumrulu ve bazı kesimlerde iyi katmanlı resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Schmidt tarafından “*Karaisalı kalkeri*” olarak adlandırılmıştır. Ancak, daha sonrasında diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Karaisalı formasyonu olarak adlandırmışlardır. Resifal kireçtaşı olan Karaisalı formasyonu genellikle mercan, alg, foraminifer, ekinoderm, mollusk, bryozo, halimeda, annelid gibi resif yapıcı organizmaların matriks ve kalsit ile çimentolanmasından oluşmuştur. Karaisalı formasyonu Miyosen öncesi birimler üzerine uyumsuz olarak, Gildirli Formasyonu üzerine ise geçişli olarak gelmektedir [47, 48].

2.2.5. Güvenç Formasyonu

Güvenç formasyonu içinde iki birim vardır: Killi kireçtaşı-marn birimi ve kilaşı-silttaşıdır. Bu birimler; yeşilimsi gri, gri renkli, beyazımsı-sarı renklerde görülmektedir. Stratigrafik olarak alt bölümlerde killi kireçtaşı-marn, üst kesimlerde ise kilaşı-silttaşı birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon Schmidt tarafından adlandırılmıştır. Kilaşı-silttaşı birimi orta ve üst bölümlerde Kuzgun formasyonu ile geçişli olarak bulunmaktadır. Formasyonun yerleştiği paleocoğrafyanın etkisine bağlı olarak bazı kesimlerde bu sıralamada değişiklikler görülmektedir [48].

2.2.6. Kuzgun Formasyonu

Kuzgun formasyonu dört birimden oluşmuştur. Bunlardan kumtaşı-konglomera formasyonun alt kesimlerinde resifal kireçtaşı ve tüfit orta bölümlerde, kilaşı-marn silttaşı üst bölümlerde egemendir. Bu formasyondaki birimlerin renkleri genellikle sarımsı-beyaz ve yeşilimsi gri-siyah renkler göstermektedir. Orta-Miyosen zamanında deniz seviyesindeki oynamalar yüzünden sığ deniz ve geçiş ortamlarında (kıyı, lagün, delta, gelgit, resif) çökelen birimler sonucunda Kuzgun Formasyonu meydana gelmiştir. Kuzgun Formasyonundaki birimlerden kumtaşı-konglomera ile kilaşı-marn-silttaşı birimidir. Kuzgun Formasyonu alttaki formasyonlar üzerine uyumlu ve geçişli olarak bulunmaktadır. Üst dokanağında ise Handere Formasyonu ile uyumlu ve geçişli olarak bulunmaktadır. Şafak ve Nazik tarafından Tortoniyen-Messiniyen olabileceği belirtilmiştir [45].

2.2.7. Handere Formasyonu

Handere Formasyonu Schmidt tarafından adlandırılmıştır. Beyazımsı, sarımsı, yeşilimsi gri ve siyah renklerde gözlenen bu formasyon dört birimden oluşmaktadır. Bunlar formasyonun alt kesimlerinde bulunan kilaşı-marn-silttaşı, fosilli oolitik kireçtaşı, jips ve üst bölümlerde hâkim olan kumtaşı-konglomera birimleridir. Formasyon alttaki Kuzgun Formasyonu ile uyumlu üstte ise Kuvarterner birimleri ile uyumsuz dokanaktır. Formasyonun yaşı Üst Miyosen Pliyosen olarak belirlenmiştir [48].

2.2.8. Kuvarterner Birimleri

Kuvarterner birimleri oluşurken karasal ve geçiş koşullarının sürdüğü bir dönem oluşan birimler farklı fasiyes özellikleri göstermişlerdir. Bu birimler Kalabriyen-Siciliyen zamanın da oluşan birimler ve Tirreniye-Güncel oluşan birimler olarak ikiye ayrılmışlardır. Kalabriyen-Siciliyen zamanında; alüvyon yelpazesi çökelleri, yüksek seki konglomeraları, kıyı çökelleri ve kaliş, Tirreniye-Güncel de ise; yamaç molozları akarsu seki konglomeraları, delta çökelleri, kıyı çökelleri, kumul ve pedolojik oluşumlar meydana gelmiştir [49].

2.3. Zeminlerde Sıvılaşma

2.3.1. Sıvılaşma Nedir?

Mogami ve Kubo [50] tarafından ortaya atılan zemin sıvılaşması kavramı, en yalın tanımıyla " suya doymun kohezyonsuz gevşek zeminlerin deprem gibi dinamik etkilere bağı olarak gelişen tekrarlı gerilmeler altında gözenek suyu basıncının artması ve buna bağı olarak zeminin makaslama dayanımını yitirmesi" olarak tanımlamışlardır. Youd (1984) ise, sıvılaşma için benzer bir tanımlama yaparak zemin türünü de tanımlamaya dahil etmiş ve sıvılaşmayı "suya doymun kohezyonsuz kum ve kumlu siltlerin tekrarlı gerilmeler altında gözenek suyu basıncının artmasıyla etkin gerilmenin azalması, hatta yitilmesi sonucu makaslama dayanımının kaybedilerek zeminin bir sıvı gibi davranması" şeklinde tanımlamıştır. 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.

Geçmiş depremlere ait kayıtlara göre, Türkiye'deki çoğu depremde sıvılaşmaya rastlanmış olmakla birlikte, 1992 Erzincan depremine kadar bu durumun üzerinde yeterince durulmadığı anlaşılmıştır. Bundan sonraki dört depremde (1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri) zemin sıvılaşması yaygın şekilde gözlenmiş, ancak 1999 Kocaeli depremiyle dikkatleri üzerine çekebilmiştir. Özellikle 1998 Ceyhan Nehri boyunca ve 1999 Kocaeli depreminin merkez üssüne 50 km uzaklıkta olmasına rağmen Adapazarı'nda büyük hasara neden olan bu zemin davranışı, diğer faktörlerle birlikte sıvılaşma olgusunun ve etkilerinin tipik örnekleridir [51].

Sıvılaşma her yerde ve her koşulda meydana gelen bir davranış biçimi olmayıp, belirli yeraltı koşulları altında gerçekleşmektedir. Genellikle genç ve gevşek çökellerin, özellikle kum ve silt tane boyundaki malzemenin depolandığı ve yeraltı suyunun sık olduğu ortamlar, sıvılaşmanın gelişmesi açısından en uygun ortamlardır. Sıvılaşmaya en duyarlı çökeller; Holosen yaşlı delta, akarsu, taşkın ovası, taraça ve kıyı ortamındaki çökeltme süreçleri sonucunda birikmiş çökellerdir. Çünkü bu ortamlarda egemen olan çökeltme süreçleri, tanelerin gevşek halde depolanmasına olanak sağlamaktadır. Sıvılaşma, gerekli koşullarda gerçekleştiği takdirde, yeraltı suyu tablasının yüzeyden itibaren en fazla 10m derinlikte bulunduğu ortamlarda meydana gelmektedir [51].

2.3.2. Sıvılaşma Ölçütleri

Bir zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığını belirleyen etkenler; jeolojik özellikler, zemin bileşimi, gerilim koşulları ve yoğunluk olmak üzere üç başlık altında değerlendirilmektedir.

Jeolojik Özellikler

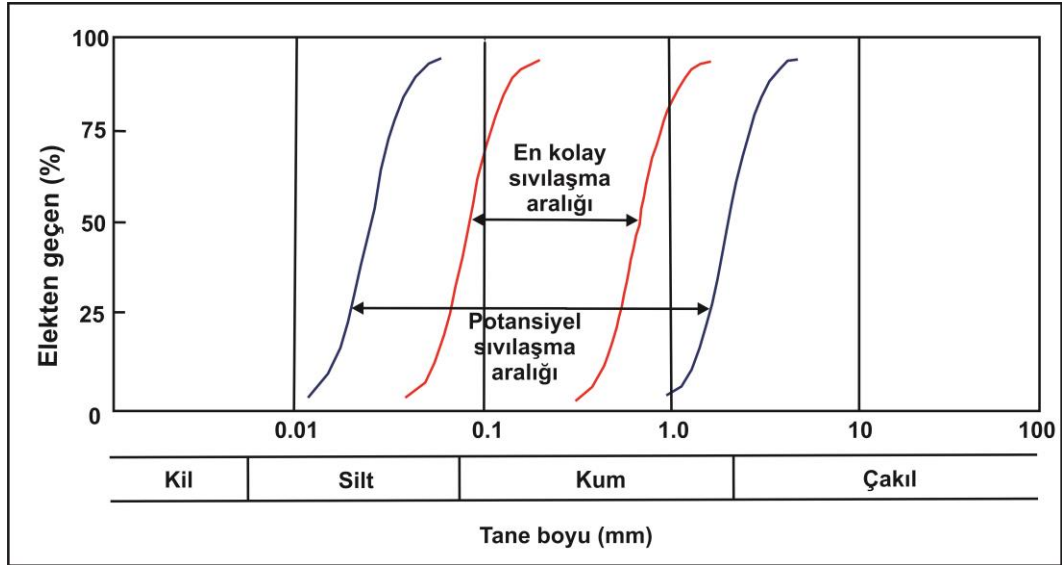
Sıvılaşma genellikle her zeminde ve her koşulda meydana gelmemekle birlikte, birtakım jeolojik ve hidrojeolojik koşullar altında gerçekleşmektedir. Genellikle, jeolojik anlamda genç ve gevşek çökellerin, özellikle kum ve silt tane boyutundaki malzemelerin depolandığı yerlerde gerçekleşmektedir. Hidrojeolojik olarakda yeraltı suyunun sığ olduğu ortamlarda gerçekleşmektedir. Sıvılaşmaya karşı en duyarlı çökeller; Holosen yaşlı (10000 yıldan daha genç) çökeltme süreçleri sonucunda birikmiş sediman ortamlarıdır. Ayrıca, yol ve baraj çalışmalarında inşa edilen ince taneli ve iyi sıkıştırılmamış dolguların yanı sıra, suyla birlikte atık barajlarına akıtılarak biriktirilen çok ince malzemeden oluşan maden atıkları da sıvılaşmaya karşı duyarlı olan malzemelerdir. Sıvılaşma, diğer jeolojik koşullarda gerçekleştiği zaman, yeraltı suyu tablasının yüzeyden itibaren en fazla 10 m derinlikte bulunduğu ortamlarda yaygın şekilde meydana gelebilmektedir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Adapazarı (1999) depremi sonrasında görünüm [51]

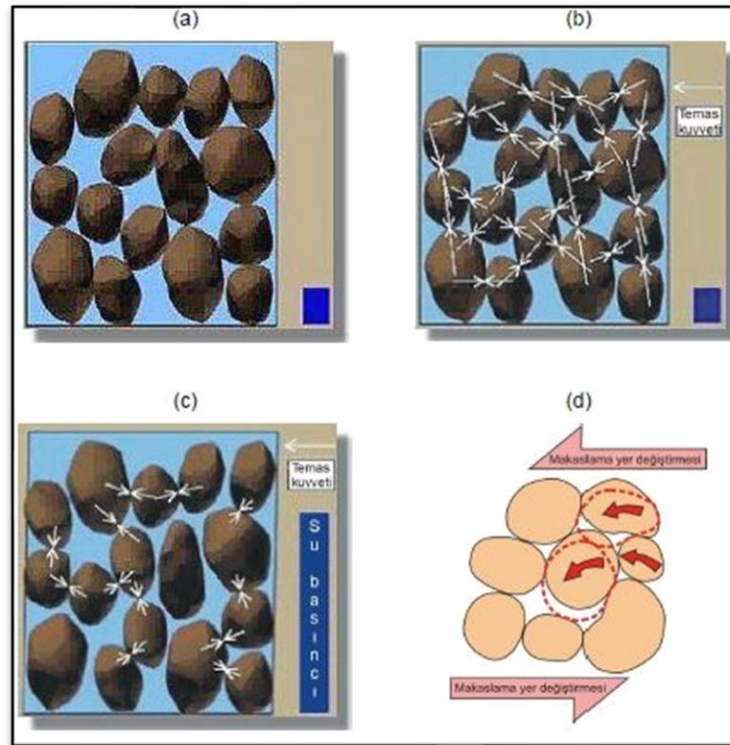
Zemin Bileşimi

Bir zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, zemini oluşturan tanelerin boyutlarına, zemin türüne, ve tanelerin şekline bağlıdır. Hemen hemen benzer boyutlarda tanelerden oluşan zeminler (kötü derecelenmiş), değişik boyuttaki tanelerin yaklaşık olarak aynı miktarda birlikte bulunduğu zeminlere göre (iyi derecelenmiş) çok daha yüksek bir sıvılaşma potansiyeline sahiptir. Çünkü iyi derecelenmiş zeminlerde iri tanelerin arasını dolduran daha küçük boyutlu taneler, deprem sırasında aşırı gözenek suyu basınçlarının gelişmesini engellemekte, dolayısıyla sıvılaşma riskini azaltmaktadır. Zeminlerin tane boyu dağılımı açısından sıvılaşma potansiyeline sahip olup olmadıkları, zemini oluşturan tanelerin boyutları esas alınarak, elek ve hidrometre analizi gibi laboratuvar deneyleri ile belirlenmektedir. Tane boyu açısından en kolay sıvılaşabilen zeminler ile sıvılaşmaya en yatkın zeminlerin kum ve siltli kumlar oldukları görülmektedir (Şekil 2.4.).



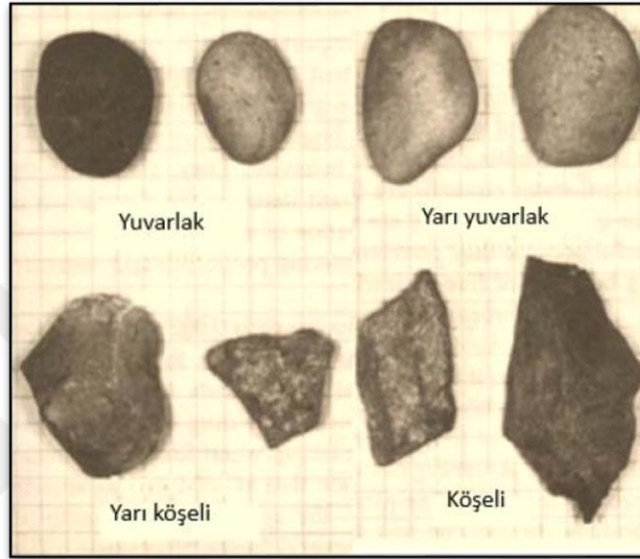
Şekil 2.4. Tane boyu açısından sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri

Sıvılaşma, diğer zemin türlerine oranla, genellikle kumlu zeminlerde çok daha kolay gelişebilen bir davranış biçimi olmakla birlikte, 1995 Hyogo-ken Nanbu (Japonya) depreminde küçük çakıllı ve killi zeminlerde de gözlenmiştir. Killi zeminlerde karşılaşılan sıvılaşma davranışı, kilin muhtemelen deprem sırasında yumuşayarak sıvılaşan kumla birlikte yükselip yüzeye çıktığı şeklinde açıklanmaktadır [52]. Ancak, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi için kullanılan ve arazi deneylerini esas alan mevcut analiz yöntemleri, killerde ve çakıllarda gözlenen sıvılaşma davranışının tahmin edilmesine yetersiz kalmaktadır (Şekil 2.5.) [53].



Şekil 2.5. (a) Zemin tanelerinin deprem öncesi görünümü, (b) zemin taneleri arasında etkiyen temas kuvvetleri, (c) boşluk basıncının ani artışıyla temasın yitimi, (d) depremin neden olduğu makaslama yer değiştirmesiyle zemin tanelerinde sıvılaşma sürecinin gelişimi [54].

Zemini oluşturan tanelerin şekli de sıvılaşma duyarlılığı üzerinde etkili bir parametredir. Yuvarlak tanelerden oluşan zeminler, köşeli taneleri içeren zeminlere oranla daha kolay sıkışma (bir araya gelme) eğilimi gösterdikleri için bu tür zeminlerin sıvılaşma potansiyeli daha yüksektir (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Zemini oluşturan tane şekilleri [54]

Gerilim Koşulları ve Yoğunluk

Jeolojik koşullar ve zemin bileşimi ölçütleri sağlansa bile, zeminler sıvılaşmaya karşı duyarlı olmayabilir. Çünkü sıvılaşma duyarlılığı, aynı zamanda zeminin deprem sırasında etkisi altında bulunduğu gerilim koşullarına ve yoğunluğuna (sıkılığına) da bağlıdır. Uzun süreli gerilim koşullarının etkisinde kalmış bir zeminde taneler arasındaki bağlanma bozulabileceği gibi, rölatif yoğunluğu %47'nin altında olan zeminler daha gevşek bir konumda bulunacakları için sıvılaşmaya daha yatkındır.

2.3.3. Sıvılaşmadan Kaynaklı Yapı Hasarları

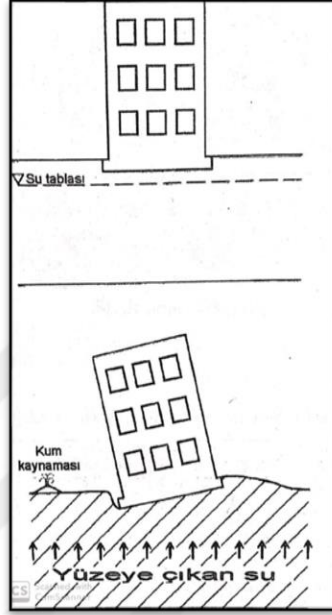
Sıvılaşmanın zeminlerdeki etkileri birbirlerine benzer olduğu için ayırt edilmesi zor olduğu gibi, oluşum mekanizmaları da farklıdır. Bu etkileri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Zeminin taşıma gücünü yitirmesi
- Zeminin oturması
- Zeminin salınımı
- Yanal yayılma

- Akma türü kayma

Zeminin Taşıma Gücünü Yitirmesi

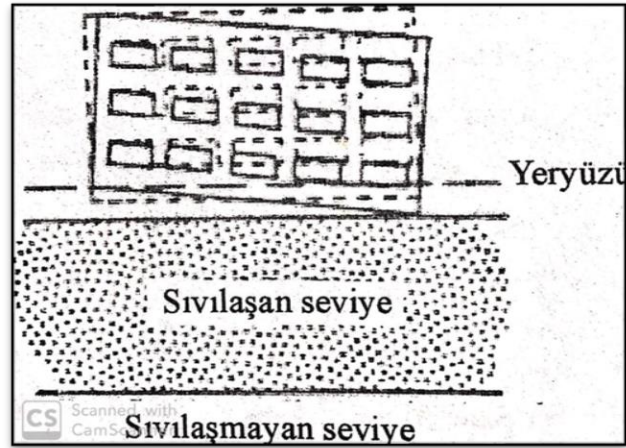
Mühendislik yapılarını taşıyan zemin, sıvılaştığı zaman taşıma gücünü kaybederek deformasyona uğramaktadır. Sıvılaştıran kum yüzeye doğru yükselirken, zemin; üzerindeki yüklerden dolayı dayanımını yitireceği için yükleri taşıyamaz hale gelir. Bu gelişmeye bağlı olarak, zemin üzerindeki yapılar da öne veya geriye doğru yatar (Şekil 2.7.) [55].



Şekil 2.7. Sıvılaşmaya bağlı olarak zeminin taşıma gücünü yitirmesi [55]

Zeminin Oturması

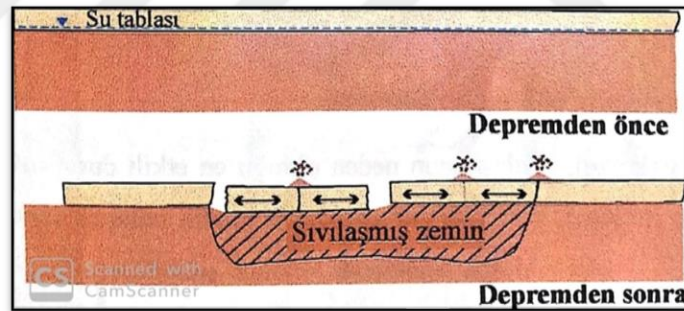
Sıvılaşma sırasında zemin tanelerinin gösterdikleri bir araya gelme eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi, yüzeyde oturma şeklinde bir deformasyona (düşey yönde yer değiştirme) neden olabilmektedir. (Şekil 2.8.). Bu koşullarda zeminde gelişen oturma yerdeğiştirmesi zeminin üzerindeki yapıya da yansıyarak, yapının zemine batmasına neden olmaktadır [51].



Şekil 2.8. Sıvılaştıran bir zemin üzerinde inşa edilmiş bir binada oturma [51]

Zeminin Salınımı

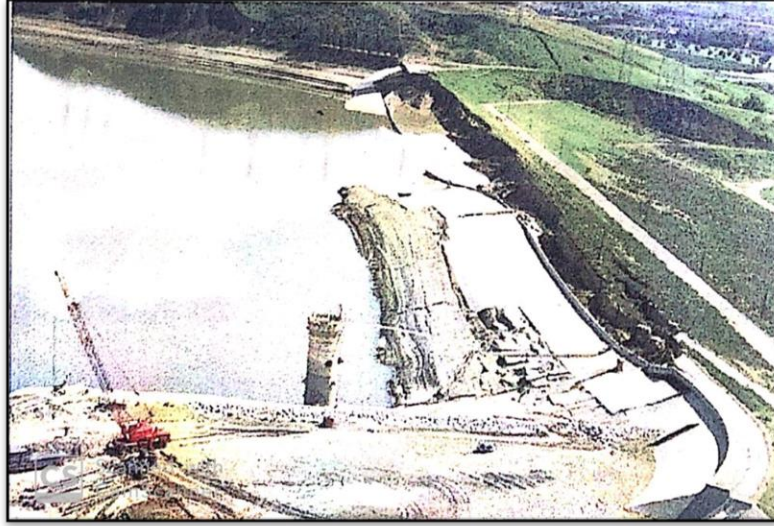
Bu davranış biçimi, sıvılaşmanın yamaç eğiminin son derece az ve dolayısıyla yanal yönde bir değiştirmenin mümkün olduğu alanlarda gelişmesi halinde gözlenebilir. Sıvılaşma, yüzeye yakın derinlikteki yerinin bloklara ayrılmasına ve bu blokların ileriye ve geriye sürüklenmesine yol açmaktadır (Şekil 2.9.). Bu sürüklenme, deprem dalgaları gibi titreşimler yaratır. Titreşimle birlikte fisür veya çatlaklarda açılıp kapanmalar ve yerinde oturmalar meydana gelerek; yapılar, boru hatları ve yerin gömülü diğer alt yapı elemanları ciddi hasarlara maruz kalabilirler [51].



