



T.C.

**BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DENİZLİ İLİ YERLEŞİM ALANI ZEMİN
MALZEMESİNİN SIVILAŞMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ali KOCABAŞ

BURDUR, 2020

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DENİZLİ İLİ YERLEŞİM ALANI ZEMİN
MALZEMESİNİN SIVILAŞMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ali KOCABAŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İ. İskender SOYASLAN

BURDUR, 2020

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Ali KOCABAŞ tarafından Dr. Öğr. Üyesi İ. İskender SOYASLAN yönetiminde hazırlanan “Denizli İli Yerleşim Alanı Zemin Malzemesinin Sıvılaşma Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 24/04/2020

Dr. Öğr. Üyesi İ. İskender SOYASLAN

(Başkan)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi(İmza)

Dr. Öğr. Üyesi Cenk ÖCAL

(Jüri Üyesi)

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.....(İmza)

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ULUTAŞ

(Jüri Üyesi)

Burdur Mehmet Ersoy Üniversitesi(İmza)

ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun _____ Tarih ve _____ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

(İmza)

Prof. Dr. Ayşe Gül MUTLU GÜLMEMİŞ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Denizli İli Yerleşim Alanı Zemin Malzemesinin Sıvılaşma Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarımı ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirim, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

24 / 04/2020

Ali KOCABAŞ

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdiren, karŐılaŐtıđım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aŐmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam İ. İskender SOYASLAN'a teŐekkürlerimi sunarım. Veri temini konusunda yardımlarımı esirgemeyen çalışma arkadaŐlarıma ve tezin yazılması esnasında yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisi Yasin ODABAŐI'na ayrıca teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aŐamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Nisan, 2020

Ali KOCABAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET.....	vi
ii	
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Sıvılaşma Meydana Gelen Zemin Özelliklerinin Tanımlanması	6
2.2. Denizli İli Genel Jeolojisi.....	6
2.3. Bölgesel Depremsellik	10
2.4. Önceki Çalışmalar	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal.....	20
3.2. Aletler ve Cihazlar.....	21
3.3. Yöntem	21
3.3.1. Sıvılaşma Analiz Yöntemleri.....	21
3.3.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018).....	21
3.3.3. TBDY (2018)'e Göre Sıvılaşma Analizleri Detayı.....	22
3.3.4. Ham SPT verilerinin düzeltilmesi	22
3.3.5. SPT Verilerinin İnce Dane İçeriğine Göre Düzeltilmesi.....	23
3.3.6. Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması.....	23
3.3.7. Depremde Oluşacak Kayma Gerilmesinin Hesaplanması.....	24
3.3.8. Jeofizik Ölçüm Verilerine Göre Sıvılaşma Analizi (Eşik İvme Kriteri)	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	27
4.1. İncelenen Mahallelere Ait Zemin Özellikleri.....	27
4.2. Sondaj Verileri	28
4.3. Laboratuvar Verileri	33
4.4. Jeofizik Ölçüm Verileri	35
4.5. Sıvılaşma Analizleri ve Değerlendirmeler	36
4.5.1. Altıntop Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli	36
4.5.2. Dokuzkavaklar Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli	40
4.5.3. Yiğenağa Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli	42
4.5.4. Deliktaş (1) Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli.....	44
4.5.5. Deliktaş (2) Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli.....	45
5. SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR.....	50
EKLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Denizli İli ve çalışma alanları yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2. Batı Anadolu'nun ana tektonik hatları	2
Şekil 1.3. Denizli İli'nin Türkiye deprem tehlike haritasındaki konumu.....	3
Şekil 1.4. Denizli havzasında 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremler ve tektonik yapı ile ilişkisi.....	4
Şekil 2.1. Denizli'ye ait genel jeoloji haritası	8
Şekil 2.2. Denizli havzasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti	9
Şekil 2.3. Denizli ve civarında oluşan depremler ve Magnitüdüleri.....	10
Şekil 2.4. Denizli İli ve yakın çevresi fay haritası.....	16
Şekil 3.1. İncelenen mahalleler ve sondaj noktaları vaziyet planı	20
Şekil 3.2. Eşik ivme değerinin belirlenmesinde kullanılan abak	26
Şekil 4.1. Arazi çalışmaları yapılan mahalleler.....	27