Şekil 2.9. Zemin salınım mekanizması [51]

Yanal Yayılma

Sıvılaşma sırasında, sıvılaştıran seviyenin üzerine kalan zemin geniş bloklara ayrılır ve bloklar yanal yönde bir hareket gerçekleştirirler. Bu hareket, depremden kaynaklanan yerçekimi kuvvetleri ve içsel kuvvetlerin birlikte etkimesiyle meydana gelmektedir. Bu tür zemin duraysızlığı, genellikle eğimi son derece düşük olan yamaçlar boyunca ve nehir yatağı, göl veya deniz kıyısı gibi harekete engel olmayacak serbest yüzeylere doğru gelişmektedir. Yatay yöndeki bu hareket, birkaç metreden onlarca metreye kadar ulaşabilir. Hareket sırasında zemin ötelenir, bloklara ayrılır ve buna bağlı olarak zeminde fisürler, kırıklar, küçük çöküntüler ve yükselmeler meydana gelir (Şekil 2.10.) [51].



Şekil 2.10. Yanal yayılmaya tipik bir örnek; San Fernando Barajı (1971 San Fernando depremi) [51]

Yanal yayılmaya maruz kalan yerlerdeki yapı temelleri, atık su şebekeleri ve boru hatları ile diğer alt yapı elemanları hasar görürler veya eklem yerlerinden koparlar. Ayrıca, kaymanın topuk bölgesindeki yapılar sıkışır ve bükülürler. Dolayısıyla, yanal yayılmanın neden olduğu hasarlar, yerin üzerindeki yapılaşmanın yoğunluğuna da bağlı olarak, afet düzeyine ulaşabilmektedir [51].

Akma Türü Kayma

Bu tür yer hareketleri, sıvılaşmanın neden olduğu en etkili duraysızlıklardır. Akma sırasında çok geniş yer kütleleri, çok kısa bir sürede ve saatte onlarca kilometreye ulaşan bir hızla, eğimli yüzeyler boyunca onlarca kilometre hareket etmektedirler. Akma, tamamen sıvılaşmış bir yerde gelişebileceği gibi sıvılaşan yerin üzerinde yer alan daha sert bir malzemeye ait blokların hareket etmesiyle de meydana gelebilir (Şekil 2.11.). Bu tür hareketler eğimi 3 dereceden daha büyük olan yamaçlar boyunca, gevşek ve suya doymun kumlar veya siltli kumlardan ileri gelmektedir [51].



Şekil 2.11. Akma kaymasına tipik bir örnek 1999 Kocaeli depremi [51]

2.3.4. Sıvılaşmayı Etkileyen Faktörler

Sıvılaşmayı etkileyen faktörler ikiye ayrılabilir. Bunlardan birincisi depremden kaynaklanan faktörler; Kayma dalgası (S dalga) hızı, depremin ivmesi, depremin magnitüdü'dür. İkincisi zemin kaynaklı faktörler; yeraltı su seviyesi, su içeriği, gözeneklilik, geçirgenlik, ortalama tane çapı, bağıl sıklık ve likit limitdir.

Kayma Dalga Hızı

S dalga hızı arttıkça risk azalmaktadır. S dalgası suda ilerlemediğinden S dalgası yeraltındaki yapının su içeriği hakkında bilgi vermektedir. S dalga hızının yüksek olması su içeriğinin olmadığını göstermektedir [56, 57].

İvme

İvme depremin en can alıcı noktasıdır, çünkü ivme büyüdükçe hasarlar ve kayıplar anormal bir şekilde artmaktadır. İvme kuvvetinin artmasıyla tanelerin yer değiştirmesi ve yeraltı suyunun transfer hızı artarak sıvılaşmaya çok büyük bir etken olarak katılmaktadır [56, 57].

Depremin Magnitüdü

Depremin magnitüdü depremden çıkan enerji ile belirtildiğinden büyük bir depremden çıkan enerji de büyük olacaktır. Yani sarsıntı fazla olacaktır. Sarsıntı sıvılaşma sırasında önemli olduğundan sıvılaşma etkisini arttıracaktır. Tanelerin yer değiştirmesi ve suyun dolaşımı artacaktır. Dolayısıyla depremin magnitüdü sıvılaşmayla doğrudan ilgili bir parametredir [56, 57].

Yeraltısı Seviyesi ve Su İçeriği

Yeraltısı seviyesinin yüzeye yakın olması ve depremlerin çok ani ve kısa olması taneler arasındaki suyun kaçması için yeterli bir süre olmadığından, ortamdan uzaklaşamayan gözenek suyu basıncını aniden arttırmaktadır. Gözenek suyu basıncındaki bu ani artış, yerin tanelerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri birbirinden uzaklaştırır ve böylece zemin dayanımını kaybeder. Bu koşullar altında zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı davranış yerine, bir sıvı gibi davranarak su ile birlikte yüzeye doğru hareket eder ve yüzeyden çıkmaya başlar [56, 57].

Gözeneklilik

Gözeneklilik taneler arasındaki boşluk oranıdır. Gözenekliliğin artması sıvılaşma riskini artırır. Çünkü tanelerin yer değiştirmelerini kolaylaştırdığı gibi yeraltı suyunun dolaşımını da kolaylaştırır [56,57].

Geçirgenlik

Geçirgenlik, gözenekli malzemenin suyu geçirme kapasitesidir. Geçirgenlik arttıkça sıvılaşma riski artar. Çünkü malzeme içinde su dolaşımı artacak ve yer katı halini bırakarak üzerindeki malzemeyi taşıyamaz duruma gelecek yani duraysızlaşacaktır [56, 57].

Ortalama Tane Çapı

En kolay sıvılaşabilen kumların ortalama tane çapı 0,2 mm civarında olduğu söylenebilir. Tane boyu açısından en kolay sıvılaşabilen zeminler ve sıvılaşmaya en yatkın zeminler, kum ve siltli kumlar oldukları görülmektedir.

Bağıl Sıklık

Bağıl sıklık, zemin altındaki katmanların ne kadar sıkı olduğunu yüzde cinsinden veren bir parametredir. Sıvılaşmadaki rolü ise; bağıl sıklık yüzdesinin düşük olması taneler arasındaki boşluk derecesinin o kadar yüksek olduğunu belirtir. Bu da deprem sırasında mevcut olan yeraltı suyunun taneler arasına girmesine ve zeminin sıvı gibi davranmasına neden olur [56, 57].

2.4. Arazi ve Laboratuvar Deneyleri

2.4.1. Arazi Deneyleri

Arazi deneyleri, zemin doğal yapısında iken zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır. Büyük alanlarda yapılan deneylerde ölçek etkisine mutlaka dikkat edilmelidir. Yüzeyden yapılan deneylerde istenilen derinliğe ve sürekli tanımlama yapma imkânı da sağlar. Fakat sismik deneylerde aktiviteyi benzetmek zor olduğu için sıvılaşma potansiyelini belirlemek için

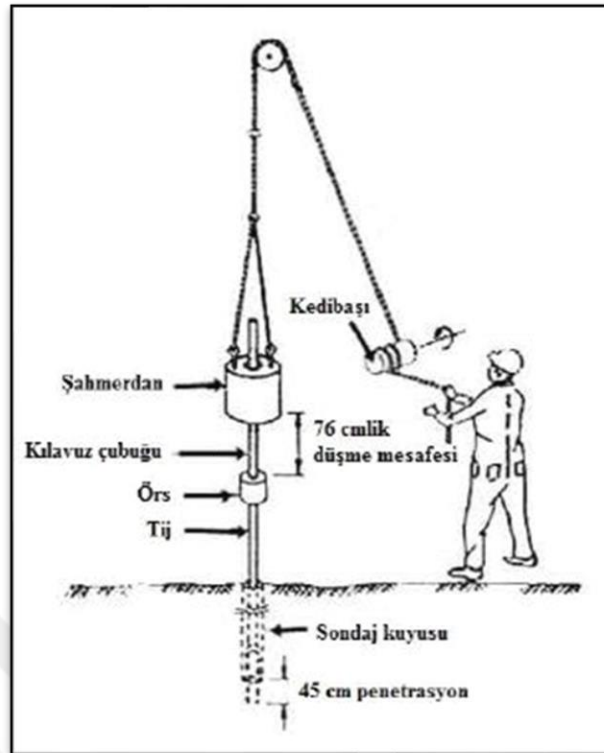
kullanılan deneylerde sıvılaşma dayanımı ile ilgili parametrelere ulaşamaz. Değerlendirme kriterlerine ulaşmak için sıvılaşmanın meydana geldiği bölgelerdeki geçmiş depremler incelenerek deneysel bağıntılar geliştirilmiştir [58].

Arazi deneyleri sayesinde zeminlerdeki sıvılaşma durumunu tahmin etmek mümkündür. Zeminlerdeki sıvılaşma durumunu belirlemek amacıyla yapılan bazı arazi deneylerini şu şekilde sıralıyabiliriz: Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Konik Penetrasyon Deneyi (CPT), Kanatlı Kesici Deneyi, Dilatometre ve Prsiyometre deneyidir. Ayrıca, jeofizik yöntemler de sıvılaşma analizlerinde kullanılan yöntemler arasındadır.

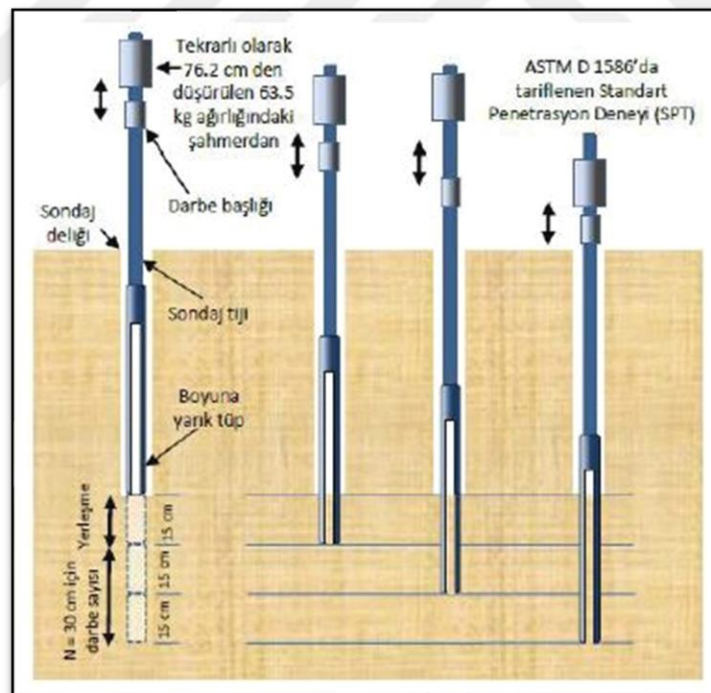
2.4.1.1. Standart Penetrasyon Deneyi

SPT'yi kısaca tanımlayacak olursak; 63,5 kg ağırlığındaki bir şahmerdan 7,6 cm' lik bir yükseklikten tijlerin üzerindeki örsün üzerine düşürülmesi ile standart bir örnek alıcının zemin içerisine 45 cm girmesi için gereken darbe sayısının belirlenmesidir. Şahmerdan 7,6 cm yükseklikten düşürülerek tüpün her 15 cm'lik bir ilerlemesini sağlayacak vuruş sayısı kaydedilir (Şekil 2.12.). İlk 15 cm'lik ilerleme kuyu tabanındaki sondaj işlemi sırasında oluşan örselenme sebebiyle fazla dikkate alınmaz [60].

Bundan sonraki 15 cm'lik ilerlemelerden kaydedilen vuruş sayılarının toplamı SPT-N darbe sayısı olarak tanımlanır. SPT-N darbe sayısı yapı temellerinin taşıma gücünü hesaplamada, kumlu zeminlerde inşa edilen temellerin oturma miktarının belirlenmesinde ve sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır (Şekil 2.13.) [61, 62].



Şekil 2.12. SPT'nin yapılışı [63]



Şekil 2.13. SPT'nin aşamaları [64]

Standart Penetrasyon Deneyinde Yapılan Düzeltmeler

Standart Penetrasyon deneyi sonucu elde edilen sonuçların doğru bir şekilde yorumlanması için, deney yapılırken kullanılan ekipmanlar ve deneyi yapan kişilerin bu konudaki bilgisi son derece önemlidir.

Deneyin yapılma durumunda iken farklı deney ekipmanları kullanılmasından dolayı SPT-N değeri hesaplanırken bazı düzeltme faktörleri gerekebilir. Deney yöntemlerindeki hatalar, ölçülen N değerini $(N_1)_{60}$ 'a dönüştürerek gerçeğe daha yakın bir değer elde edilmeye çalışılır [65].

N_{60} değeri; $(N_1)_{60} = C_N \cdot E_R \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R \cdot N$ formülü ile hesaplanır.

Derinlik Düzeltme Faktörü

Farklı yeraltı seviyelerinden elde edilen SPT değerlerini karşılaştırmak amacıyla SPT-N değeri 100 kPa'lık standart bir üst tabaka gerilmesine uygun şekilde uyarlanmalıdır. Bu değerlere yakın bir kum tabakasında diğerine göre daha alçak seviyelerde yapılan uygulamanın sonucu daha derin seviyede yapılan uygulamaya göre biraz daha düşük bir sonuç verecektir. SPT-N, C_N değeri ile çarpılarak çevre basıncı düzeltilmeye yani dengelenmeye çalışılır (Tablo 2.2.). Gerilimin 100 kPa'dan da düşük bulunan yerlerde derinlik düzeltme faktörü uygulanmaz [66].

Tablo 2.1. Yük düzeltme faktörü [67].

Değişkenler		Düzeltilme Faktörü				
		Semboller	Skempton [67]	Robertson -Wride [67]	McGregor-Duncan [67]	Bowles [67]
Tij Uzunluğu;	>30 m 10-30 m 6-10 m 4-6 m 3-4 m 0-3	C_R	1 1 0,95 0,85 0,75 0,75	< 1 1 0,95 0,85 0,75 -	1 1 1 1 1 0,75	1 1 0,95 0,85 0,75 0,75
Tüp	Astar olmayan örnek alıcı kullanılmış ise; standart tüp örnek alıcı Gevşek kum Sıkı kum ve kil	C_S	1,2 1 1	1,1-1,3 1 1	- - -	1,0 0,9 0,8
Delgi Çapı	60-120 mm 150 mm 200 mm	C_B	1 1,05 1,15	1 1,05 1,15	- - -	1 1,05 1,15
Darbe Vuruş Hızı	20'den az ve 10-20 darbe/ dk 20'den fazla ve darbe/ dk	C_{BF}	- -	- -	0,95 1,05	- -

Enerji Oranları ve Şahmerdan Verimleri

SPT deneyleri yapılırken her deney sonunda yapılan enerji ölçümlerinden elde edilen verilere göre her deney sırasında ortaya çıkan enerji miktarları farklı olabileceği ortaya çıkarılmıştır. Bu sebepten dolayı SPT değerlerine enerji düzeltmesi mutlaka uygulanmalıdır (Tablo 2.3.). Enerji kayıplarına neden olabilecek başlıca etkenleri şu şekilde sıralayabiliriz: [65]

- Tij ve şahmerdan ağırlığından dolayı sönmölen enerji
- Şahmerdanın örsö çarpmasından dolayı ortaya çıkan ısı ve ses enerjisi
- Şahmerdanın düşürölmesinden dolayı tijlerde oluşşan eğilmeler
- Farklı şahmerdanların parçalarından dolayı halatların sürtündüğü yüzeylerdeki enerji kayıpları

Tablo 2.2. Şahmerdan tipleri ve enerji oranları [68]

Ölke	Şahmerdan Tipi	Düşme Mekanizması	Şahmerdan Verimi(E_m) %
Arjantin	Donut	Kedibaşı	45
Brezilya	İğneli Ağırlık	Elle Bırakmalı	72
Çin	Otomatik	Serbest Bırakma	60
	Donut	Elle Bırakmalı	55
	Donut	Kedibaşı	50
Kolambiya	Donut	Kedibaşı	50
Japonya	Donut	Tombi Trigger	78-85
	Donut	Kedibaşında 2 Tur + Özel Bırakma	65-67
İngiltere	Otomatik	Serbest Bırakma (Trip)	73
ABD	Emniyetli	Kedibaşında 2 Tur	55-60
	Donut	Kedibaşında 2 Tur	45
Venezüella	Donut	Kedibaşı	43

Tij Düzeltme Faktörü

Tijlerin uc kısımlarına eklenen örnek alıcılar bağlandığı yerden itibaren eklenen tijlerin boyları da enerji aktarımına etki etmektedir (Tablo 2.4.). Farklı kişiler tarafından önerilen düzeltmeler aşğıdaki gibidir:

Tablo 2.3. Tij düzeltme faktörü [66]

Tij Uzunluğu (m)	C_R		
	Seed ve diğ. [66]	Skempton [66]	Youd ve Idriss [66]
<3	0,75	-	-
3-4	1	0,75	0,75
4-6	1	0,85	0,85
6-9	1	0,95	0,95
>9	1	1	-
9-30	-	-	1
>30	-	-	<1

2.4.2. Laboratuvar Deneyleri

Bu tez çalışmasında, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla zemin tanımlanması ve sınıflandırılması yapılmıştır. Zeminlerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler, zemin mekaniği laboratuvarında örselenmemiş ve örselenmiş zemin numuneleri üzerinde ASTM [59] standartlarına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Genel anlamıyla bir zemini tanımlamak ve sınıflandırmak amacıyla yapılan deneyler şu şekildedir: su içeriği, özgül ağırlık, hidrometre deneyi, elek analizi ve atterberg limitleri (plastik limit, likit limit) dir.

2.4.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Bir nesnenin hacminin ağırlığına o nesnenin birim hacim ağırlığı denir. Zeminin bulunduğu koşullara göre doğal, kuru, doymuş şekilde farklı yollardan da hesaplanabilir. Bu deney genellikle kohezyonlu zeminlerin doğal birim hacim değerlerini ortaya koymak içindir. Kısaca deneyden bahsedecek olursak; terazi (0,01 g hassasiyete sahip) ve örnek kabı gerekmektedir. Hacmi bilinen bir kesici kalıpla örselenmemiş kohezyonlu zemin terazide tartılır (W). Örneğin ağırlığının bütün hacme oranı doğal birim hacim ağırlığı verir.

$$\gamma = W_{\text{bütün}} / V_{\text{bütün}} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (2.1)$$

2.4.2.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık (G_s); tane birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 2.5). Özgül ağırlığın belirlenmesinde, iri taneli zeminler için yaklaşık 1 lt'lik kavanoz biçimli cam şişeler; ince taneli zeminler için ise daha küçük hacimli (50-100 cm³) piknometre adı verilen cam şişeler kullanılmaktadır.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.2)$$

Eşitlikteki γ_s , tane birim hacim ağırlığı ve γ_w ise suyun birim hacim ağırlığıdır.

2.4.2.3. Su/Nem İçeriği Deneyi

Su içeriği, zemin içerisindeki boşluk ve su miktarının zeminin ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Deneyden kısaca bahsetmek gerekirse; deneyde kullanılan malzemeler etüv, terazi, numune kabı ve desikatördür. Deneyde ilk olarak numune kabı kuru ve temiz bir şekilde tartılır. Numune kaba koyulduktan sonra tekrar tartılır ve 24 saat etüv de kurumaya bırakılır. 24 saat sonra numune çıkarılır ve desikatörde soğumaya bırakılır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$W = (W_2 - W_3 / W_3 - W_1) * 100(\%)$$

W = Nem İçeriği

W₁ = Kap Ağırlığı (gr)

W₂ = Kap + Yaş Numune Ağırlığı (gr)

W₃ = Kap + Kuru Numune Ağırlığı (gr) (2.3)

2.4.2.4. Tane Boyu Dağılım Analizi Deneyi

Zemini oluşturan tanelerin boyutlarını ve dağılımlarını belirlemek amacıyla yapılan deneye tane boyu dağılım analizi denilmektedir. Zemini oluşturan tanelerin dağılımına bakılarak zeminler iyi derecelenmiş ve kötü derecelenmiş olarak ikiye ayrılır. Zemin tanelerini ayırmak ve dağılımlarını bilmek zeminin mühendislik özellikleri hakkında da bilgiler edinmemizi sağlar. Bu deneyde tane çapları 76,2-0,075 mm arasındaki zemin örneklerine elek analizi, 0,075 mm'den daha küçük tane çapına sahip olan zeminlere ise hidrometre analizi yapılmaktadır. Zemin üzerinde yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla yarı logaritmik analiz kâğıdı üzerinde "tane boyu dağılım eğrisi" çizilir. Elde ettiğimiz bu eğriden bir zemin içerisindeki çakıl, kum, kil ve silt miktarlarını öğrenebilir ve bu değerler ile zemin sınıflaması da yapılmaktadır. Deneyden kısaca bahsedecek olursak; farklı tane çaplarına sahip elekler üst üste yerleştirilerek eleklerin en üstünden zemin malzemesi dökülür ve elekleri sarsmaya başlanmaktadır. Bu sarsma işlemi elle veya elek sarsma makinesi yardımıyla da yapılabilir. Bu sayede zeminler tane boyuna göre ayrılmış olur ve eleklerin en altında bulunan kaptaki biriken ince tane çapına sahip malzemeye de hidrometre analizi yapılır. Bu deneylerde genellikle ASTM standartlarına uygun elekler kullanılır (Tablo 2.5.). ASTM standartlarına [59] göre uygun elek numaraları ve açıklıkları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Buradaki elek numaraları 1 inçkarelik alanda kaç adet delik bulunduğunu gösterir.

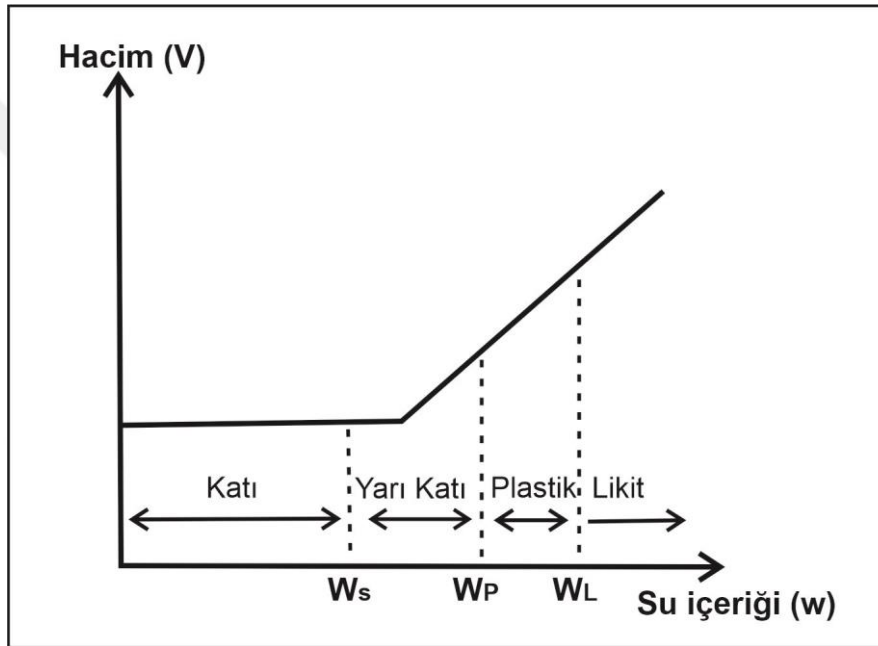
Tablo 2.4. ASTM Standartlarına Göre Elek Aralıkları [59]

Elek No	Elek Açıklığı (mm)
4	4,75
10	2,00
20	0,85

40	0,425
60	0,250
100	0,150
140	0,106
200	0,075

2.4.2.5. Atterberg Limitleri

Atterberg tarafından yapılan deneysel çalışmalarında zeminlerin farklı su içeriklerinde farklı davranışlar sergilediğini ortaya çıkarmıştır. Bu yüzden kıvam limitlerine "atterberg limitleri" de denilmektedir. Kohezyonlu zeminlerin kuruma sırasındaki hacim değişikliklerine (katı, yarı katı, plastik ve likit) kıvam limitleri denilmektedir (Şekil 2.14.).



Şekil 2.14. Kohezyonlu zeminlerin kuruma sırasındaki hacim değişimi ve kıvam sınırları [69]

Atterberg sınırları başlıca 3 sınırla tanımlanmış olup bu sınırlar aşağıdaki gibidir. Zemin su içeriğindeki azalmalara bağlı olarak Şekil 2.16.'de tarif edilen değişimler meydana gelmektedir.

- Likit Limit
- Plastik Limit
- Rötire (Büzülme) Limiti

Likit Limit (LL)

Likit limit deneyindeki amaç; zemin tanelerinin değişen su miktarına bağlı olarak zeminin göstereceği davranıştır. Yani kısacası zeminin plastik halden katı hale geçerken ki su içeriğidir. Bu deneyde genellikle cassagrande yöntemi kullanılır. Cassagrande [70] deneyinde kaba

yerleştirilen zemin malzemesinde standartlara uyularak açılan bir oyukun 25 vuruşta kapanması için gereken su içeriğini belirlemektir.

Plastik Limit (PL)

Bu deneyde amaç plastik kıvamda olan bir zemin numunesinin içerdiği su miktarının belirlenmesidir. Kısaca açıklayacak olursak; plastik kıvamdaki bir zemin örneğinin 3 mm çapındaki silindirik çubuklar haline gelene kadar yuvarlandığında yüzeyinde oluşan çatlamlar veya kopmalar olduğu andaki su içeriğidir.

2.4.2.6. Tekrarlı Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminlerin dinamik yükleme şartlarında davranışlarını saptamak için kullanılan en yaygın yöntem tekrarlı üç eksenli deneydir. Bu deneyler genellikle tekrar frekansı 1 Hz. olan eksenel gerilme ve sabit radyal gerilme şartlarında gerçekleştirilmektedir [71].

Alınan kum örneği, çevre basıncı altında deneye tabi tutulmaktadır ve konsolidasyon sırasında drenaja izin verilmektedir. Sonrasında ise kum örneğine tekrarlı eksenel düşey basınç uygulanarak örnek deformasyona zorlanır. Tekrarlı yükleme süresince eksenel deformasyon ve aşırı boşluk suyu basıncı, uygulanan σ_d tekrarlı gerilmesinin devri ile ölçülmektedir. Yapılan ölçümlerde çevre basıncının (σ'_c) boşluk suyu basıncına eşitlenmiş olduğu zaman belirlenir. İki basıncın birbirine eşitlendiği durumda zemindeki taneler sıvı gibi davranmaya başlar ve bunun sonucunda da sıvılaşma meydana gelmektedir. Bu ana karşılık gelen eksenel deformasyon ile birlikte σ_d tekrarlı gerilmesinin devri kaydedilmektedir. Bu işlemler tekrarlı gerilme oranını belirlemek için uygulanır. Böylece, tekrarlı yüklemeye maruz kalan zemin tabakasında hangi devirde sıvılaşma olayının olduğu tespit edilmiş olmaktadır [71].

2.4.2.7. Tekrarlı Basit Kesme Kutusu Deneyi

Deneyde, arazide oluşmuş olan deprem yüklerine benzer sonuçlar elde edilmektedir. Deney; suya doymuş olan kum örneğine, düşey yönde toplam gerilmenin drenaja müsaade edilerek uygulanması ile zemin örneğinin konsolide edilmesi daha sonra da tekrarlı kayma gerilmesinin (τ_d) zemin örneğine drenajsız durumda uygulanması şeklinde yapılmaktadır [71].

Tekrarlı yükleme süresi boyunca boşluk suyu basıncındaki artış ve eksenel deformasyon, yatay yönde uygulanan tekrarlı kayma gerilmesinin devri ile ölçülmektedir. Sıvılaşmaya sebep olan gerilme devri, uygulanan kayma gerilmesi ve başlangıç efektif gerilme değerlerinin büyüklüklerine bağlı olarak değişmektedir [71].

2.5. Sıvılaşma Analiz Yöntemleri

Deprem riski yüksek olan bölgelerde yer alan drenajsız, suya doymun gevşek taneli zeminlerde sıvılaşma potansiyeli oldukça yüksektir. Şimdiye kadar birçok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmalar yapmış ve çalışmalar sonucunda arazi ve laboratuvar deneylerini esas alan farklı görgül yöntemler önermişlerdir. Sıvılaşma analizlerinde laboratuvar deneylerinin fazla zaman alması ve araziden örselenmemiş örnek alma sorunlarından dolayı analizlerde genellikle arazi deneyleri tercih edilmektedir. Arazi deneyleri içerisinde ise en çok tercih edilen yöntemler Koni Penetrasyon Testi ve Standart Penetrasyon Testi'dir. Bunlara ek olarak Kayma Dalga Hızı (V_s) da tercih edilen diğer bir sıvılaşma analiz yöntemidir.

Arazi testlerine göre yapılan sıvılaşma analizleri aşağıda gruplar halinde verilmiştir.

- SPT 'ye göre sıvılaşma analizi
 - Seed ve Idriss [72]
 - Tokimatsu ve Yoshimi [73]
 - Iwasaki vd. [74]
- CPT'ye göre sıvılaşma analizi
 - Seed ve De Alba [75]
 - Suzuki vd. [76]
 - Robertson ve Wride [4]
- V_s (kayma dalga hızı)'ye göre sıvılaşma analizi [4]

Zeminlerin sıvılaşma risk değerlerinin belirlenebilmesi için iki farklı değişkenin hesaplanması gerekmektedir [4].

Bunlar:

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),
- Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Sıvılaşma, deprem nedeniyle zeminde bulunan taneler arası basıncın sıvılaşma direncini aştığı durumlarda meydana görülmektedir. Bu ifade aşağıdaki eşitlikle anlatılmaktadır.

$$EF = (DDO/DGO) *MDF$$

Burada,

EF =Emniyet faktörü,

DDO = Devirsel direnç oranı,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı,

MDF =Magnitüd düzeltme faktörüdür.

Seed ve Idriss [72] kendi çalışmalarını daha da ileriye taşımak için sivilaşma üzerine çalışmalarına devam etmişlerdir. 1982 yılında sivilaşmanın yüzeye etki ettiği ya da yüzeyde sivilaşma etkileri görülmeyen birkaç bölgede SPT-N değerlerini ölçmüşler ve aynı zamanda bölgede meydana gelen 7,5 büyüklüğündeki depremleri de kaydetmişlerdir. Araştırmalar neticesinde büyüklüğü 7,5'ten farklı olan depremler için bir düzeltme önermişlerdir. Youd vd. [77] ve Seed vd. [72] tarafından önerilen magnitüd düzeltmesini yeniden düzenleyerek aşağıdaki eşitliği bulmuşlardır [78].

$$MDF = 10^{2,24} / M^{2,56} \quad (2.4)$$

Burada;

MDF =Magnitüd düzeltme faktörü,

M =Deprem büyüklüğü.

Sivilaşma analizleri yapılırken en çok kullanılan arazi deneyi SPT'dir. SPT sonuçlarının kolay elde edilmesi ve geçmişte meydana gelmiş depremlerden elde edilmiş verilerden hazırlanan veri tabanının olması ve bu verilerin meydana gelebilecek yeni depremlerle kolay korele edilebilmesi nedeni ile bölgenin sivilaşma risklerinin hesaplanmasında SPT yaygın olarak kullanılan bir arazi deneyi olarak önem kazanmaktadır [79]. Bu çalışmada sivilaşma potansiyeli analizleri için kullanılan girdi parametreleri SPT deneylerinden elde edilmiştir.

2.5.1. Seed ve Idriss Yöntemi

Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması

Seed ve Idriss [72] tarafından önerilen yöntemle göre DGO aşağıdaki eşitlik ile bulunabilmektedir:

$$DGO = 0,65 \frac{a_{maks}}{g} * \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (2.5)$$

Burada;

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı,

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi,

g =Yerçekimi ivmesi,

σ_{vo} =Düşey toplam gerilme,

σ'_{vo} =Düşey efektif gerilme,

r_d =Gerilme azaltma katsayısıdır.

Zemin yüzeyine etki eden maksimum yatay yer ivmesi (a_{maks}) değerinin bulunması için Joyner ve Boore [80], Fukushima vd. [81], İnan vd. [82], Aydan vd. [83] gibi araştırmacılar birçok

çalışma yapmışlardır. Türkiye'de meydana gelebilecek depremler için Aydan vd. [83] aşağıda bulunan eşitliği önermişlerdir:

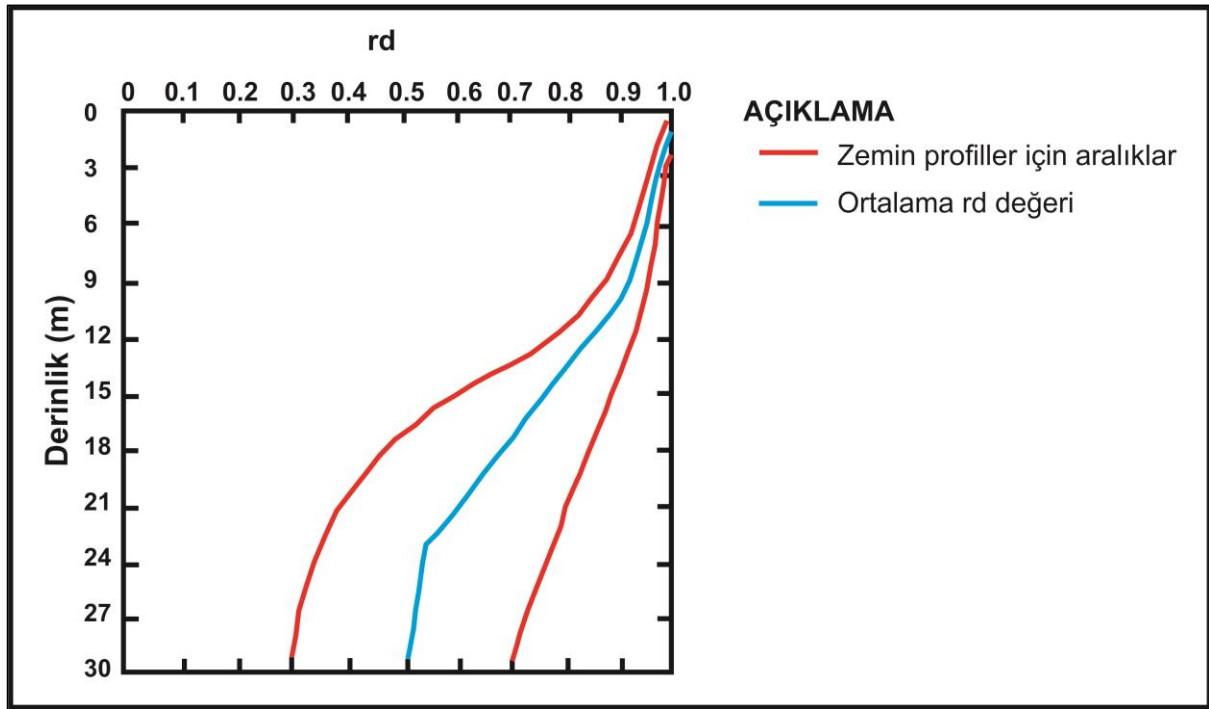
$$a_{maks} = 2,8 (e^{0,9M} * e^{-0,025R} - 1) \quad (2.6)$$

Burada;

M = Deprem büyüklüğü,

R = Deprem odağından olan uzaklıktır.

Seed ve Idriss [72] tarafından yenilenen r_d (gerilme azaltma değeri) katsayısının derinliğe göre değişim eğrisi şekil 2.15.'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Gerilme azaltma katsayısının derinliğe göre değişimi.

İkinci yöntem ise Cliao ve Whitman [84] tarafından geliştirilen gerilme azaltma katsayısı (r_d) aşağıdaki eşitlik yoluyla da bulunabilmektedir:

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z; z \leq 9,15 \text{ m}$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 z; 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (2.7)$$

Burada;

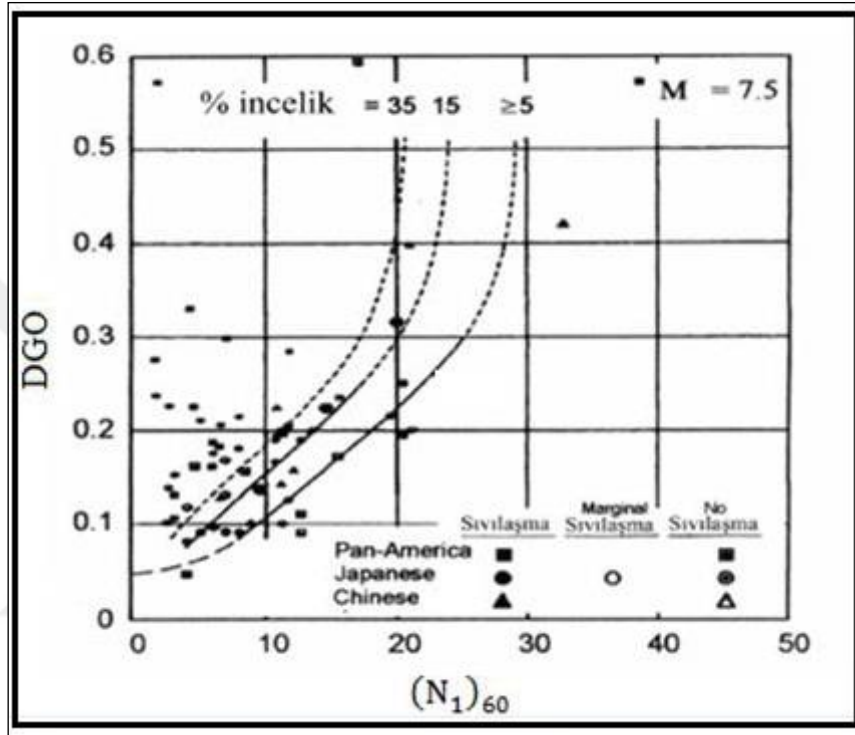
z = metre cinsinden derinlik

Şekil 2.17.'daki ortalama değer eğrisinden alınan r_d değerinden yararlanılarak aşağıdaki eşitliği oluşturmuşlardır.

$$r_d = \frac{1 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,00173z^{1,5}}{1 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,00620z^{1,5} + 0,00121z^2} \quad (2.8)$$

Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı gösterdiği direnç devirsel direnç oranı olarak ifade edilmektedir. $M=7,5$ büyüklüğünde bir depremin meydana geldiği temiz siltli ve kumlu zeminlerde; sıvılaşmanın görüldüğü ve görülmediği alanlarda SPT-N değerlerini ölçmüşlerdir. Çalışma neticesinde, belirli bir aralıkta SPT-N değerlerinin sıvılaşma oluşabilmesi için gerekli olan minimum devirsel kayma gerilmeleri oranını Şekil 2.16.'de grafiksel şekilde göstermişlerdir [85].



Şekil 2.16. $M=7,5$ için devirsel direnç oranı ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişki [77]

$(N_1)_{60}$ değeri, yaklaşık olarak 100 kPa'lık bir üst tabaka yüküne ve %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT değerlerini belirtmektedir. Grafikte gösterilen eğriler ince tane oranı %5 ve daha düşük olan taneli zeminler ve ayrıca %15 ve %35 olan taneli zeminler için elde edilmiştir. Temiz kum, ince tane oranı %5'ten daha az olan kumlu zeminler olarak kabul edilmektedir [86].

Youd vd. [84] tarafından DDO hesabında kullanılması için bir eşitlik geliştirilmiştir:

$$DDO = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (2.9)$$

Burada;

DDO = Devirsel direnç oranı,

$(N_1)_{60}$ = %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değeridir.

Seed vd. [84] göre, $(N_1)_{60} \geq 30$ olan siltli ve killi zeminler, sıvılaşma görülmeyen zemin olarak sınıflandırılmaktadır. Tosun vd. [87] ve Seed vd. [88], ince tane oranının artmasıyla sıvılaşmaya karşı direncin arttığını ortaya koymuşlardır. İnce tane oranının sıvılaşma direncine etkisini hesaplamak için aşağıda verilen eşitlikleri geliştirmişlerdir.

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta(N_1)_{60}$$

Burada;

$(N_1)_{60}$ =%60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değeri,

$(N_1)_{60tk}$ =İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT değerleri,

ITO =İnce tane oranı,

α ve β ince tane düzeltme katsayılarıdır ve aşağıdaki eşitliklerle belirlenmektedirler.

$$\alpha = 0 ; ITO \leq \%5$$

$$\alpha = \exp [1,76-(190/ITO^2)] ; \%5 \leq ITO \leq \%35 \quad (2.10)$$

$$\alpha = 5,0 ; ITO \geq \%35$$

$$\beta = 1,0 ; ITO \leq \%5$$

$$\beta = [0,99+(ITO^{1,5} /1000)] ; \%5 \leq ITO \leq \%35 \quad (2.11)$$

$$\beta = 1,2 ; ITO \geq \%35$$

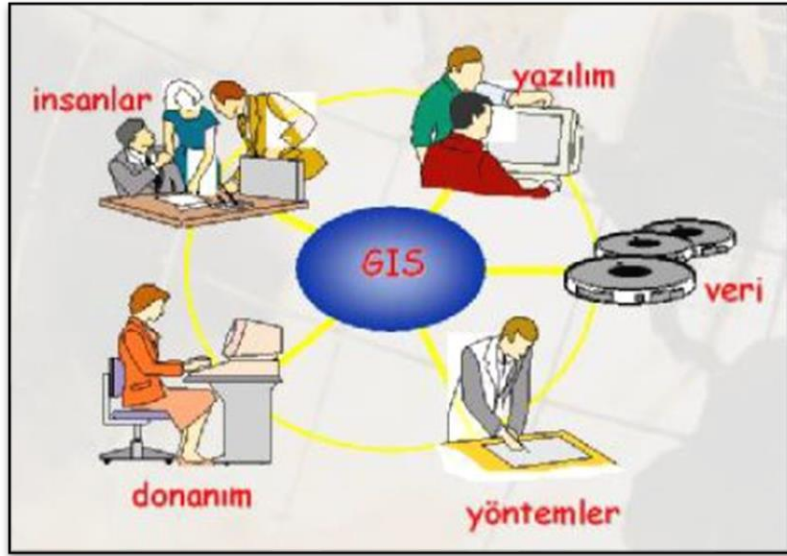
2.6. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

Teknolojik gelişmeler, geçmişten bugüne kadar sürekli bir büyüme ve gelişim göstermiştir. Bu büyüme ve gelişmeler ışığında istediğimiz bir bilgiye ulaşmak birkaç dakikamızı almaktadır. Bu gelişmeler bilgi sistemlerinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Dünyada ve tabii ki Türkiye’de yaygın olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ya da ArcGis bu sistemlerden biridir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri, konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik-olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir [89]. Bu yüzden coğrafi nesnelerin ve bunlara ait nitelikli bilgilerin irdelenmesi, değerlendirilmesi ve sunulması bakımından etkili ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

2.6.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Elemanları

Coğrafi Bilgi Sisteminin kurulabilmesi için gereken elemanları şöyle sıralıyabiliriz: yazılım, veri tabanı, donanım, yöntemler ve insanlarıdır (Şekil 2.17.).