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Denizli ve çevresindeki oluşan depremler.....	11
Tablo 3.1. SPT düzeltme katsayıları.....	23
Tablo 3.2. Max. ivme değerleri.....	25
Tablo 4.1. SK-1 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	28
Tablo 4.2. SK-2 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	29
Tablo 4.3. SK-3 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	29
Tablo 4.4. SK-4 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	30
Tablo 4.5. SK-5 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	30
Tablo 4.6. SK-6 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	30
Tablo 4.7. SK-7 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	31
Tablo 4.8. SK-8 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	31
Tablo 4.9. SK-9 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	31
Tablo 4.10. SK-10 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	32
Tablo 4.11. SK-11 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri.....	32
Tablo 4.12. Altıntop mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları	33
Tablo 4.13. Dokuzkavaklar mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları	34
Tablo 4.14. Yiğenağa mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları	34
Tablo 4.15. Deliktaş (1) mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları	35
Tablo 4.16. Deliktaş (2) mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları	35
Tablo 4.17. Çalışma alanlarında yapılan jeofizik ölçüm verileri.....	36
Tablo 5.1. Altıntop mahallesi SK-1 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları.....	37
Tablo 5.2. Altıntop mahallesi SK-2 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları.....	38
Tablo 5.3. Altıntop mahallesi SK-3 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları.....	39
Tablo 5.4. Dokuzkavaklar mahallesi SK-4 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları.....	40
Tablo 5.5. Dokuzkavaklar mahallesi SK-5 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları.....	41
Tablo 5.6. Yiğenağa mahallesi SK-6 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları	42
Tablo 5.7. Yiğenağa mahallesi SK-7 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları	43
Tablo 5.8. Deliktaş (1) mahallesi SK-8 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları	44
Tablo 5.9. Deliktaş (1) mahallesi SK-9 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları	45

Tablo 5.10. Deliktaş (2) mahallesi SK-10 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları	46
Tablo 5.11. Deliktaş (2) mahallesi SK-11 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları	47
Tablo 5.12. Jeofizik ölçümlere göre sıvılaşma potansiyelleri.....	48



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_{maks}	: Maksimum zemin ivmesidir.
a_t	: Sıvılaşma için eşik ivme değeri
C_B	: Sondaj çapı düzeltme katsayısı
C_E	: Şahmerdan enerji düzeltme katsayısı
C_M	: Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı
C_N	: Örtü Yüğü Düzeltme Faktörü
C_R	: T_{ij} uzunluğu düzeltme katsayısı
$CRR_{M7,5}$: Çevrimsel dayanım oranı
C_s	: Numune alıcı düzeltme katsayısı
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
F_a	: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı
F_s	: Güvenlik Katsayısı
IDI	: İnce Dane İçeriğı
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğı
KG	: Kuzey-Güney
km	: Kilometre
LI	: Likitlik indisi
LL	: Likit Limit
MTA	: Maden teknik arama
M_w	: Deprem Magnitüdü
N	: Düzeltilmemiş SPT vuruş sayısı
$N_{1,60}$: Düzeltilmiş SPT vuruş sayısı
$N_{1,60-f}$: İnce dane içeriğıne göre düzeltilmiş SPT vuruş sayısı

PI	: Plastisite indisi
R	: Refü
r_d	: Derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısı
SC	: Killi kumlar
S_{ds}	: Kısa Periyot tasarım spektral ivme katsayısı
SK	: Sondaj kuyusu
SM	: Siltli kumlar
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
SW	: İyi derecelenmiş kumlar
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
V_s	: Kayma dalga hızı
Y.A.S.S	: Yeraltı su seviyesi
ZD	: Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
ZE	: Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları
ZF	: Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler
σ'_{vo}	: Jeolojik efektif gerilme
τ	: Eğimsiz sahalar için geliştirilmiş kayma direnci
τ_{deprem}	: Depremde oluşacak kayma gerilmesi
τ_R	: Sıvılaşma direnci
α	: İnce tane oranına bağlı düzeltme katsayısı
β	: İnce tane oranına bağlı düzeltme katsayısı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Denizli İli Yerleşim Alanı Zemin Malzemesinin Sıvılaşma Özelliklerinin İncelenmesi

Ali KOCABAŞ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İ. İskender SOYASLAN

Nisan, 2020

Depremler sırasında yapısal hasarların oluşmasında yerel zemin koşullarının etkisi önemli olmaktadır. Özellikle kumlu zeminlerde gözlenen sıvılaşma olayı bu tür hasarların meydana gelmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu anlamda sıvılaşma olgusu kentsel yerleşim alanları için büyük önem arz etmektedir. 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ZD, ZE ve ZF zemin sınıfında yer alan zeminler için sıvılaşma analizleri ile potansiyel riskin belirlenmesi zorunluluğunu getirmiştir. Sıvılaşma değerlendirmelerinde kullanılması gereken analiz yöntemi detayları da bu yönetmelikte tanımlanmıştır.

Bu çalışma TBDY, 2018 kapsamında zemin sıvılaşma analizinde kullanılan yöntemin detayları ele alınmış ve Denizli İli yerleşim alanı içerisinde seçilmiş 5 ayrı lokasyon için sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler ile elde edilen sonuçlar analiz edilen lokasyonlardan sadece Dokuzkavaklar Mahallesi lokasyonunda 3.00 – 4.50 m derinlikleri arasındaki kumlu zemin için sıvılaşmanın olabileceği öngörülmüştür. TBDY (2018) tarafından ortaya konulan yeni sıvılaşma analiz yöntemi, diğer sıvılaşma analiz yöntemlerinde olduğu gibi bir senaryo deprem büyüklüğüne ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde senaryo depremin 4.5 olması koşulunda belirgin bir sıvılaşma potansiyeli ortaya çıkmazken, deprem büyüklüğünün 6.3 olması koşulunda incelenen 5 mahallenin bütününde ve özellikle yüzeye yakın üst seviyelerde belirgin bir sıvılaşma riskinin var olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denizli, zemin etüdü, sıvılaşma, jeofizik

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Investigation of Liquefaction Properties of Soils of Denizli Province Settlement Area

Ali KOCABAŞ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Materials Technology Engineering**

Supervisor: Dr. İ. İskender SOYASLAN

April, 2020

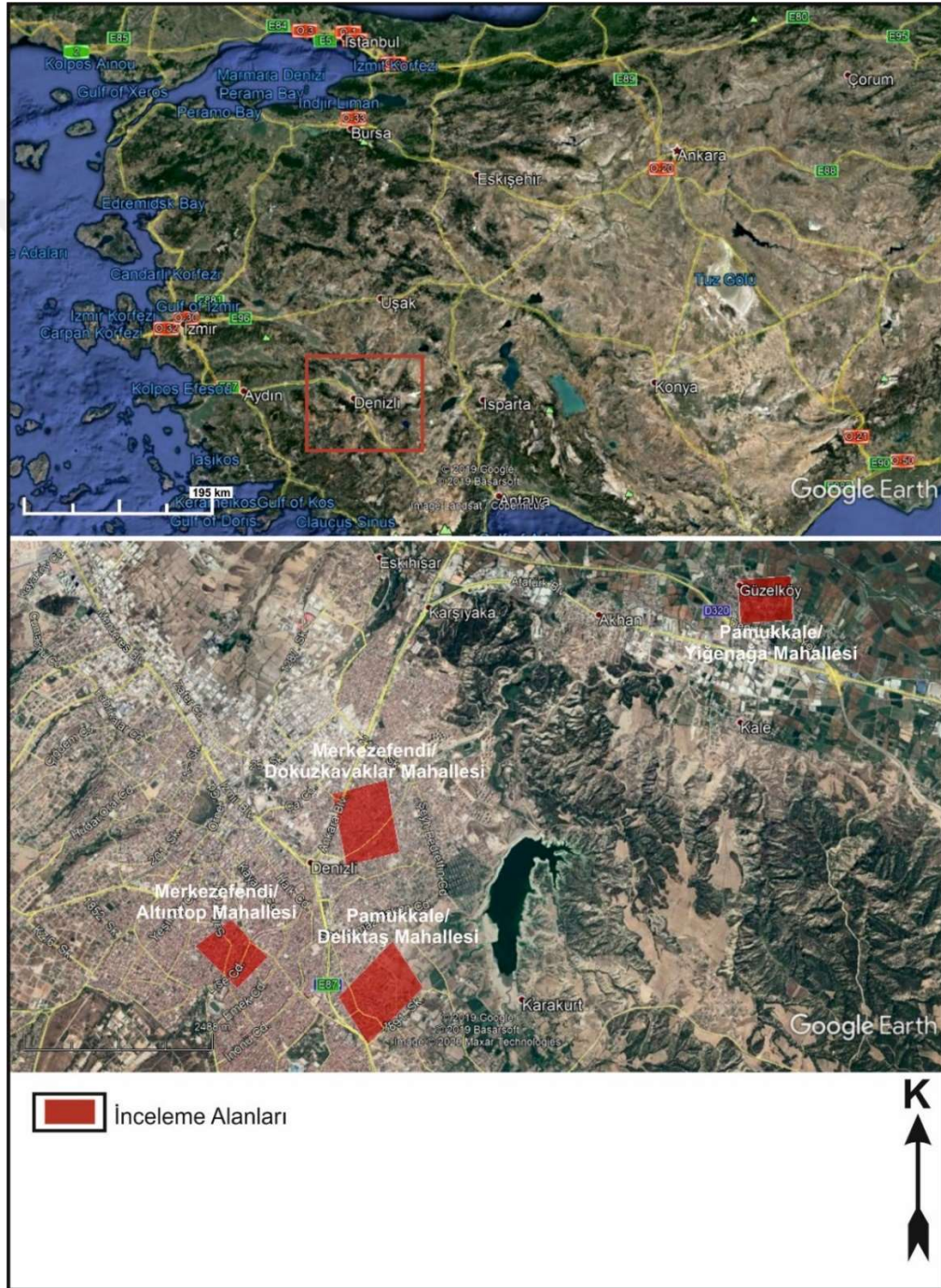
The effects of local ground conditions are important in the occurrence of structural damages during earthquakes. Liquefaction, especially observed in sandy grounds, plays an important role in the occurrence of such structural damages. In this sense, the phenomenon of liquefaction is of great importance for urban settlements. Turkey Earthquake Building Regulations enacted in 2018 (TBDY) brought the liquefaction analysis to determine the potential risk for the ZD, ZE and ZF soil class. Details of the analysis method that should be used in liquefaction evaluations are also defined in this regulation.