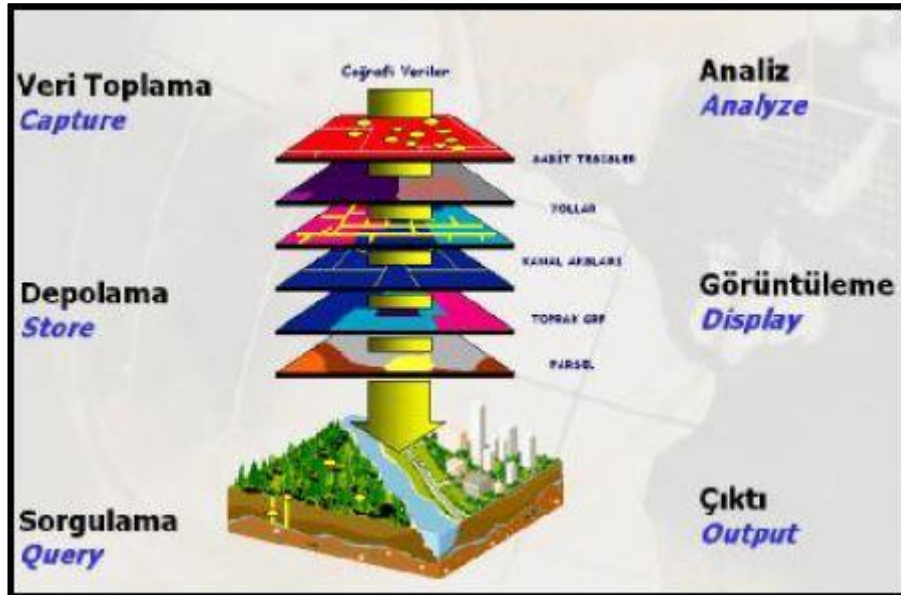


Şekil 2.17. CBS elemanları [89]

Ancak, bu sistemin başarılı olabilmesi için bu teknolojileri kullanacak personel ve yöneticilerin eğitimine bağlıdır ve bu sebepten dolayı en önemli faktör "insan" dır.

2.6.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Genel Fonksiyonları

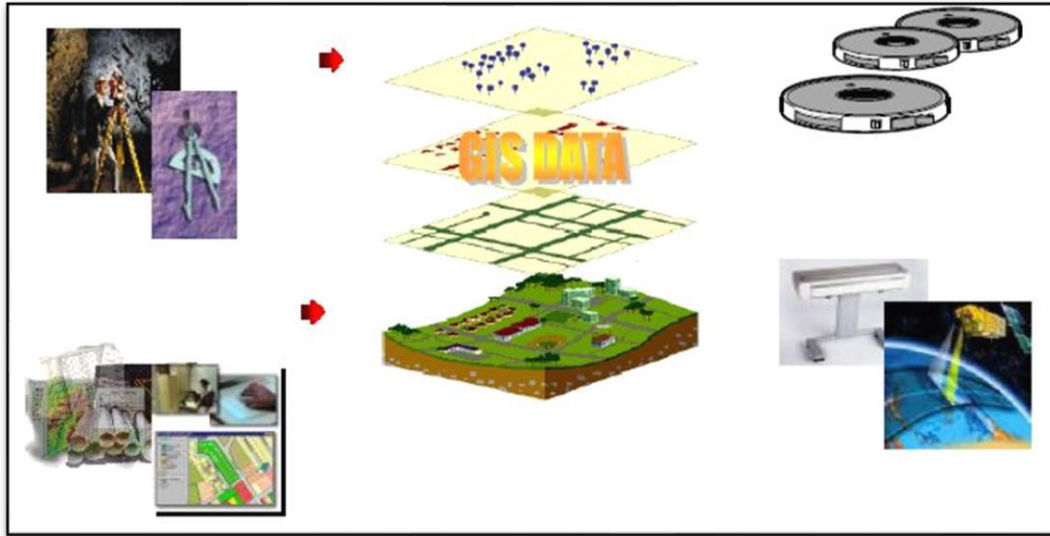
Coğrafi Bilgi Sistemlerinde amaç coğrafi bilginin; üretimini, yönetimini, analiz ve network üzerindeki dağıtık veri tabanlarından coğrafi verileri tüm insanların paylaşılabilceği profesyonel bilgi sistemi teknolojisi sunmaktadır (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. CBS Temel Fonksiyonları [89]

2.6.3. Veri Toplama Teknikleri

Coğrafi Bilgi Sisteminde x,y koordinatlarına bağlı (sayısal format) verilerin sisteme aktarılmasında farklı yöntemler uygulanır. Mevcut farklı ölçeklerdeki haritalar, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve yersel ölçmeler ile edilen koordinat bilgileri ile açı mesafe değerleri veri kaynakları olarak tanımlanabilir (Şekil 2.19) [89].



Şekil 2.19. Veri Kaynakları [89]

2.6.4. Veri Depolama Teknikleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde yeryüzüne ait bilgiler, vektör ve raster veri formatlarında birbirlerinden soyutlanmış farklı tabakalar halinde depolanır. CBS'de bu iki format, coğrafi analizlerde ve sorgulamalarda etkin bir biçimde kullanılır (2.20.).

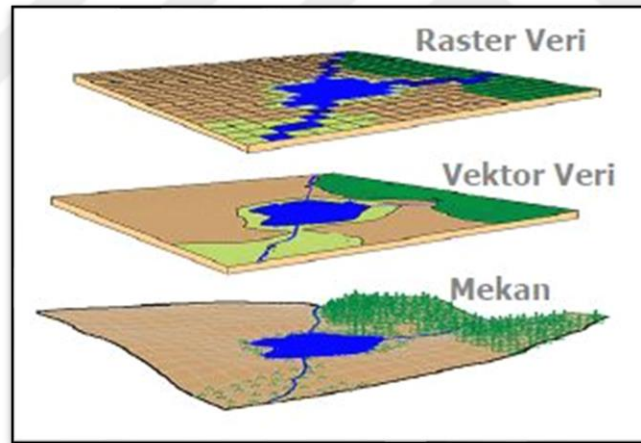


Şekil 2.20. Vektör ve Raster Veri Modeli [89]

Vektörel veri, formatında konuma ait veriler; çizgi ve alan özellikleri x,y koordinat değerleriyle depolanır. Nokta özelliği x,y koordinat çifti ile temsil edilen (Elektrik direkleri, yangın muslukları, kuyular gibi). Çizgi özelliği bir başlangıç ve bitiş noktası olan x,y koordinat dizisi ile temsil edilir (dereler, akarsular, yollar, elektrik hatları). Alan özelliği ise başlangıç ve bitiş noktası aynı olan x,y koordinat dizisi ile temsil edilirler (Parseller, binalar, arazi kullanımı) [89].

Raster veri, formatında konuma ait veriler ise; hücrelere bağlı olarak temsil edilir. Aynı boyuttaki hücrelerin bir araya gelerek oluşturduğu veri formatıdır. En küçük birim pixel olarak tanımlanır. Raster veriler de verinin hassasiyeti pixel boyutuna göre değişen çözünürlük özelliği ile tanımlanır.

Aralarındaki Farklar; raster verilerin veri depolama hacmi vektör verilere göre oldukça büyüktür. Bazı konumsal analizler (Bindirme analizleri, alan hesaplamaları ve yakınlık analizleri gibi) raster veri formatında daha kolaydır (Şekil 2.21). Verilerin hassasiyeti raster verilerde pixel size ile orantılı olduğundan hassas çalışmalarda veri kayıplarına neden olabilir. Vektörel veri formatındaki grafik objeleri tanımlayan öznitelik bilgilerine ulaşma, güncelleme mümkün ve daha kolaydır [89].



Şekil 2.21. Raster ve Vektör Veri Arasındaki Farklar [89]

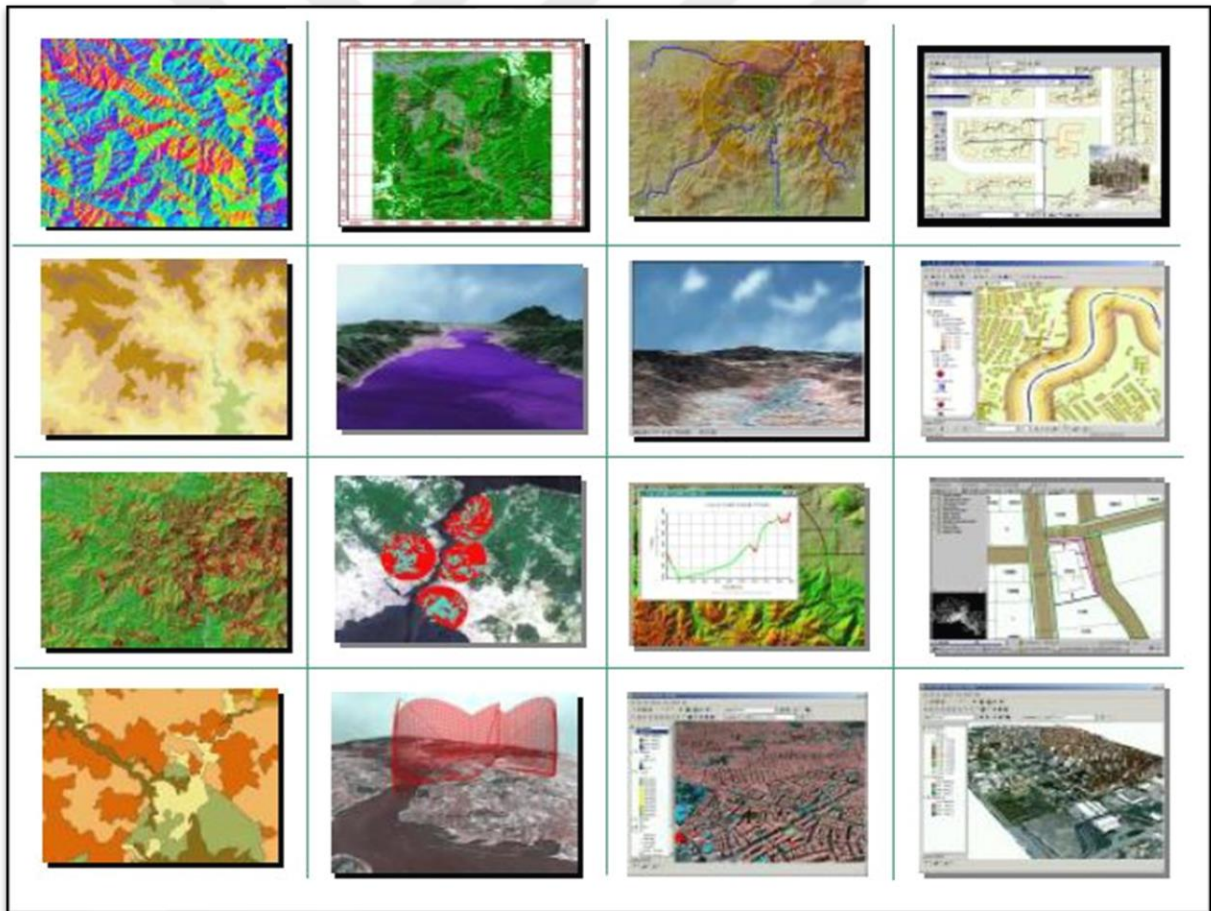
2.6.5. Coğrafi Bilgi Sisteminde Sorgulama

Coğrafi Bilgi Sistemi grafik ve grafik olmayan verilerin birbirleri ile bütünleşmiş olarak sorgulanmasına olanak sağlar. Buna göre grafik veriden sözel verilere, sözel veriden de grafik (konumsal veriye) verilere hızlı bir erişim sağlanmış olur. Örneğin: CBS'de depolanmış bir yol objesinin tanımlanması ile o yolun uzunluk, adı, tipi vb bilgilere hızlı bir erişim sağlanmış olur. Bir parsel tanımlandığında o parselin alan, çevre, ada ve parsel numarası gibi veri tabanına girilmiş bilgilere erişim sağlanmış olur. Veri tabanından mantıksal ifadeler kullanarak grafik verilere ulaşılmış olur [89].

2.6.6. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analiz Yöntemleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde depolanan veriler üzerinde konuma dayalı kararlar verebilme coğrafi verinin sorgulanması, görüntülenmesi ve analizler ile mümkün olmaktadır. Konumsal analiz işlemlerinde, mevcut girdilerden yararlanılarak, yeni bilgiler üretilir [89]. Bunlardan bazıları şu şekildedir (Şekil 2.22):

- Tampon Bölgeleme (Buffer),
- Bindirme Analizleri (Overlay),
- Yakınlık Analizleri (Proximity),
- Yoğunluk Analizleri (Density Analysis),
- Adres Haritalama (Address Geocoding),
- Dinamik Bölümler (Dynamic Secmantation),
- Kısayol ve Altyapı Yönetim Analizleri (Network Analysis),
- Yüzey Analizleri (3D, Aspect, Slope, Elevation, Visibilty, Line of Site, Cute&Fill)



Şekil 2.22. CBS’de Analiz Sonuçları [89]

3. MATERYAL VE METOT

Sıvılaşma potansiyeli analizleri hem arazi hem de laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılmaktadır. Arazi deneyleri arasında SPT, CPT ve Kayma Dalga Hızı deneyleri yer almaktadır. SPT verileri ile yapılan analizlerde ise üç farklı yöntem kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında ise SPT sonuçları kullanılarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresi boyunca 4 adet sondaj yapılmış olup bunların yanı sıra, farklı mühendislik firmaları tarafından yapılan jeoteknik amaçlı sondaj raporları da incelenmiştir. Toplamda 33 adet sondajdan alınan örnekler üzerinde yapılan deneylerin neticesinde zemin sınıflaması ve zeminlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Zeminlerin fiziksel özellikleri belirlemek amacıyla; su içeriği, birim hacim ağırlıkları, Atterberg Limitleri (plastik limit, likit limit) ve elek analizleri yapılmıştır. Yapılan arazi ve laboratuvar deney verileri detaylı şekilde incelenerek bir veri seti oluşturulmuş ve bu veri seti kullanılarak Pro-Sıvı sıvılaşma analiz yazılım ile Seed ve Idriss [72] yönteminden yararlanılarak sıvılaşma potansiyeli analizleri gerçekleştirilmiştir.

Pro-Sıvı yazılımından alınan sonuçlar ArcGis 10,1 [10] programına aktararak IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon) yardımı ile sıvılaşma risk haritaları oluşturulmuştur

3.1. Haritalar

Bu çalışmada kullanılan haritalar Harita Genel Komutanlığından alınmıştır. Bölgenin 1/25,000'lik O33-A4, O33-B3 ve O33-D1 Mersin-Silifke topoğrafik haritalarından yararlanılmıştır. Çalışma alanını içeren haritalar tarayıcı yardımıyla dijital ortama aktarılmıştır. Dijital ortama aktarılan haritalar uydu görüntüleri yardımıyla da ArcGis 10,1 [10] programı kullanılarak çalışma alanı sayısallaştırılıp "Yerleşim Yeri", "Yol güzergahı" ve "Akarsu" katmanları yapılmıştır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Sıvılaşma Analiz Yazılımı

3.2.1. Pro-Sıvı Sıvılaşma Programı

Visual Basic 6.0 programlama dili ile yazılan bu programda deprem etkisi ile zeminlerde oluşabilecek sıvılaşma potansiyeli ve programda isteğe bağlı olarak sıvılaşma sonrası oluşabilecek oturma analizleri de yapılabilir. Bu programdaki esas amaç deprem etkisi ile oluşabilecek sismik yükleri ve zeminin bu yüklere karşı direncini hesaplayarak kıyaslama yapmaktır. Programa girilen veriler sonucunda elde edilen devirsel gerilme oranı (DGO) ve devirsel direnç oranı (DDO) değerlerini birbirlerine oranlayarak bir emniyet katsayısı elde edilir. Elde edilen emniyet katsayısı birden küçük olduğu yerlerde sıvılaşma potansiyelinin olduğu kabul edilmektedir (Şekil 3.1.) [89].

Derinlik (m)	N	BHA (kN/m3)	ID0 (%)	D50 (mm)
1.2	7	18.38	5	0.5
2.2	4	21.39	5	0.55
3.2	3	21.39	5	0.5
4.2	3	21.39	15	1.0
5.2	5	21.39	15	1.0
6.2	9	21.39	17	0.5
7.2	12	21.39	17	0.5
8.2	12	21.39	10	0.5
9.2	14	21.39	5	0.5
10.2	9	21.39	35	0.5
11.2	23	21.39	30	0.5
12.2	13	21.39	35	1.0
13.2	11	21.39	15	0.5
14.2	11	21.39	20	0.5
15.2	24	21.39	10	0.5
16.2	27	21.39	5	0.5

Şekil 3.1. Yazılımdaki "Deprem Karakteristikleri" giriş bölümü

Program açılınca ilk başta karşımıza deprem karakteristik özellikleri ekranı gelir. Bu ekranda deprem ve zemin hakkındaki veriler; arazi ve laboratuvar deney verileri girdi parametresi olarak kullanılır (Şekil 3.2.).

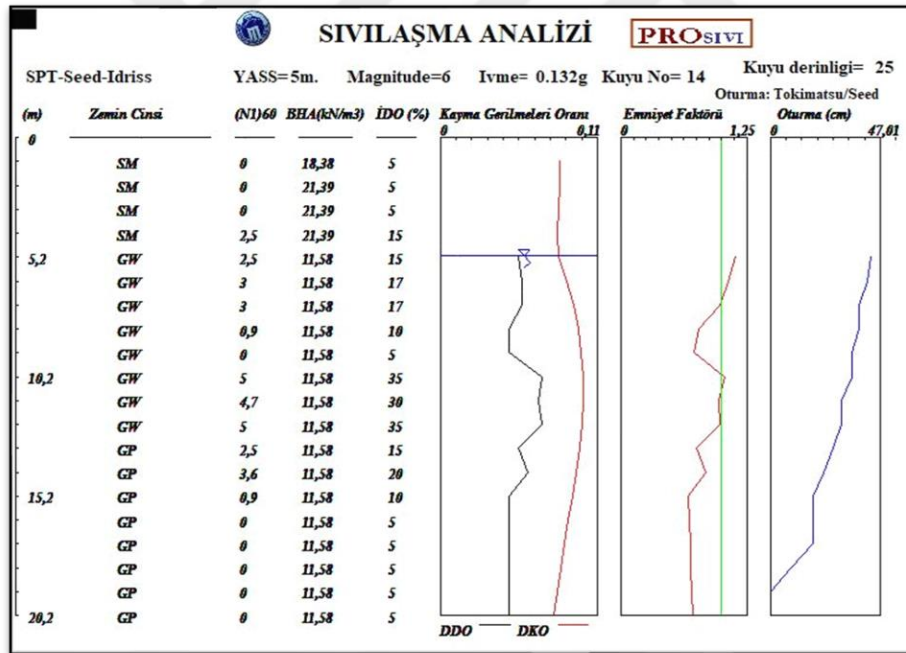
Şekil 3.2. Yazılımdaki "Analiz Yöntemleri" giriş bölümü

Programda bir yan ekrana geçilince analiz yöntemleri kısmı karşımıza çıkar. Bu alanda ise sıvılaşma hesabının yapılacağı yöntem veya yöntemler ve düzeltme katsayıları gibi özellikler girilmektedir. Ayrıca, bu kısımda sıvılaşma analizinin yanı sıra oturma analizi de yapılmak istenirse yine bu ekrandan yapılır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Yazılımdaki "Zemin Profil Tanımlaması" giriş bölümü

Programın en son kısmında da zeminin derinliklere göre zemin sınıflandırılması yapılmaktadır (Şekil 3.4. ve 3.5.).