Turkey Earthquake Building Regulations (TBDY) covered the details of the methods used in the analysis of soil liquefaction in Denizli discussed and liquefaction analyzes were performed for 5 different locations. It is predicted that only liquefaction may occur for the sandy ground between the depths of 3.00 - 4.50 m in the Dokuzkavaklar District of the locations analyzed for magnitude 4.5. The new liquefaction analysis method introduced by TBDY (2018) requires a scenario earthquake magnitude as in other liquefaction analysis methods. In the analysis made within the scope of this study, while the scenario earthquake was 4.5, there was no significant liquefaction potential, while the earthquake magnitude was 6.3, it was determined that there was a significant liquefaction risk in all of the 5 locations examined and especially at the upper levels near the surface.

Keywords: Denizli, soil investigation, liquefaction, geophysics

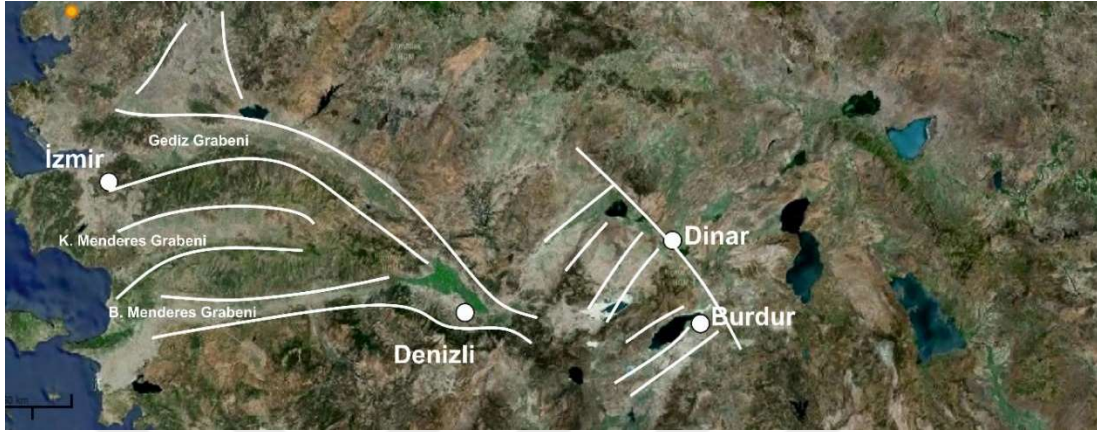
1. GİRİŞ

Bu çalışma, Denizli ili merkez mahallelerindeki zemin koşullarına göre, sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi adına gerçekleştirilmiştir. Altıntop, Dokuzkavaklar, Yiğenağa ve Deliktaş mahallelerinde yapılan zemin etüt verileri toplanarak çalışmaya başlanmıştır. Denizli ili Türkiye'nin Güneybatısında ve iç ege bölgesinde yer almaktadır (Şekil. 1.1).



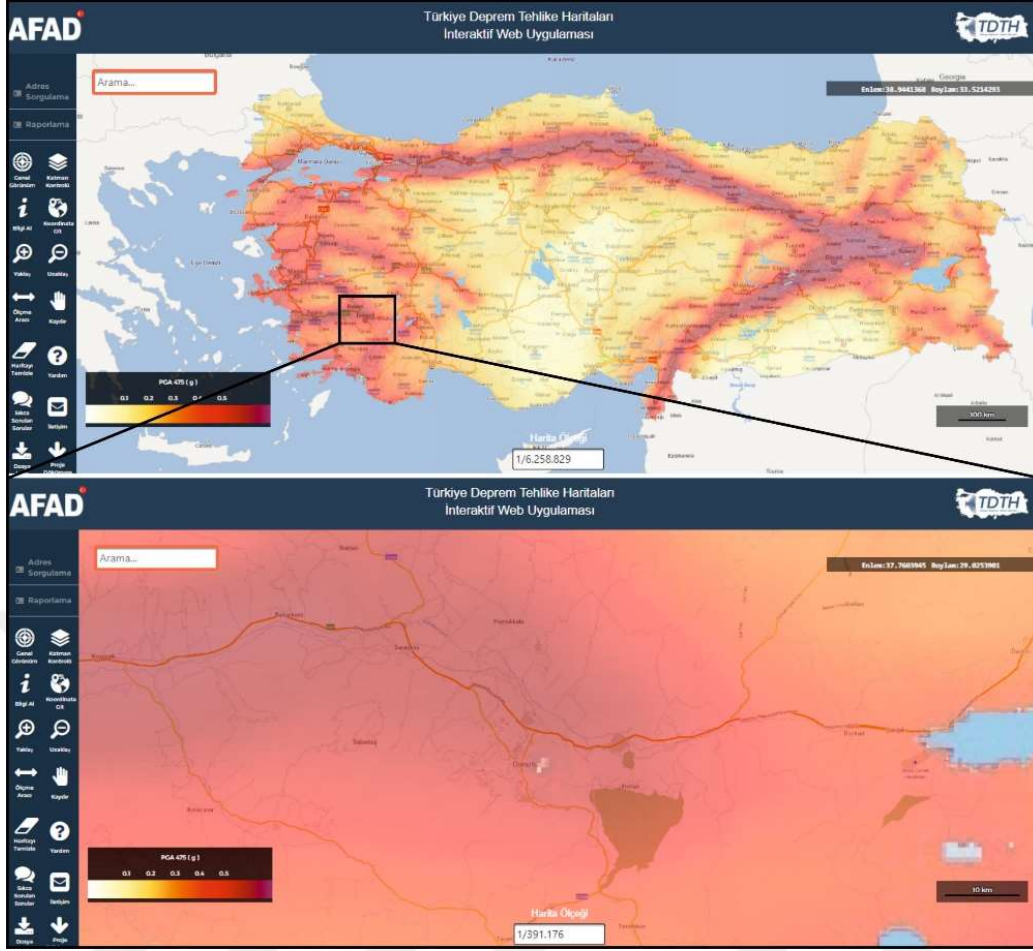
Şekil 1.1. Denizli İli ve çalışma alanları yer bulduru haritası

Denizli ili yerleşim alanı kuzeyden ve güneyden faylarla sınırlı olan ve Çürüksu Ovası olarak adlandırılan bir çöküntü alanı içerisinde kurulmuştur (Şekil 1.2). Ovayı sınırlayan ve oluşumuna neden olan bu faylar ve çatlak sistemleri boyunca sıcak su çıkışları gözlenmektedir.