Şekil 3.4. Yazılımdaki analiz sonuçlarının gragiksel görünümü

SIVILAŞMA ANALİZİ								
SPT-Seed-Idriss								
YASS= 5m. Magnitude= 6 İvme= 0.132g Kuyu No= 14 Kuyu Derinliği= 25								
Top.Ger.(kPa)	Eff.Ger.(kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD(kPa)	DDO	EF	Oturma (cm)
22.06	22.06	0.993	1.88	0.085	-	-	-	-
43.45	43.45	0.985	3.67	0.085	-	-	-	-
64.84	64.84	0.978	5.44	0.084	-	-	-	-
86.23	86.23	0.971	7.18	0.083	-	-	-	-
107.62	105.65	0.964	8.9	0.084	5.86	0.098	1.14	42.74
129.01	117.23	0.956	10.58	0.09	6.85	0.103	1.08	41.67
150.4	128.81	0.946	12.21	0.095	7.53	0.103	0.99	37.94
171.79	140.39	0.935	13.78	0.098	6.87	0.087	0.77	37.94
193.18	151.97	0.92	15.24	0.1	7.46	0.087	0.73	34.82
214.57	163.55	0.901	16.58	0.101	11.79	0.128	1.03	34.82
235.96	175.13	0.878	17.77	0.101	12.24	0.124	0.97	30.44
257.35	186.71	0.851	18.79	0.101	13.45	0.128	0.99	30.44
278.74	198.29	0.82	19.62	0.099	11	0.098	0.75	26.88
300.13	209.87	0.789	20.28	0.097	13.07	0.11	0.85	22.67
321.52	221.45	0.754	20.8	0.094	10.84	0.087	0.67	18.34
342.91	233.03	0.721	21.22	0.091	11.44	0.087	0.68	18.34
364.3	244.61	0.69	21.57	0.088	12.01	0.087	0.69	18.34
385.69	256.19	0.662	21.89	0.085	12.58	0.087	0.7	8.75
407.08	267.77	0.636	22.22	0.083	13.15	0.087	0.71	0
428.47	279.35	0.614	22.56	0.081	13.72	0.087	0.71	0

Şekil 3.5. Yazılımdaki sivilaşma analiz sonuç bölümü

3.3. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yönteminin Uygulanması (Inverse Distance Weighted - IDW)

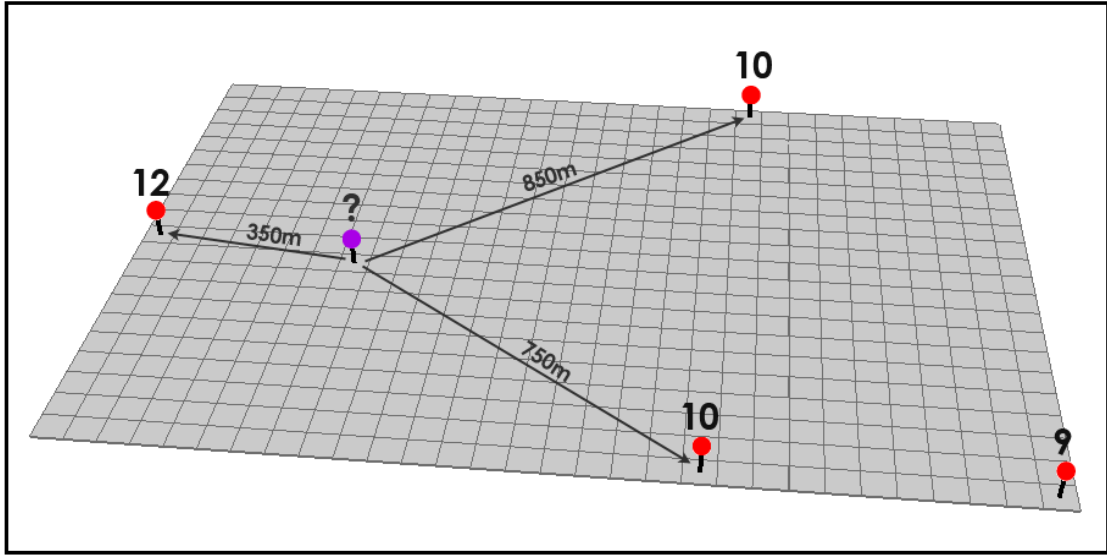
Deterministik (belirleyici) yöntemlerin en basitlerinden birisi olan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi (IDW), nokta verilerinden yararlanılarak enterpolasyonla grid üretmek için kullanılan yöntemlerden biridir. IDW yöntemi ile enterpole edilecek olan yüzeyin iki nokta arasındaki ilişkisinin ve benzerliğinin, aralarındaki uzaklıkla orantılı olduğu varsayılmaktadır [90]. Bu metotla enterpole edilecek olan nokta ile arasındaki mesafe arttıkça etkisinin azalacağını ve örneklem noktalarının etki ortalamasına göre bir yüzeyin enterpole edileceği varsayılmaktadır [91].

IDW aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$z(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(X_i) \cdot d_{i0}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-r}} \quad (2.17)$$

Tahminlerin yapıldığı x_0 lokasyonu, komşu ölçümleri n 'nin bir fonksiyonudur ($Z(X_i)$ ve $i=1,2,...,n$); r , gözlemlerin her birinin atanmış ağırlığını belirleyen üstür ve d , gözlem lokasyonu x_i ile tahmin lokasyonu x_0 'ı ayıran mesafedir. Üs büyüdükçe tahmin lokasyonundan uzak mesafedeki gözlemlerin atanmış ağırlığı küçülür. Üssün artması, tahminlerin en yakındaki gözlemlere çok benzediğini gösterir [92].

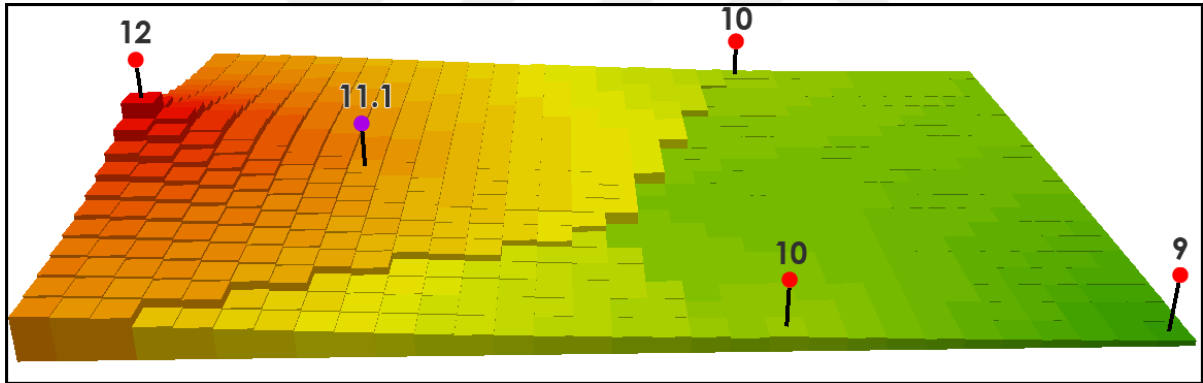
IDW yöntemi 3 örnek nokta üzerinde şekil 3.6.'da örnek IDW yöntemi hesaplama sonucunun üç boyutu hali ise şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. IDW yöntemi için 3 örnek nokta [93]

Formülden yararlanarak değerleri yerine koyarsak:

$$((12/350) + (10/750) + (10/850)) / ((1/350) + (1/750) + (1/850)) = 11,1$$



Şekil 3.7. Örnek IDW yöntemi hesaplama sonucu 3 boyutlu gösterimi [93]

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Mersin ilinin güney batısında yer alan çalışma alanının jeolojisi; Sedimanların oluşturduğu Kuvarterner yaşlı Alüvyon (Qal) birimi, kuzey – kuzeybatı taraflarında Kaliş birimi ve üst kesimlerinde ise Üst Miyosen Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu oluşturmaktadır.

Çalışma bölgesinin batı kesimlerinde kıyı bölgesine yakın kısımlarda gözlenen çökellerin tane boyunun genellikle kum olduğu, bazı kesimlerde yumuşak kıvamlı killi birim tabakalarına rastlanmıştır. Çalışma bölgesinin kuzey kesimlerinde silt, kil ve çakıl boyutlu tanelerin yoğun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışma bölgesindeki gözlemlenen alüvyon birimleri

Çalışma bölgesinde yoğun olarak bulunan kaliş birimi yağışlı iklim örtüsüne sahip bölgelerde oluşan kimyasal tortuldur. Kaliş birimi yer altı sularında bulunan çözülmüş durumdaki tuz ve su içerisinde asılı şekilde bulunan maddelerin, boşluk suyu sayesinde oluşan basınç yardımıyla mekanik ve kimyasal yayılma ile su yüzeyine çıkıp buharlaşması ve daha sonrasında burda çökmesi ile oluşmaktadır [94].

Su içerisinde asılı şekilde bulunan maddelerin kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından farklılıkları bulunmaktadır. Boşluk suyu basıncı ile yükselme arasındaki farklılıklar olmasının

nedeni buradaki kimyasal ve fiziksel özelliklerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden alt birimler yüksek plastisiteli, dolgulu killi birimlerden oluşur ve yumuşak seviyeler içerirken yüzeye doğru sert seviyeler bulunmaktadır. Bazı zamanlarda kalış biriminin üzerine sedimanter çökelim buharlaşmanın dışında etkili olduğu gözlemlenmiştir [94]. Gözlenmekte olan farklı çökeltme evrelerindeki belirginleşmesi karbonat oranındaki değişimlerle gerçekleşmektedir. (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Davultepe ve Mezitli civarlarında gözlenen birimler

Çalışma bölgesinin temel birimlerinden olan Handere Formasyonu, Yalçın ve Görür [95] tarafından Adana bölgesinde üst miyosen pliyosen yaşlı birim olan Adana grubunun en üst katmanında görülen birim olarak ayırtlanmış olup bölgenin güney kesimlerinde, havza ölçeğinde yeterince geniş uzanıma sahiptir. Çalışma bölgesi içerisinde bulunan Handere Formasyonu içerisinde; kireçtaşı, kumtaşı, kum ve marn birimleri gözlemlenmektedir. (Şekil 4.3).

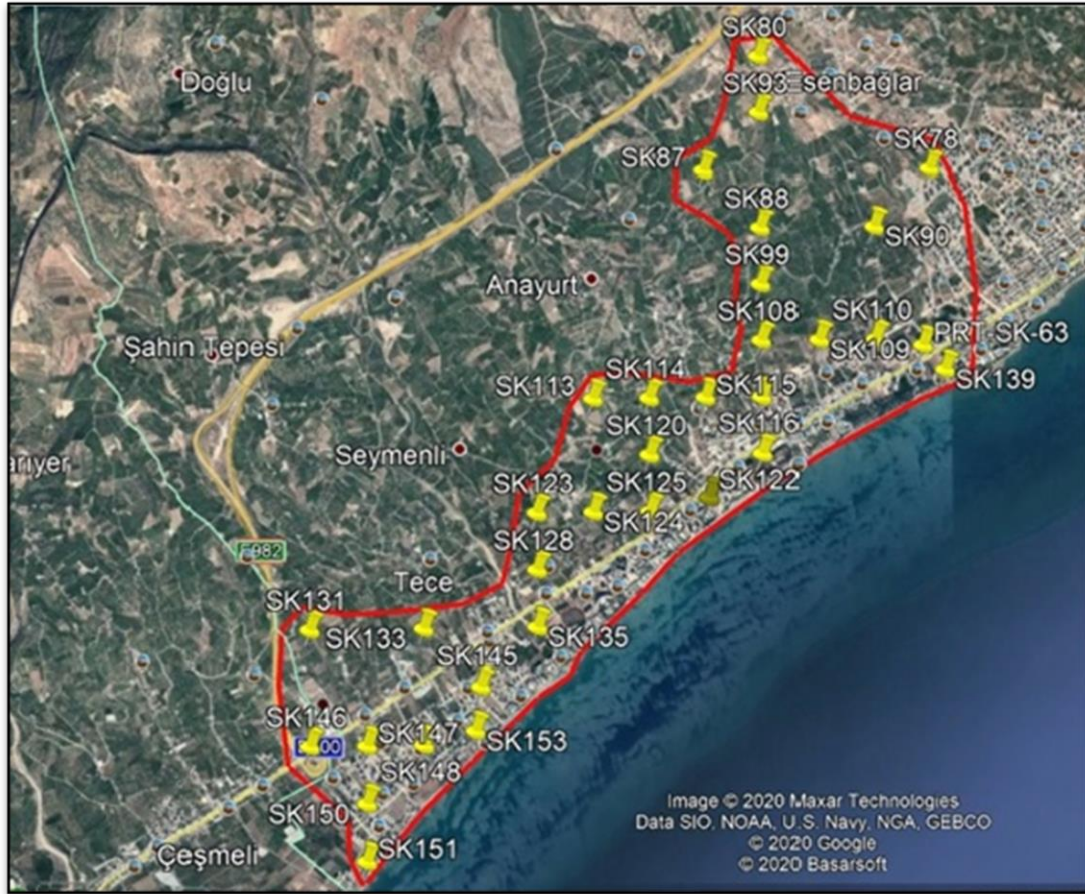


Şekil 4.3. Çalışma bölgesinin kuzeydoğu kesimlerinde gözlenen Handere Formasyonuna ait görünüm

4.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma bölgesinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla 14.04.2018 – 26.06.2018 tarihleri arasında derinlikleri 26 metreye kadar ulaşabilen 33 adet sondaj kuyuları açılmıştır. Ayrıca tez çalışması kapsamında derinlikleri 25 metre ye kadar ulaşabilen 4 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan bu sondaj kuyularından SPT ve CR (karot) örnekleri alınmıştır.

Şekil 4.4.'de sondaj çalışması yapılan bölgedeki uydu görüntüsü üzerinde lokasyon yerleri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 4.2.'de sondaj kuyularına ait litoloji, formasyon bilgileri ve Tablo 4.1.'de GPS ile alınan sondaj koordinatları (ED 1950 zon 36 koordinat sistemine göre) gösterilmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Çalışma bölgesindeki yapılan sondajların Google Earth üzerindeki lokasyonları

Tablo 4.1. Çalışma bölgesine ait sondaj kuyularının koordinat verileri

Sondaj No	X	Y	Sondaj No	X	Y
SK63	633563.36	4065198.39	SK125	631167.77	4063679.11
SK80	632062.31	4067732.16	SK128	630175.46	4063148.0
SK78	633599.65	4066767.78	SK131	628176.85	4062588.96
SK87	631587.10	4066711.92	SK133	629183.15	4062616.92
SK88	632104.20	4066222.75	SK135	630189.44	4062644.87
SK90	633110.48	4066250.68	SK137	631691.14	4063812.31
SK93	632076.28	4067229.03	SK139	633764.07	4064983.93
SK99	632118.17	4065719.61	SK145	629700.27	4062127.75
SK108	632132.14	4065216.47	SK146	628204.81	4061582.66
SK109	632635.28	4065230.44	SK147	628707.96	4061596.64
SK110	633138.41	4065244.41	SK148	629211.11	4061610.62
SK113	630636.69	4064671.42	SK150	628721.94	4061093.49
SK114	631139.83	4064685.39	SK151	628735.92	4060590.34
SK115	631642.97	4064699.36	SK153	629663.59	4061742.48

Tablo 4.2. Çalışma bölgesindeki yapılan sondajlara ait derinlik, litoloji ve formasyon bilgileri

Sondaj No	Derinlik(m)	Litoloji	Formasyon
SK-63	0,00 - 0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50 - 3,00	Çakıllı Kumlu Kil	Qk
	3,00 - 26,00	Killi, Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
SK-80	0,00-1,00	Sert Kaliş	Qk
	1,00-15,00	Kaliş Girişimli Çakıl	Alüvyon (Qal)
SK-78	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-1,00	Sert Kaliş	Qk
	1,00-15,00	Kaliş Girişimli Çakıl	Alüvyon (Qal)
SK-87	0,00-0,50	Dolgu Malzemesi	
	0,50-1,50	Sert Kaliş	Qk
	1,50-4,00	Kaliş Girişimli Çakıl	Alüvyon (Qal)
	4,00-15,00	Çakıllı Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-88	0,00-1,00	Sert Kaliş	Qk
	1,00-15,00	Kaliş Girişimli Kil	Alüvyon (Qal)
SK-90	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-1,50	Çakıllı, Killi Kaliş	Alüvyon (Qal)
	1,50-15,00	Kaliş Girişimli Çakıl	
SK-93	0,00-0,50	Sert Kaliş	Qk
	0,50-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-99	0,00-1,00	Dolgu Malzeme	
	1,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-108	0,00-3,00	Sert Kaliş	Qk
	3,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-109	0,00-1,00	Dolgu Malzemesi	
	1,00-5,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	5,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	
SK-110	0,00-1,00	Dolgu Malzemesi	
	1,00-4,00	Sert Kaliş	Qk
	4,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-113	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-3,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	3,00-4,00	Çakıllı, Killi Kum	
	4,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	
SK-114	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-115	0,00-0,50	Dolgu Malzeme	
	0,50-1,00	Sert Kaliş	Qk
	1,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-116	0,00-1,00	Dolgu Malzemesi	
	1,00-6,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	6,00-15,00	Killi, Kaliş Girişimli Çakıl	
SK-120	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-5,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	5,00-15,00	Kaliş Girişimli Çakıl	
SK-122	0,00-5,00	Çakıllı, Killi Kum	
	5,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
SK-123	0,00-2,00	Sert Kaliş	Qk

Sondaj No	Derinlik(m)	Litoloji	Formasyon
	2,00-4,00	Çakıllı, Killi Kaliş	Alüvyon (Qal)
	4,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	
SK-124	0,00-3,00	Sert Kaliş	Qk
	3,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-125	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
SK-128	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-4,50	Çakıllı, Killi Kaliş	Alüvyon (Qal)
	4,50-15,00	Kaliş Girişimli Çakıl	
SK-131	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-4,00	Çakıllı, Killi Kaliş	Alüvyon (Qal)
	4,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	
SK-133	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-5,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	5,00-15,00	Marn	Handere Formasyonu
SK-135	0,00-1,00	Dolgu Malzemesi	
	1,00-5,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	5,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	
SK-137	0,00-1,00	Dolgu Malzemesi	
	1,00-11,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	11,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	
SK-139	0,00-5,00	Çakıllı, Killi Kum	
	5,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
SK-145	0,00-0,50	Dolgu Malzemesi	
	0,50-1,50	Çakıllı, Killi Kum	Alüvyon (Qal)
	1,50-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	
SK-146	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-4,00	Çakıllı, Killi Kum	Alüvyon (Qal)
	4,00-7,00	Killi, Kumlu Çakıl	
	7,00-15,00	Çakıllı, Killi Kaliş	
SK-147	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-2,50	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	2,50-15,00	Çakıllı, Killi Kaliş	
SK-148	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-5,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	5,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	
SK-150	0,00-1,50	Dolgu Malzemesi	
	1,50-5,00	Çakıllı, Killi Kum	Alüvyon (Qal)
	5,00-8,00	Çakıllı, Kumlu Kil	
	8,00-15,00	Killi, Kumlu Çakıl	
SK-151	0,00-0,50	Dolgu Malzemesi	
	0,50-3,00	Çakıllı, Kumlu Kil	Alüvyon (Qal)
	3,00-9,00	Çakıllı, Killi Kum	
	9,00-15,00	Çakıllı, Kumlu Kil	
SK-153	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-4,00	Çakıllı, Killi Kum	Alüvyon (Qal)

Arazi çalışmalarında, sıvılaşma potansiyeli analizlerinde bir girdi parametresi olarak kullanılan SPT-N parametresini belirlemek amacıyla her bir sondaj kuyusunda Standart

Penetrasyon Deneyleri (SPT) yapılmıştır (Şekil 4.5. ve 4.6.). Çalışma bölgesinde yapılan sondajlar ve gözlemler sonucunda bölgede Kuvartener yaşlı Alüvyon formasyonunda kil-silt-kum-çakıl boyutunda birimler gözlemlenmiştir.

Çalışma bölgesinde açılan sondaj kuyularından alınan zemin numuneleri, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması [96] kullanılarak isimlendirilmiş ve sınıflandırılmıştır.

Alüvyonlar çalışma bölgesinde yer alan ve genellikle kuzeyden güneye doğru akışını boşaltan akarsuların, morfolojinin yataya yakın bir eğime sahip olduğu kesimlerde denize ulaştığı düz alanlarda akarsular tarafından getirilen kil-kum-çakıl boyutundaki malzemeden oluşmaktadır. Çalışma bölgesinde kıyı bölgesine yakın yerlerde gözlenen çökellerin tane boyu genellikle kum olup ve yer yer yumuşak kıvamlı killi birimlere rastlanmıştır. Kuzey kesimlerinde ise kil, silt ve çakıl boyutunda malzemelerin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. SPT (Standart Penetrasyon Testi) deneyi



Şekil 4.6. Çalışma bölgesinde yapılan sondaj çalışmaları

4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmalarını tamamladıktan sonra sondaj kuyularından alınan zemin örnekleri üzerinde Pro-Sıvı sivilaşma programında kullanılacak girdi parametrelerini elde etmek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneyler; kuru birim hacim ağırlığı, su içeriği, özgül ağırlık, doğal birim hacim ağırlığı, atterbeg limitleri ve elek analizidir. Her bir sondaj kuyusundan alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan deneyler Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Laboratuvar deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	SINIFLANDIRMA					SU İÇİRGİ W _n (%)	Zemin Sınıfı
		Tane Dağılımı		Atterberg Limitleri				
		200 No Geçen %	10 No Geçen %	LL%	PL%	PI%		
SK – 63	0,50-3,00	50,12	71,44	58,80	25,86	32,94	-	CH
SK – 80	2,00-4,00	18,96	53,97	-	-	-	20,47	GM/GC
SK – 78	1,50-2,00	16,73	58,90	-	-	-	-	SM/SC
SK – 87	2,00-4,00	17,54	60,53	-	-	-	-	SM/SC
SK – 88	2,00-4,00	70,08	92,10	41,40	20,08	21,32	-	CI
SK – 90	2,00-4,00	5,29	45,88	-	-	-	10,98	GW-GM/GW
SK – 93	2,00-4,00	62,94	99,81	52,10	28,05	24,05	-	CH
SK – 99	2,00-4,00	80,33	99,41	37,00	18,45	18,55	-	CI
SK –108	6,00-8,00	28,36	49,11	49,90	33,80	16,10	-	GM
SK – 109	2,00-4,00	65,29	93,94	43,80	23,96	19,84	10,10	CI
SK – 110	6,00-8,00	50,13	97,91	55,10	38,77	16,33	-	MH
SK – 113	6,00-8,00	67,02	86,80	46,80	23,03	23,77	-	CI
SK – 114	6,00-8,00	80,52	98,64	45,20	24,09	21,11	-	CI
SK – 115	7,00-9,00	57,83	89,77	66,60	38,90	27,70	-	MH
SK – 116	2,00-4,00	73,28	94,31	46,80	23,81	22,99	19,21	CI
SK – 120	1,00-3,00	77,50	98,59	22,90	14,63	8,27	-	CL
SK – 122	1,00-3,00	2,22	99,24	-	-	-	-	SP
SK – 123	2,00-4,00	38,94	73,73	32,75	17,84	14,91	18,09	SC
SK – 124	7,00-9,00	65,23	99,27	42,90	27,74	18,16	-	CI
SK – 125	2,00-4,00	78,78	97,77	35,70	16,00	19,70	-	CI
SK – 128	2,00-4,00	48,43	72,79	35,45	18,57	16,88	-	GC
SK – 131	2,00-4,00	82,48	95,14	53,00	27,03	25,97	29,20	CH
SK – 133	2,00-4,00	75,62	97,00	59,00	28,07	30,93	-	CH
SK – 135	2,00-4,00	83,99	99,57	41,30	19,04	22,26	-	CI
SK – 137	2,00-4,00	83,02	96,89	60,60	27,37	33,27	-	CH

Sondaj No	Derinlik (m)	SINIFLANDIRMA					SU İÇERİĞİ W _n (%)	Zemin Sınıfı
		Tane Dağılımı		Atterberg Limitleri				
		200 No Geçen %	10 No Geçen %	LL%	PL%	PI%		
SK - 139	5,00-7,00	7,21	46,32	-	-	-	-	GW-GM/GW
SK -145	2,00-4,00	15,38	61,27	-	-	-	-	SM/SC
SK - 146	4,00-5,50	4,85	59,98	-	-	-	-	SP
SK - 147	2,00-4,00	87,46	100,0	41,00	17,71	23,29	-	CI
SK - 148	2,00-4,00	64,72	95,07	28,90	18,13	10,77	17,40	CL
SK - 150	3,00-5,00	11,16	93,20	-	-	35,29	-	SM/SC
SK - 151	6,00-8,00	4,60	88,55	-	-	-	-	SP
SK - 153	7,00-8,50	6,49	99,53	-	-	-	-	SP-SM/SP-SC

Arazide sondajlar üzerinde alınan örnekler üzerinde laboratuvarında yapılan elek analizleri ve Atterberg limitleri deneyleri sonucunda düşük plastisiteli kil, elastik silt, orta plastisiteli silt, orta plastisiteli kil, yüksek plastisiteli kil (CL, MH, MI, CI, CH) sınıfında zeminler tespit edilmiştir (Şekil 4.7. ve 4.8.).



Şekil 4.7. Özgül Ağırlık Deneyinin Yapılışı



Şekil 4.8. Plastik limit deneyi zemin örnekleri

Alınan kum örnekleri üzerinde laboratuvarında yapılan elek analizi deneyleri sonucunda iyi derecelenmiş kum, killi kum, kötü derecelenmiş kum, siltli kum (SW, SM, SP, SC) sınıfında zeminler tespit edilmiştir (Şekil 4.9. ve 4.10.).



Şekil 4.9. Zemin örneklerinin etüvde kurutulması



Şekil 4.10. Likit limit deneyi (cassagrande yöntemi)

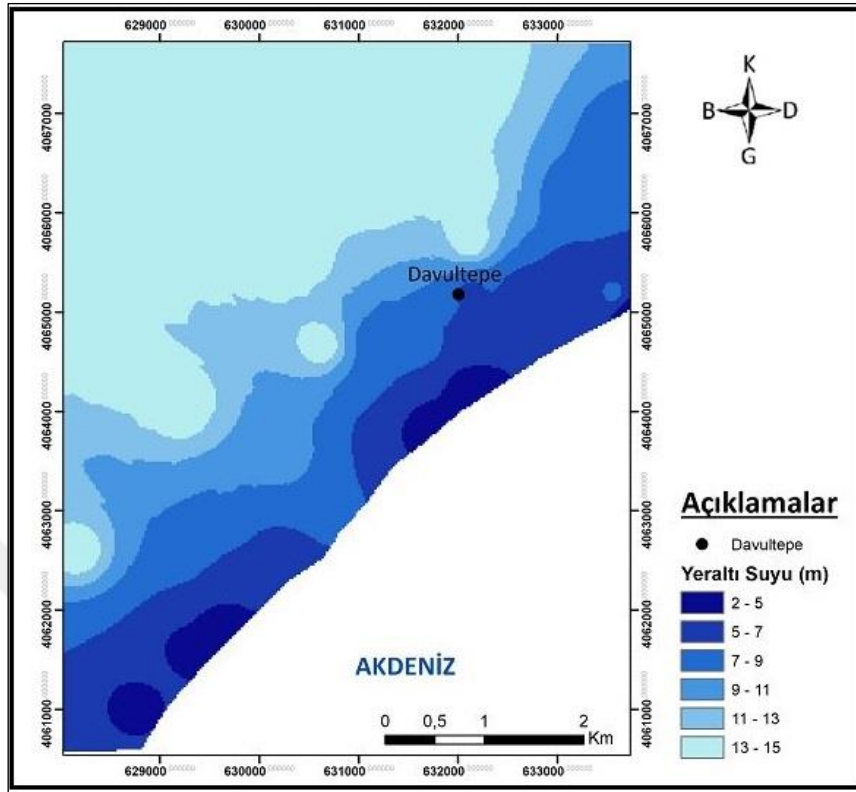
Alınan çakıl örnekleri üzerinde laboratuvarında yapılan elek analizi deneyleri sonucunda iyi derecelenmiş çakıl, killi çakıl, kötü derecelenmiş çakıl, siltli çakıl (GW, GM, GP, GC) sınıfında zeminler tespit edilmiştir (Şekil 4.11.).



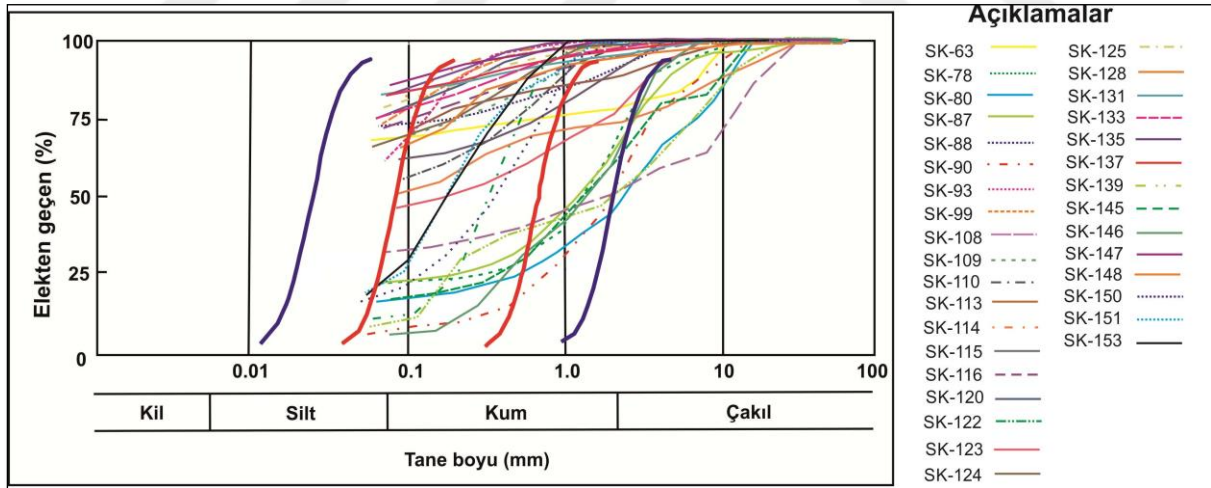
Şekil 4.11. Elek analiz deneyi

Çalışma bölgesinde yapılan sondaj çalışmalarında yeraltı su seviyesi ölçümleri yapılmıştır ve özellikler sahil kesimlerinde su seviyesinin düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.12.). Ayrıca

çalışma bölgesinde elde edilen numuneler üzerinde yapılmış elek analizleri deney sonuçları elek analizi dağılımını gösteren grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.13.).



Şekil 4.12. Çalışma bölgesinin yeraltı su seviyesi (YASS) haritası



Şekil 4.13. Araziden alınan örnekler üzerinde yapılan elek analizi dağılımını gösteren grafik

4.3. Sıvılaşma Potansiyeli Analizi

Mersin ili Mezitli ilçesi Davultepe ve çevresinde yapılan jeolojik ve jeoteknik çalışmalar sonucunda sıvılaşma analizleri çalışma bölgesinde yapılan Stanadart Penetrasyon Deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak yapılmış ve bu bölgenin sıvılaşma potansiyeli haritaları yapılmıştır. Üç farklı deprem büyüklüğü alınarak yapılan sıvılaşma potansiyeli analizleri ve buna bağlı olarak hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritaları incelendiğinde Davultepe ve çevresinde

lokal alanlarda sıvılaşma potansiyeli riski olduğu diğer alanlarda ise sıvılaşma potansiyeli beklenmediği görülmüştür. Sıvılaşma potansiyeli analizlerinde kullanılan girdi parametreleri Tablo 4.4. verilmiştir.

Tablo 4.4. Sıvılaşma analizi için kullanılan veriler

Sondaj No	YASS (m)	SPT-N	γ (kN/m ³)	İTO (%)	D50(mm)	
63	7,5	30	19,51	50,12	0,7	D(m) = 5
80	15	32	17,84	18,96	2,9	
78	7,5	46	17,84	16,73	0,68	Mw= 6,0-6,5-7,0
87	15	30	18,43	17,54	1,98	
88	15	23	19,02	70,08	0,001	a_{max}(g)= 0,132
90	8	22	17,55	5,29	2,4	
93	15	24	19,51	62,94	0,04	
99	15	26	19,31	80,33	0,013	
108	6,5	18	18,63	28,36	2,2	
109	6	22	19,41	65,29	0,01	
110	5	34	18,73	50,13	0,071	
113	15	29	18,92	67,02	0,2	
114	7,9	30	19,41	98,64	0,014	
115	7,8	35	18,63	57,83	0,01	
116	6	31	19,02	73,28	0,006	
120	7	24	19,51	13,46	3	
122	2,5	13	18,43	19,11	0,34	
123	11	18	18,43	38,94	0,34	
124	9	31	18,44	65,23	0,01	
125	5	29	19,22	78,78	0,002	
128	9	31	18,24	48,43	0,1	
131	15	23	18,33	82,48	0,001	
133	8,9	23	19,22	75,62	0,006	
135	6	36	19,22	83,99	0,002	
137	3	24	19,22	83,02	0,0009	
139	2,4	26	18,43	7,21	3	
145	5	38	17,06	15,38	1,6	
146	7	19	18,43	4,85	1,7	

Sondaj No	YASS (m)	SPT-N	γ (kN/m ³)	İTO (%)	D50(mm)	
147	7	23	18,43	87,46	0,001	
148	4,4	28	19,22	64,72	0,02	
150	4	18	19,31	11,16	0,7	
151	5	13	19,22	4,6	0,5	
153	3	9	19,22	5,78	0,28	

Seed ve Idriss [9] yöntemi ile sıvılaşma potansiyeli incelenen sondajlarda, deprem büyüklüğü 6,0 olan senaryoda SPT-N darbe sayısı aralığının 0-15 arasında olduğu ve zemin tabaklarının bazı kesimlerinde sıvılaşma potansiyeli olduğu gözlemlenmiştir. SPT-N darbe sayısının 15-25 aralığında olması durumunda ise YASS ve ince tane oranı yüzdesi gibi özelliklere bağlı olarak zemin tabakalarının sıvılaşma potansiyelinde farklılıklar oluşmaktadır ve SPT-N darbe sayısının 25 ve üstü olduğu zemin tabakalarında ise büyük çoğunluğunda sıvılaşma gözlemlenmemiştir.

Deprem büyüklüğü 6,5 olarak alındığında SPT-N_{arazi} sayısı, ince tane oranı yüzdesi (FC), YASS seviyesi gibi faktörlere bağlı olarak bölgenin sahil kesimlerinin daha çok tehlikesi altında olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.12).

Deprem büyüklüğü 7,0 olarak alındığında ise sahil kesimlerinin yarıya yakın kısmının sıvılaşma tehlikesi altında olduğu görülmüştür (Şekil 4.16, 4.17).

Tablo 4.5. Deprem büyüklüğü 6,0 olan senaryoya göre sıvılaşma analiz sonuçları

Sondaj No	(N1) ₆₀	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG (kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Zemin Durumu
63	5	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
80	3,4	89,25	89,25	0,965	7,39	0,083	-	-	-	S. Yoktur
78	2,9	89,25	89,25	0,965	7,39	0,083	-	-	-	S. Yoktur
87	3,1	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
88	5	95,15	95,15	0,965	7,88	0,094	-	-	-	S. Yoktur
90	0	87,75	87,75	0,965	7,27	0,083	-	-	-	S. Yoktur
93	5	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
99	5	96,6	96,6	0,965	8	0,083	-	-	-	S. Yoktur
108	4,6	93,15	93,15	0,965	7,72	0,083	-	-	-	S. Yoktur
109	5	97,1	97,1	0,965	8,04	0,083	-	-	-	Sıvılaşabilir
110	5	93,65	93,65	0,965	7,76	0,083	6,75	0,128	1,54	S. Yoktur

Sondaj No	(N1) ₆₀	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG (kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Zemin Durumu
113	5	94,65	94,65	0,965	7,84	0,083	-	-	-	S. Yoktur
114	5	97,1	97,1	0,965	8,04	0,083	-	-	-	S. Yoktur
115	5	93,15	93,15	0,965	7,72	0,083	-	-	-	S. Yoktur
116	5	95,15	95,15	0,965	7,88	0,083	-	-	-	S. Yoktur
120	2	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
122	3,5	92,2	67,68	0,965	7,64	0,013	4,14	0,108	0,96	S. Vardır
123	5	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
124	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
125	5	91,2	91,2	0,965	7,55	0,083	6,57	0,128	1,54	S. Yoktur
128	5	91,7	91,7	0,965	7,6	0,083	-	-	-	S. Yoktur
131	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
133	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
135	5	9,8	9,8	0,965	0,81	0,083	-	-	-	S. Yoktur
137	5	92,2	72,58	0,965	7,64	0,105	5,23	0,128	1,21	Sıvılaşabilir
139	0,2	85,3	59,79	0,965	7,07	0,118	2,92	0,086	0,73	S. Vardır
145	2,6	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	5,17	0,099	1,2	Sıvılaşabilir
146	0	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
147	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
148	5	97,6	91,71	0,965	8,09	0,088	6,61	0,128	1,45	S. Yoktur
150	1,3	96,6	86,79	0,965	8	0,092	4,34	0,088	0,96	S. Vardır
151	0	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	4,72	0,087	1,05	Sıvılaşabilir
153	0	96,1	76,48	0,965	7,96	0,104	3,75	0,087	0,83	S. Vardır

Tablo 4.6. Deprem büyüklüğü 6,5 olan senaryoya göre sıvılaşma analiz sonuçları

Sondaj No	(N1) ₆₀	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG (kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Zemin Durumu
63	5	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
80	3,4	89,25	89,25	0,965	7,39	0,083	-	-	-	S. Yoktur
78	2,9	89,25	89,25	0,965	7,39	0,083	-	-	-	S. Yoktur
87	3,1	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
88	5	95,15	95,15	0,965	7,88	0,083	-	-	-	S. Yoktur
90	0	87,75	87,75	0,965	7,27	0,083	-	-	-	S. Yoktur

Sondaj No	(N1) ₆₀	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG (kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Zemin Durumu
93	5	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
99	5	96,6	96,6	0,965	8	0,083	-	-	-	S. Yoktur
108	4,6	93,15	93,15	0,965	7,72	0,083	-	-	-	S. Yoktur
109	5	97,1	97,1	0,965	8,04	0,083	-	-	-	S. Yoktur
110	5	93,65	93,65	0,965	7,76	0,083	6,75	0,104	1,25	Sıvılaşabilir
113	5	94,65	94,65	0,965	7,84	0,083	-	-	-	S. Yoktur
114	5	97,1	97,1	0,965	8,04	0,083	-	-	-	S. Yoktur
115	5	93,15	93,15	0,965	7,72	0,083	-	-	-	S. Yoktur
116	5	95,15	95,15	0,965	7,88	0,083	-	-	-	S. Yoktur
120	2	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
122	3,5	92,2	67,68	0,965	7,64	0,113	4,14	0,088	0,78	S. Vardır
123	5	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
124	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
125	5	91,2	91,2	0,965	7,55	0,083	6,57	0,104	1,25	Sıvılaşabilir
128	5	91,7	91,7	0,965	7,6	0,083	-	-	-	S. Yoktur
131	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
133	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
135	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
137	5	92,2	72,58	0,965	7,64	0,105	5,23	0,104	0,99	S. Vardır
139	0,2	83,5	59,79	0,965	7,07	0,118	2,92	0,07	0,6	S. Vardır
145	2,6	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	5,17	0,81	0,98	S. Vardır
146	0	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
147	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
148	5	97,6	91,71	0,965	8,09	0,088	6,61	0,104	1,18	Sıvılaşabilir
150	1,3	96,6	86,79	0,965	8	0,092	4,34	0,072	0,78	S. Vardır
151	0	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	4,72	0,071	0,85	S. Vardır
153	0	96,1	76,48	0,965	7,96	0,104	3,75	0,071	0,68	S. Vardır

Tablo 4.7. Deprem büyüklüğü 7,0 olan senaryoya göre sıvılaşma analiz sonuçları

Sondaj No	(N1) ₆₀	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG (kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Zemin Durumu
63	5	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur

Sondaj No	(N1) ₆₀	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG (kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Zemin Durumu
80	3,4	89,25	89,25	0,965	7,39	0,083	-	-	-	S. Yoktur
78	2,9	89,25	89,25	0,965	7,39	0,083	-	-	-	S. Yoktur
87	3,1	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
88	5	95,15	95,15	0,965	7,88	0,083	-	-	-	S. Yoktur
90	0	87,75	87,75	0,965	7,27	0,083	-	-	-	S. Yoktur
93	5	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
99	5	96,6	96,6	0,965	8	0,083	-	-	-	S. Yoktur
108	4,6	93,15	93,15	0,965	7,72	0,083	-	-	-	S. Yoktur
109	5	97,1	97,1	0,965	8,04	0,083	-	-	-	S. Yoktur
110	5	93,65	93,65	0,965	7,76	0,083	6,75	0,086	1,04	Sıvılaşabilir
113	5	94,65	94,65	0,965	7,84	0,083	-	-	-	S. Yoktur
114	5	97,1	97,1	0,965	8,04	0,083	-	-	-	S. Yoktur
115	5	93,15	93,15	0,965	7,72	0,083	-	-	-	S. Yoktur
116	5	95,15	95,15	0,965	7,88	0,083	-	-	-	S. Yoktur
120	2	97,6	97,6	0,965	8,09	0,083	-	-	-	S. Yoktur
122	3,5	92,2	67,68	0,965	7,64	0,113	4,14	0,073	0,65	S. Vardır
123	5	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
124	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
125	5	91,2	91,2	0,965	7,55	0,083	6,57	0,086	1,04	Sıvılaşabilir
128	5	91,7	91,7	0,965	7,6	0,083	-	-	-	S. Yoktur
131	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
133	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
135	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
137	5	92,2	72,58	0,965	7,64	0,105	5,23	0,086	0,82	S. Vardır
139	0,2	85,3	59,79	0,965	7,07	0,118	2,92	0,058	0,49	S. Vardır
145	2,6	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	5,17	0,067	0,81	S. Vardır
146	0	92,2	92,2	0,965	7,64	0,083	-	-	-	S. Yoktur
147	5	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	-	-	-	S. Yoktur
148	5	97,6	91,71	0,965	8,09	0,088	6,61	0,086	0,97	S. Vardır
150	1,3	96,6	86,79	0,965	8	0,092	4,34	0,06	0,65	S. Vardır
151	0	96,1	96,1	0,965	7,96	0,083	4,72	0,059	0,71	S. Vardır
153	0	96,1	76,48	0,965	7,96	0,104	3,75	0,059	0,56	S. Vardır

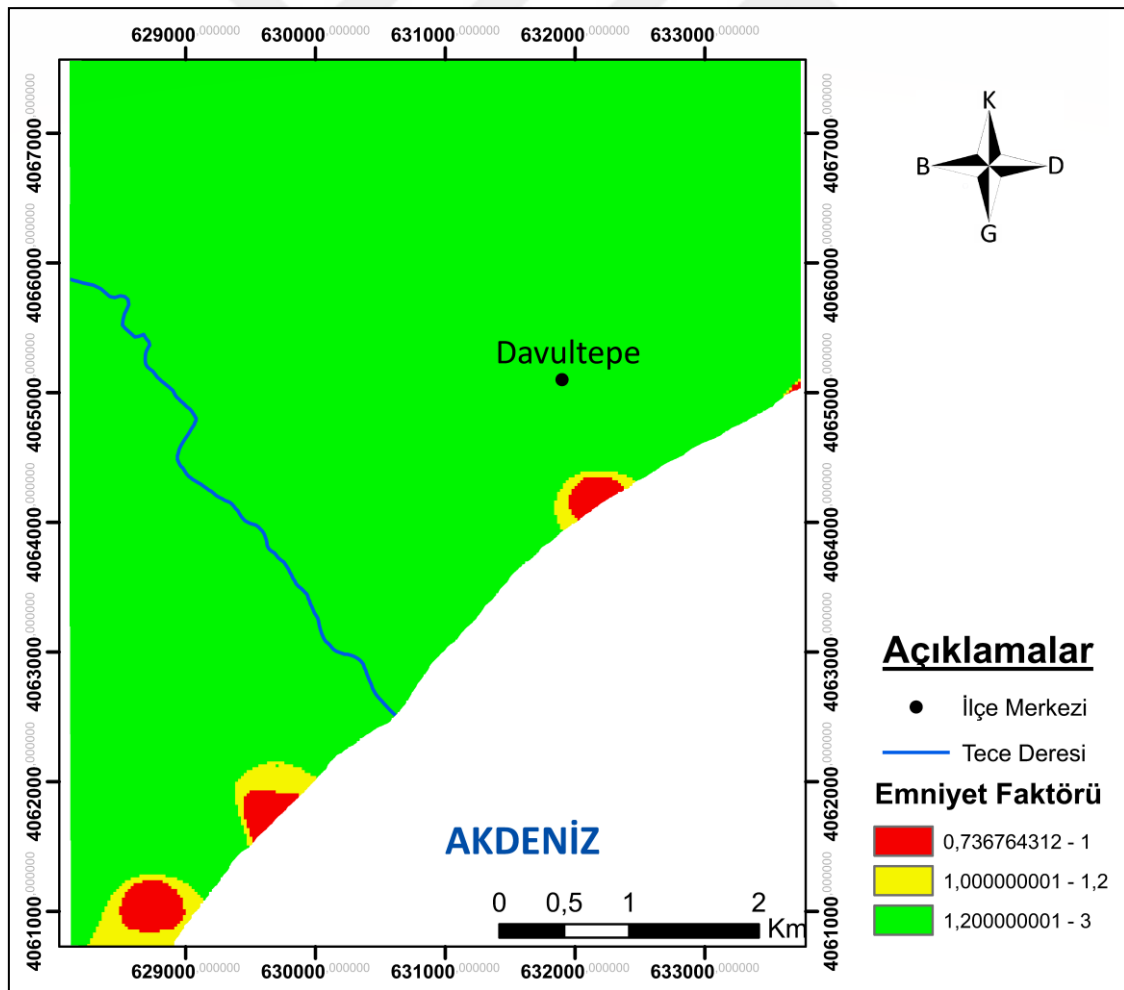
Emniyet Faktörü Mantıksal Formül;

$EF \leq 1$; "Sıvılaşma Vardır." (4.1)

$1 < EF \leq 1,2$; "Sıvılaşabilir."

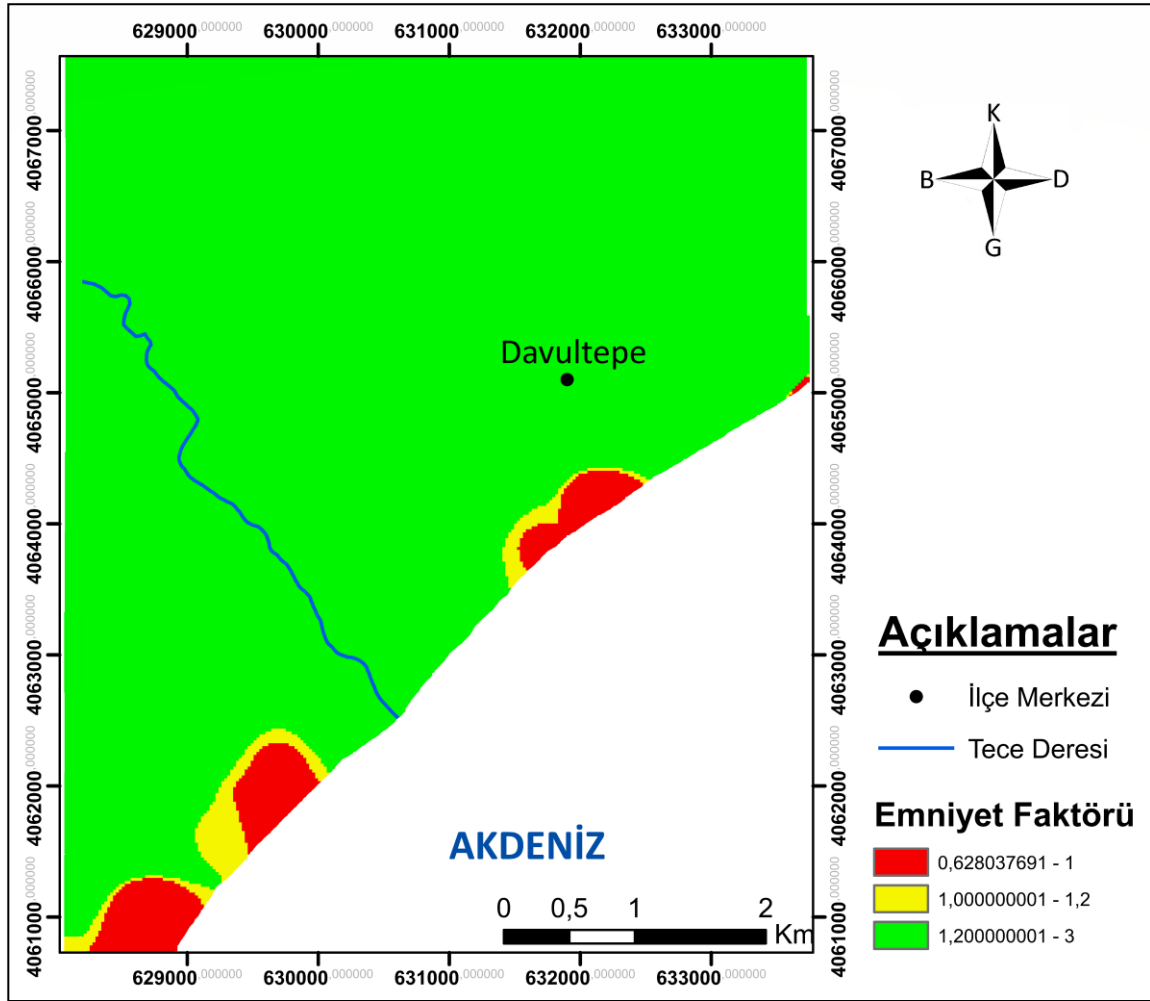
$EF > 1,2$; "Sıvılaşma Yoktur." [61].

Çalışma bölgesinde 6,0 büyüklüğünde oluşabilecek bir deprem senaryosu için elde edilen veriler incelendiğinde, çalışma alanındaki 122, 139, 150 ve 153 nolu sondaj koordinatların olduğu yerlerde sıvılaşma güvenlik katsayısı 1'in altında olduğu için sıvılaşan bölge olarak değerlendirilirken; 137, 145, ve 151 nolu sondaj koordinatların olduğu bölgede ise sıvılaşma güvenlik katsayısı 1-1,2 arasında olduğu için sıvılaşabilir bölge olarak değerlendirilmektedir. Geriye kalan bölgeler ise sıvılaşma görülmeyen bölgeler olarak değerlendirilmiştir. (Şekil 4.13).



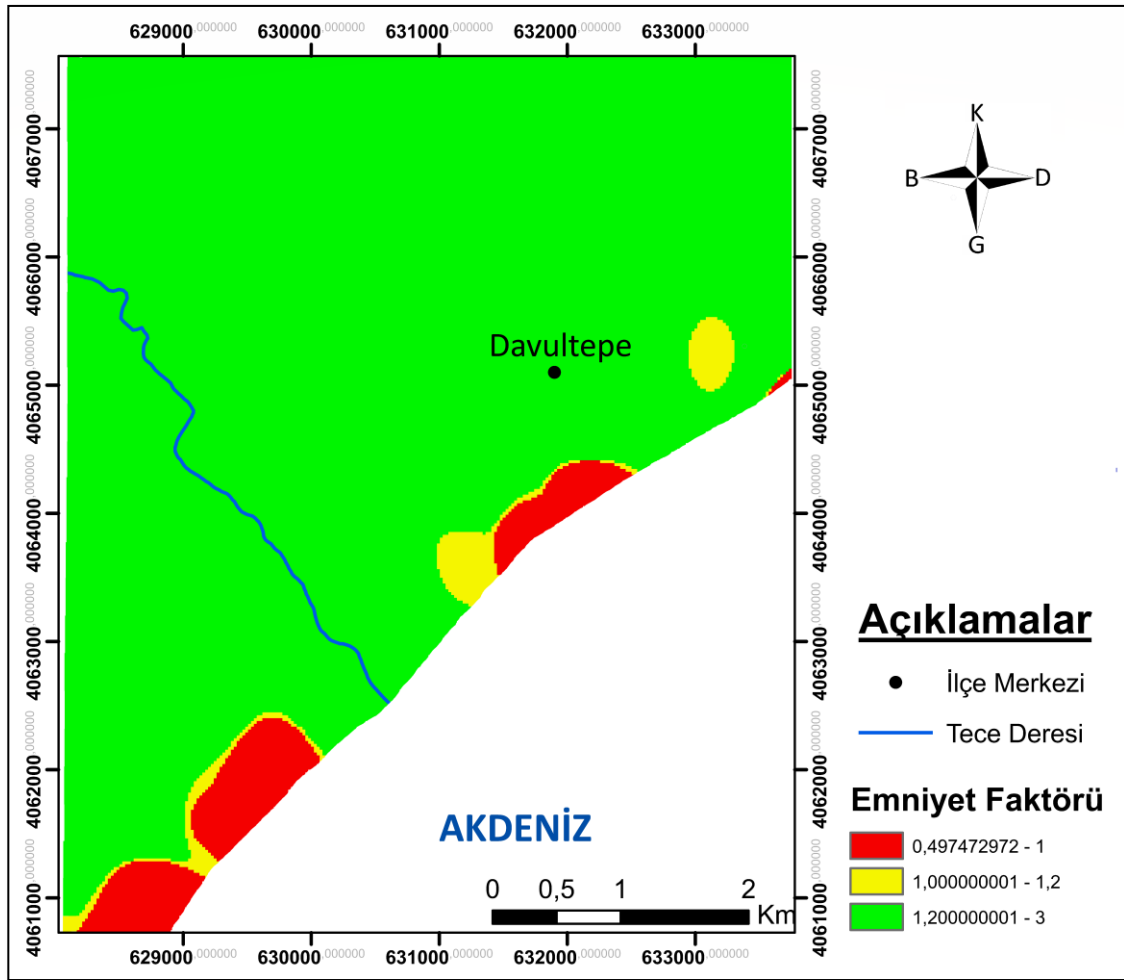
Şekil 4.14. Büyüklüğü 6,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası

Çalışma bölgesinde 6,5 büyüklüğünde oluşabilecek bir deprem senaryosu için elde edilen veriler incelendiğinde, 122, 137, 139, 145, 150, 151 ve 153 nolu sondaj koordinatları sıvılaştırılan bölge ve 110, 125 ve 148 nolu sondaj koordinatlarında sıvılaştırılabilir bölge olarak değerlendirilirken geriye kalan bölgeler ise sıvılaşma görülmeyen yerler olduğu görülmüştür (Şekil 4.14.).



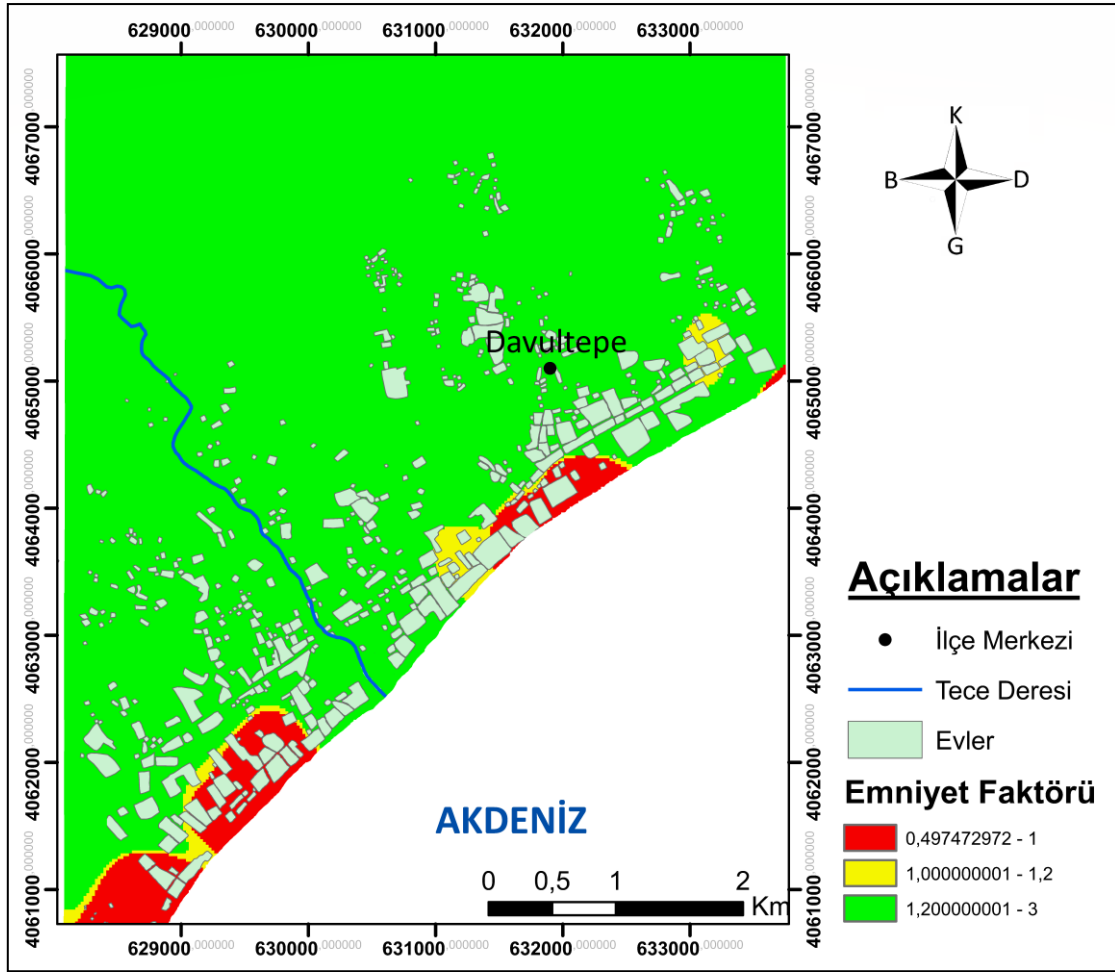
Şekil 4.15. Büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası

Çalışma bölgesinde 7,0 büyüklüğünde oluşabilecek bir deprem senaryosu için elde edilen verilere incelendiğinde, 122, 137, 139, 145, 148, 150, 151 ve 153 nolu sondaj koordinatlarında, sıvılaşan bölge 110 ve 125 nolu sondaj koordinatlarında ise sıvılaşabilir bölgeler diğer bölgelerde ise sıvılaşma riskinin olmadığı görülmektedir (Şekil 4.15.). Ayrıca, 7,0 büyüklüğünde bir deprem senaryona göre sıvılaşma meydana gelebilecek bölgelerin yerleşim yoğunluk haritası şekil 4.16'te verilmiştir.



Şekil 4.16. Büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası

Haritada yeşil olarak gösterilen bölgelerde sıvılaşma riskinin görülmemesinin temel sebebi yeraltı su seviyesinin SPT'nin yapıldığı seviyenin altında bulunması, bunun yanı sıra bölgenin sahil kısmında tece derisinin doğu ve batısında kalan bölgelerin daha çok çakıllı ve kalışlı birimlerden oluşması ve yine aynı şekilde yeraltı su seviyesinin derinde bulunmasıdır.



Şekil 4.17. Büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosuna göre oluşabilecek sıvılaşma bölgelerinin yerleşim yoğunluğu haritası

Çalışma bölgesinde 33 farklı noktada yapılan sondaj kuyularından alınan örnekler ve bölgede yapılan arazi deneyleri incelendiğinde, çalışma bölgesinde çoğunluğunu alüvyon birimlerine sahip zeminlerinden oluştuğu görülmektedir. Bölgede yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen veriler üzerinde Seed ve Idriss (9) yöntemine göre yapılan sıvılaşma potansiyeli analizleri sonucunda; bölgede alüvyon zeminlerin yeraltı su seviyesine ve ince tane oranına bağlı olarak sıvılaşma potansiyeline sahip bölgelerin olduğu belirlenmiştir. Farklı çalışmalar ve farklı bölgelerdeki alüvyonal zeminlerdeki yapılan sıvılaşma potansiyeli analizleri incelendiğinde yeraltı su seviyesi ve ince tane oranına bağlı olarak benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Denizli ili merkez mahallelerinde yapılan jeoteknik çalışmalar sonucunda, çalışma bölgelerinde genellikle sıvılaşabilir nitelikte kumlu zeminlerden oluştuğu ve suya doymun oldukları belirtilmiştir. Yineağa mahallesinde yapılan sıvılaşma potansiyeli çalışmalarında, sondaj kuyusunda belirli bir derinliğe kadar kil olarak devam eden zemin profili daha sonra

kumlu birimler ile devam etmektedir. Bu nedenle bu derinliğe kadar sıvılaşma beklenmediği belirtilmiştir. Ancak, daha derinlere inildikçe zeminin kumlu ve suya doygun olmasından dolayı, sıvılaşmanın gerçekleşebileceği belirtilmiştir [97].

Van'ın Erciş ilçesinde yapılan jeoteknik çalışmalar ile o bölgenin sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Çalışma bölgesinde iki farklı yöntem kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli indeksi, hesaplamalarında, güncel alüvyonlarda, gevşek kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli Van Gölü'ne doğru gidildikçe çok yüksek orta kesimlerde yüksek ve kuzey taraflarında kalan alanlarda ise düşük olarak belirtilmiştir. Sıvılaşma şiddeti indeksi hesaplamalarında ise, güncel alüvyonlarda ve Van Gölü'ne yakın kesimlerde orta ve yüksek olarak değişkenlik göstermişlerdir [98].

Balıkesir Burhaniye ilçesinde yapılan jeoteknik çalışmalar sonucunda çalışma bölgesinde genellikle kumlu ve siltli birimlerden oluştuğu belirtilmiştir. Yapılan sıvılaşma potansiyeli çalışmaları neticesinde üniform kum, siltli kum, düzgün tane dağılımlı kum, siltli kum, yer yer çakıllı birimlerden oluşan zeminler ince tane oranı ve yeraltı su seviyesi göz önünde bulundurulduğunda sıvılaşma potansiyelinin yüksek ve çok yüksek olduğu belirtilmiştir [99].

Mersin Mezitli ilçesinde yapılan jeoteknik çalışmalar sonucunda çalışma bölgesinde genellikle kumlu ve alüvyonal birimlerden oluştuğu belirtilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli analizleri sonucunda sahil kesimlerin yeraltı su seviyelerinin yüzeye yakın olması ve gevşek çökellerden oluştuğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra ince tane oranına sahip killi seviyelerde sıvılaşma riski gözlenmemiştir. Sıvılaşma risk haritaları incelendiğinde ise genellikle sahil lesimlerinde özellikle yerleşim alanlarının yoğunlukta olduğu yerlerde sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu belirtilmiştir [100].

Bu [97,98,99,100] çalışmalar incelendiğinde alüvyon ve kumlu zeminlerde yapılan sıvılaşma potansiyeli analizleri incelendiğinde genellikle bu birimleri içeren zeminlerin yeraltı su seviyesi ve ince tane oranına bağlı olarak sıvılaşma riski olabileceği anlaşılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan sıvılaşma potansiyeli analiz çalışmaları da göstermektedir ki alüvyon ve kumlu birimlerin bulunduğu bölgelerde yeraltı su seviyesi ve ince tane oranına bakılarak sıvılaşma riski taşıdığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak alüvyonal birimlere sahip zeminlerin tane boyları ve yeraltı su seviyelerine bağlı olarak sıvılaşma potansiyellerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Davultepe yerleşim alanının Mersin'nin kıyı bölgesine yakın kesimlerinde bulunması, yeraltı su seviyesinin zemin tabanına yakın olması ve yerleşim alanlarının gevşek kumlu-çakıllı alüvyonal zeminlerin üzerinde bulunması nedeniyle bu bölgeler, sıvılaşma riski yüksek olan bölgeler olarak değerlendirilmiştir.

Yerleşim bölgesinin sıvılaşma riski incelenirken öncelikle arazide yapılan çalışmalar ve zeminlerin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler ve ön çalışmalar neticesinde, sıvılaşma potansiyeli riski ön değerlendirme çalışmalarında önemli bir etken olmuştur.

Çalışma bölgesinde sıvılaşma potansiyeline sahip alanlarda daha önceden sıvılaşma olmadığı literatür araştırmaları, arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Bunun sonucunda, bölgedeki zeminlerin sıvılaşma yükünü atmadığı ve sıvılaşmaya karşı direncinin az olduğu anlaşılmaktadır. Davultepe yerleşim alanlarının bazı kıyı kesimlerinde üzerine oturduğu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli riski taşıdığı, yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri neticesinde belirlenmiştir.

Çalışma bölgesinin sıvılaşma durumu incelenirken sıvılaşmayı başlatmak için gerekli olan tekrarlı gerilmeler üç farklı deprem senaryosunda gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar için gerekli jeoteknik veriler arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından elde edilmiştir. Yapılan 33 adet sondaj ile 5 metre sabit derinlikte SPT sonuçları, SPT seviyesindeki zemin sınıfları, elek analizi sonucu ile elde edilen ince tane oranı (D_{50} mm), zeminlerin birim hacim ağırlıkları ve yeraltı su seviyesi verileri, sıvılaşma potansiyeli analizlerinde girdi parametreleri olarak kullanılmıştır.

Yapılan sıvılaşma potansiyeli analizleri sonucunda, sıvılaşma potansiyeline sahip ve sıvılaşmanın oluşacağı alanların daha çok sahil bölgesindeki kumlu ve alüvyonal zeminlerin üzerine yapılmış yerleşim alanlarında olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, bu bölgedeki yeraltı su seviyesinin zemin tabanına yakın olması ve gevşek kumlu zeminlerin bulunmasıdır. Bölgede bulunan ve zemin tabanına yakın yeraltı su seviyesinin, mevcut yapılarda ve daha sonrasında yapılacak olan yapılar için büyük tehlike arz ettiği belirlenmiştir. Daha sonrasında yapılacak olan yapılar, mutlaka, yeraltı su seviyesinin altında ve sert bir zemin üzerinde olmalıdır. Ayrıca, arazide yapılan SPT deneylerindeki darbe sayılarının, zemin içerisinde bulunan büyük çakıllar nedeniyle, yüksek değerler verdiği görülmüştür. Bu yüzden, SPT'ye dayalı sıvılaşma potansiyeli analizleri yapılırken bu duruma dikkat edilmeli ve SPT verileri laboratuvar deney sonuçları ile karşılaştırıldıktan sonra değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir.

Bu bilgilere ek olarak, çalışma bölgesinin sahile yakın kesimlerdeki bazı bölgelerinde tane boyu açısından sıvılaşma potansiyeline sahip birimler bulunmasına rağmen, bu birimlerin olduğu bölgelerde yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması sebebiyle bu bölgeler sıvılaşma potansiyeli beklenmeyen alanlar olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, yine sahil bölgelerinde ince tane oranına

sahip killi seviyelerde de sıvılaşma potansiyeli riski gözlenmemiştir. Fakat, Mersin ili yıllık yağış rejimi göz önüne alındığında, yeraltı su seviyesinde yükselim gerçekleşebilir. Bu yüzden, bu bölgelerde düzenli olarak yeraltı su seviyesi ölçümleri yapılarak bölgenin dinamik yeraltı su seviyesinin belirlenmesi önerilmektedir.

Sıvılaşma sırasında deprem süresi önemli bir etkidir. Deprem 5 saniye sürmesi ile 50 saniye sürmesi çok farklıdır. 5 saniyelik bir depremde gerekli zemin koşulları sağlansa bile sıvılaşma olmayabilir. Ama daha uzun süreli depremlerde ise sıvılaşma kaçınılmazdır. Sıvılaşma potansiyeli analizlerinde kullanılan yazılımlarda bu deprem süresi etkisinin de dahil edilip daha gelişmiş programlar yapılabileceği önerilmektedir.

Çalışma bölgesinin sıvılaşma potansiyel risk haritaları incelendiğinde, sıvılaşma olabilecek yerlerde yapılacak yerleşim yerleri için zemin etütlerinin dikkatli ve hassas bir şekilde yapılması, ayrıca, yapıların inşa edileceği yerlerde “Fore Kazık”, “Jet Kolon” ve “Enjeksiyon” gibi güçlendirici sistemler kullanılmalıdır. Bunlara ek olarak, zeminlerde daha ayrıntılı sıvılaşma analizleri yapılarak sıvılaşma potansiyeline sahip bölgelerde drenaj teknikleri, sıkıştırma enjeksiyonu ve dinamik kompaksiyon gibi yöntemler de kullanılarak zemin sıvılaşmasına karşı önlemler alınabilir. Bütün değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda zeminler içerisinde bulunan alt yapı tesislerinin (su ve kanalizasyon boruları, telekom ve elektrik kabloları vb.) sıvılaşma sırasında oluşabilecek oturmalarından en az düzeyde etkilenmesi için, yapımlarına dikkat edilmelidir.

Son olarak, bölgede açılan sondajların sıvılaşma potansiyeli analizleri için yetersiz olduğu görülmüştür. Daha ayrıntılı sıvılaşma analizleri için, sondaj sayısının artırılması ve sahil hattı boyunca daha sık aralıklarla sondajların yapılması sağlıklı sonuçlar vermesi açısından önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Tanyaş M., Günelay Y. ve Aksoy L. (2013). *İstanbul İli Afet Lojistik Planı Klavuzu*, İstanbul Kalkınma Ajansı Raporu, DFD-39, İstanbul.
- [2]. Deprem nedir 16 Kasım 2020 tarihinde <https://www.afad.gov.tr/en/4379/Deprem-Nedir> adresinden erişildi.
- [3]. Türkiye Deprem Tehlike Haritası 16 Kasım 2020 tarihinde <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> adresinden erişildi.
- [4]. Mollamahmutoğlu, M., ve Babuşcu, F. (2006). *"Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri"*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- [5]. Casagrande, A. (1936). Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Earth Fills, Journal of Boston Society of Civil Engineers (1925-1960), Reprinted in Contributions to Soil Mechanics, *Journal of Boston Society of Civil Engineers*.
- [6]. Castro, G. (1969). Liquefaction of sands, Harvard Soil, Mechanics Series, No.87, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, ABD.
- [7]. Mike Jefferies, K. B. (2016). *"Soil Liquefaction A Critical State Approach"*, Second.; CRC Press: ABD.
- [8]. Babuşcu, F. (2002). *"Zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin ve sıvılaşma sonucu oturma spt ve cpt verilerine dayalı analiz yöntemleri üzerine bilgisayar yazılımı"*, yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [9]. Seed, H. B. ve Idriss, I. M. (1971). *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9.
- [10]. <https://www.esri.com/en-us/home>.
- [11]. Mersin haritası 12 Aralık 2019 tarihinde https://www.wikiwand.com/tr/Mersin%27in_il%C3%A7eleri adresinden erişildi.
- [12]. MGM (2020). Mersin ili sıcaklık ve yağış ortalamaları. 25 Şubat 2020 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN> adresinden erişildi.
- [13]. Dr. Selim İnan (2005). *"12 Kasım 1999 Düzce Depremi Yıldönümünde Deprem Gerçeği ve Mersin'in Depremselligi"* Çiftlikköy Merkez Konferans Salonu. Mersin: Mersin Üniversitesi.
- [14]. Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman T.Y. (1998). Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. M.T.A., Ankara, 46s (yayımlanmamış).
- [15]. AFAD (2020). Deprem tehlike haritası. 25 Şubat 2020 tarihinde <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> adresinden erişildi.
- [16]. Erdik M., Doyuran V. Akkay N. and P. Güllan, (1985). A Probabilistic Assessment of the Seismic Hazard in Turkey, *Tectonophysics*, 117: 295-344.
- [17]. AFAD (2020). Tarihsel depremler. 25 Ekim 2020 tarihinde <https://deprem.afad.gov.tr/tarihseldepremler> adresinde erişildi.
- [18]. Casagrande, A., (1938). *Notes on Soil Mechanics-First Semester*, Harvard University (unpublished), 129 p.
- [19]. Mogami, T. ve Kubo, K. (1953). The Behaviour of Soil During Vibration Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 152-153.
- [20]. Seed, H. B. (1966). A Method for Earthquake Resistant Design of Earth Dams, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 92, 13-41.
- [21]. Işık, vd. (2016), Fethiye yerleşim alanındaki zeminlerin spt ve kayma dalga hızı verileriyle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, *Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 31:4 (2016) 1027-1037.
- [22]. Ishihara, K. (1996). Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics, *The Oxford Engineering Science Series*, Oxford, England.
- [23]. Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- [24]. Erken, A., Özay, R. Kaya, Z. Ülker, M.C. ve Elibol, B. (2003). Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431.

- [25]. Özaydın, K. Zeminlerde sıvılaşma, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı* 2007, İstanbul.
- [26]. Akın, KM., Akın, M. Akkaya, İ. Özvan, A. Üner, S. Selçuk, L. Tapan, M. (2015). Mikrobölgeleme çalışmasına altlık oluşturmak üzere Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs zemininin dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 39 (1).
- [27]. Sönmez, H., Gökçeoğlu, C. (2005), A liquefaction severity index suggested for engineering practice. *Environmental Geology*, 48, 81-91.
- [28]. Ateş, A., (2017). Gölyaka (Düzce) İmara Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sıvılaşma Riskinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20 (4): 753-763.
- [29]. Esin, G., Ceryan, Ş. (2015). Burhaniye (Balıkesir) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 36 (2), 81-89, Ankara.
- [30]. Bol, E., Arel, E. Önalp, A. (2007). Yerel zemin koşullarının deprem hasarına etkisi Adapazarı örneği, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- [31]. Koç, G., (2007). Gölçük ve Çevresinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [32]. Tokimatsu, K., ve Yoshimi, Y. (1983). Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content, *Soil and Foundations*, 23, 4, 56-74.
- [33]. Özaydın, K., (2007). Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul Sixth National Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey.
- [34]. Bayrakçı, E., Pekkan, E. Avdan, U. Güney, Y. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sondaj Derinliğinin Sıvılaşma Analizine Etkisinin Belirlenmesi (Eskişehir Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt:5, No:2, 2013 (50-60).
- [35]. Alpaslan, N., Zemin Sıvılaşması ve Mekanizması, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt:3, Sayı:2, 2013, Batman.
- [36]. Sönmezer, YB., Çeliker, M. Kılınç, M. Kırıkkale ili Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sisteminde Analizi, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol:4, No:1, January 2012.
- [37]. Aydın, C., (2015). Sıvılaşma analizi ile ilgili bir inceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38]. Atak, V.O. Aksu, O. Bircan, Ö. Aydan, Ö. Koca, H. ve Karakaya, M. (2005). Zemin Sıvılaşması ve Faylanmaya Bağlı Yer Değişimlerinin Hava Fotoğrafları Yardımıyla Tespiti, *Harita Dergisi*, 134, 44-60.
- [39]. Erdoğan, S., (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çoklu Karar Verme Tekniği Kullanılarak Erdemli (Mersin) Kentsel Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [40]. Kavurmacı, M., (2017). Coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi, *Aksaray Örneği, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 23 (3), 303-311, Isparta.
- [41]. Ulusay, R., Aydan, Ö. Kumsar, H. Sönmez, H. ve Tuncay, E. "Türkiye' de Son Depremlerde Görülen Sıvılaşma Olgusu ve Batı Anadolu' da Sıvılaşma Potansiyeline Genel Bir Bakış", *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, 323-336 ss, (2000).
- [42]. Ulusay R., 2000. Zemin Sıvılaşması, *Mavi Gezegen Dergisi*, Sayı: 2, 47-56.
- [43]. Ulusay, R., ve Aydan, Ö. (2004). Geo-engineering evaluation of the 2003 Bingöl earthquake. Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, A.A. Chatzipetros and S.B. Pavlides (eds.), 14-20 April 2004, Thessaloniki, Greece, Vol. 2, pp. 960-963.
- [44]. Sönmez, H., "Modification of the Liquefaction Potential Index and Liquefaction Susceptibility Mapping for a Liquefaction-prone Area (İnegöl/Turkey)", Springer- Verlag, *Environmental Geology* 44, 862-871, 10p, (2003).
- [45]. Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman T.Y. (1998). Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. M.T.A., Ankara, 46 s (yayımlanmamış).
- [46]. Ünlügenç, U. (1986). Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının Jeoloji İncelemesi. *Çukurova University Geology Department Science Institute Master Thesis*, 77p.

- [47]. Schmidt, G., (1961). VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü, *Petrol Dergisi Yayınları*, 6. 47 – 63, Ankara.
- [48]. Bozkurt, A. (2009). *Güzeloluk ve Yakın Yöresinin (Erdemli Kuzeyi Mersin) Tektonostratigrafik Özellikleri*, yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [49]. Şenol, M., Kapur, S. ve Şahin, Ş. (1993). Adana Havzası Kuvaterneri. İ.T.Ü. Maden Fak. Türkiye Kuvaterneri Workshop Bildiri Özleri, İstanbul, 24-27.
- [50]. Mogami, T. ve Kubo, K. (1953). *The Behaviour of Soil During Vibration*, Proceedings of the third international conference on soil mechanics and foundation engineering, volume I, Switzerland.
- [51]. Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. Tuncay, E. (2001). Jeoteknik Etütler için Veri Toplama ve Değerlendirme Teknikleri, "Türkiye'nin Afet Yönetim Sisteminin İyileştirilmesi" Proje Kapsamı Ek Notlar, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Vakfı, Ankara.
- [52]. Shibata, T., Oka, F. and Ozawa, Y. (1996). Characteristics of ground deformation due to liquefaction, Special Issue of Soils and Foundations, *Japanese Geotechnical Society*, 65-79.
- [53]. Aydan, Ö., (1997). A simplified finite element approach for modeling the lateral spread of ground, *Proceedings of the 2nd Japan-Turkey Workshop on Earthquake Disaster Prevention Research in Turkey*, İstanbul, JICA-İTÜ, pp. 1-10.
- [54]. Youd, T. L., (1984). Geological effects-liquefaction and associated ground failure, Geological and Hydrogeological Hazards Training Program, United States Geological Survey Open-File Report 87-76, 210-232.
- [55]. Mollamahmutoğlu, M. ve Babuçcu, F. (2006). "Zeminlerde sıvılaşma analiz ve iyileştirme yöntemleri" Gazi Kitabevi, Ankara.
- [56]. Lade, P. V. ve Yamamuro, J. A. (1998). *Remedial Measures Against Soil Liquefaction from Investigation and Design to Implement*, Edited by Japanese Geotechnical Society A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfeild.
- [57]. Lade, P. V. ve Yamamuro, J. A. (1999). *Physics and Mechanics of Soil Liquefaction* Poceeding of the International Workshop on the Physics and Mechanics of Soil Liquefaction/Baltimore/Maryland/USA.
- [58]. WANG, J.G.Z.Q. and LAW, K.T. (1994). *Siting in Earthquake Zones*, Balkema, Rotterdam, 115 p.
- [59]. A.S.T.M. D. 1586-99. Standard Method of Test for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils In: 1990. *Annual Book of A.S.T.M. Standards*. Philadelphia, 1092.
- [60]. Yürekli, H., (2012). *Nazilli (Aydın) İlçesi Kent Merkezi ve Yakın Çevresindeki Zeminlerin Jeolojik ve Jeoteknik İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çankkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çankkale.
- [61]. Seed, H. B. ve De Alba, P. (1986). Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils, *Proceedings, Insitu, ASCE*.
- [62]. Erol, O., ve Çekinmez, Z. (2014). Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, *Yüksel Proje Yayınları* No:14-01, Ankara.
- [63]. Coduto, D.P. (2001). *Foundation design: principle and practices* (Second edition). Upper Saddle River: Prentice Hall, 117.
- [64]. Mayne, P. W., Christopher, B. R. and DeJong, J. (2002). Subsurface investigations Geotechnical site characterization, No. FHWA NHI-01-31,
- [65]. Skempton, A. W., Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. *Geotechnique*, 36(3), 425-447, 1986.
- [66]. Sivrikaya, O., and Toğrol, E. (2006). Determination of undrained strength of fine-grained soils by means of SPT and its application in Turkey. *Engineering geology*, 86(1), 52-69.
- [67]. Aggour, M. S. ve Radding, W. R. (2001). "Research Report: Standard Penetration Test (SPT) Correction, Final Report" Maryland Department of Transportation-State Highway Administration, Maryland.
- [68]. Clayton, C. R. I., (1995). The standard penetration test (SPT) methods and use. *Construction Industry Research and Information Association. Report 143*, London.

- [69]. Yılmaz, I., Yıldırım, M. ve Keskin, İ. (2014). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler. Ankara: 2.Baskı, Ed.; Seçkin Yayıncılık.
- [70]. ASTM, (1994). Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction, 04.08, ASTM Publication, 972p.
- [71]. Seed, H. B. ve Idriss, I. M. (1982). Ground Motions And Soil Liquefaction During Earthquakes, EERI Monograph, Berkeley, Calif.
- [72]. Seed, H. B. ve Idriss, I. M. (1971). *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9.
- [73]. Tokimatsu, K. ve Yoshimi, Y. (1983). Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT-N value and Fines Content, Soil and Foundations, 23, 4, 56-74.
- [74]. Iwasaki, T. K. Tokida, K. T. (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. İçinde Proceedings of the 13th International Conf. on Microzonation; Seattle, USA, ss 1319-1330.
- [75]. Seed, H. B. ve De Alba, P. (1986). Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils, Proceedings, Insitu, ASCE.
- [76]. Suzuki, Y. Koyamada, K. and Tokimatsu, K. (1997). "Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction" Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Germany, pp. 603-606.
- [77]. Youd, T. L. Idriss, I. M. Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, L., Harder, L. F., Koester, J. P. and Liao, S. S. C. (2001). Liquefaction resistance of soils – Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. J. Geotech. Geoenvironmental Eng., 127, No:4, 297-313.
- [78]. Uyar, O. (2006). *Kayma Dalga Hızı ve Basitleştirilmiş Prosedüre Bağlı Karşılaştırmalı Olarak Sıvılaşma Direnç Değerlendirmesi*, yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [79]. Şişman, E. (2006). *Fethiye Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Kayma Dalga Hızı Verileri ile Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [80]. Joyner, W. B., D. M. Boore, and R. L. Porceila (1981). "Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records (abstract)", Earthquake Notes 52, 80-81.
- [81]. Fukushima, Y. Tanaka, T. & Kataoka, S. (1988). A new attenuation relationship for peak ground acceleration derived from strong-motion accelerograms. Pages 343-348 of: Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, vol. II.
- [82]. İnan E., Çolakoğlu Z. Koç N. Bayülke N. ve Çoruh, E. (1996). "1976-1996 Yıllar Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu", Deprem Araştırma Dairesi (DAD), T.C. Bayındırlık ve İskân Bak. Afet İşl. Gen. Müd., Ankara.
- [83]. Aydan, O. Sezaki, M. ve Yazar, R. (1996). Türkiye Depremlerinin Sismik Özellikleri, 11th WCEE, Acapulco, CD-2, Paper No. 1025.
- [84]. Liao, S. S. and Whitman, R. V. (1986). Overburden correction factor for SPT in sand. J. Geotech. Eng., 112 (3), 373.
- [85]. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. ve Chung, R. (1985). Influence of Spt Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111, 12, 1425-1445.
- [86]. Sağlam, M. (2008). *Saruhanlı (Manisa) Belediyesi İmar Planına Esas Alanların Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi*, yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [87]. Tosun, H. Seyrek E. Orhan, A. Savaş, H. ve Türköz, M. (2011). Soil Liquefaction Potential in Eskişehir, NW Turkey, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1071-1082.
- [88]. Seed, R. B., Cetin, 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.
- [89]. Yomralıoğlu, T. (2000). Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. Trabzon: Akademi Kitabevi.
- [90]. Aydın, O. ve Çiçek, İ. (2013). Ege Bölgesi'nde yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101-120.

- [91]. Franke, R. and Nielson, G. (1980). "Smooth interpolation of large sets of scattered data", International Journal for Numerical Methods in Engineering, 15, 1691–1704.
- [92]. Demircan, M. İlker, A. ve Şensoy, S. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Sıcaklık Haritalarının Çözünürlüğünün Artırılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 7s.
- [93]. Gisgeography (2020). Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon. 25 Şubat 2020 tarihinde <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/> adresinden erişildi.
- [94]. Yılmaz, L. (1991). Geiede- Ankara ve Ankara çevre otoyoluna genel ve jeoteknik açıdan bakış. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38,43- 50.
- [95]. Yalçın, N. M. ve Görür, N.U. (1984). Sedimentological evolution of the Adana Basin, International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 165- 172, Ankara.
- [96]. Wagner, A. A. (1957). The use of the Unified Soil Classification System by the Bureau of Reclamation: Proceedings, 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (London), Vol. 1, p. 125.
- [97]. Kocabaş, A. (2020). *Denizli İli Yerleşim Alanı Zemin Malzemesinin Sıvılaşma Özelliklerinin İncelenmesi*. yüksek lisans tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur.
- [98]. Övün, U. (2017). *Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sondaj ve Jeofizik Verilerine Bağlı Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. yüksek lisans tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [99]. Gül, İ. (2018). *Dalyan-Çiftlik (Burhaniye-Balıkesir) Mevkiindeki Alüvyonal Zeminin Sıvılaşma Potansiyeli*. yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [100]. Beytekin, Ö. (2020). *Mezitli (Mersin) İlçesinin Sıvılaşma Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak İncelenmesi*. yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

EKLER

Ek 1.1. AFAD Sismik Tehlike Harita Raporu.



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Davultepe	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $P_f > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller
Enlem:	36.714518°	
Boylam	34.479147°	

Çıktılar

$S_s = 0.302$	$S_1 = 0.087$	$S_{DS} = 0.681$	$S_{D1} = 0.365$
$PGA = 0.132$	$PGV = 7.456$		

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 PGA : En büyük yer ivmesi [g]
 PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Ek 1.1'in devamı.