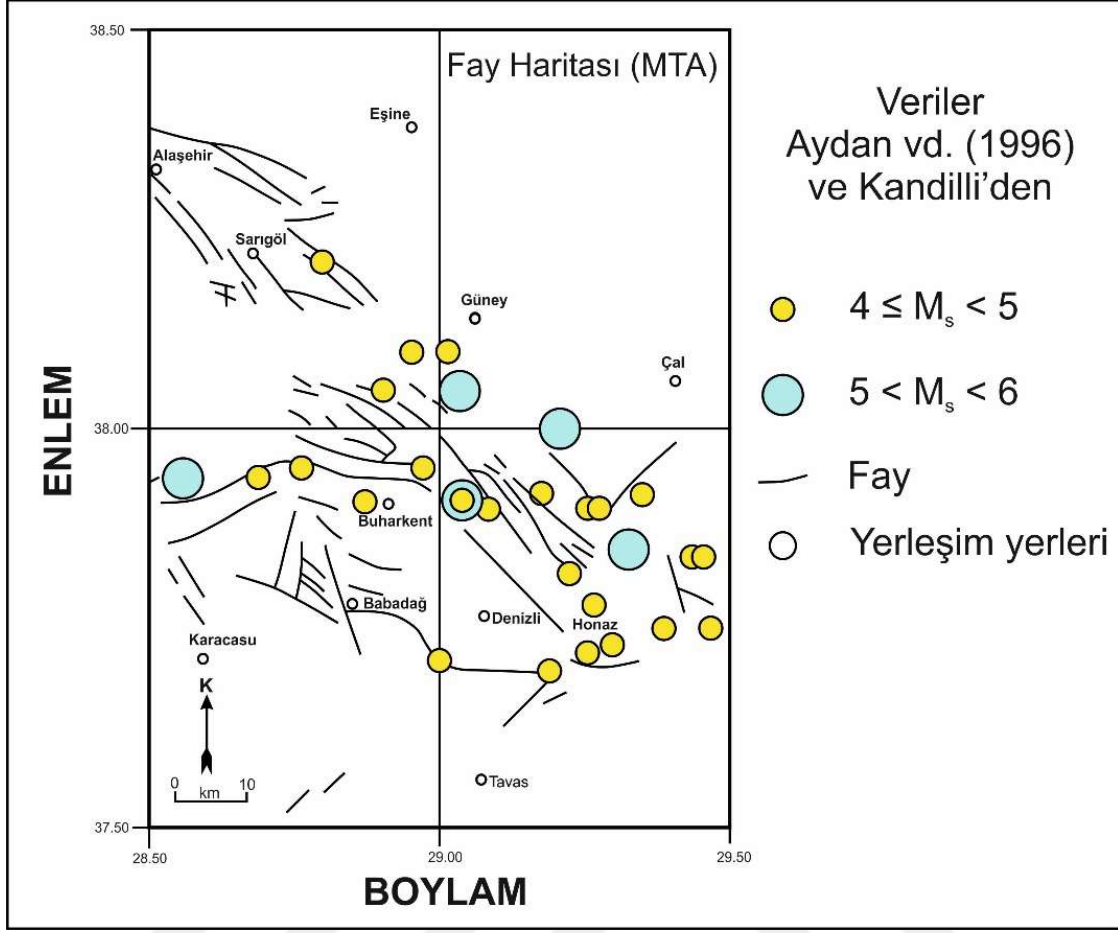
Şekil 1.2. Batı Anadolu'nun ana tektonik hatları

Kentin yerleşimi genellikle alüvyonal zeminler ve yer yer Pliyosen yaşlı kıltaşı, kumtaşı, marn ve çakıltaşından oluşan birimler üzerine kurulmuştur. Bölgedeki yeraltı suyu durumu ve Türkiye deprem tehlike haritasındaki kritik konumu da göz önüne alındığında zemin sıvılaşmasının meydana gelmesi muhtemeldir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Denizli İli'nin Türkiye deprem tehlike haritasındaki konumu (URL-1, 2020)

Denizli havzasında 1900-2000 yılları arasında, 4-6 büyüklüğünde oluşmuş depremler ve genel tektonik yapısı Şekil 1.4'de verilmiştir. Denizli ilinin detaylı depremselliği 4. başlık altında ele alınmıştır.



Şekil 1.4. Denizli havzasında 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremler ve tektonik yapı ile ilişkisi (Kumsar vd., 2003)

Sıvılaşma, geoteknik mühendisliğin en önemli, ilginç, karmaşık ve tartışmaya açık konularından biridir. 1964 yılında üç ay içinde meydana gelen Alaska ($M_w=9.2$) ve Niigata ($M_s=7.5$) depremlerinde sıvılaşmadan kaynaklanan büyük yıkımlar, geoteknik mühendislerinin bu konuya olan ilgilerini arttırmıştır. Her iki depremde sıvılaşma sonucu şev kaymaları, köprü ve bina temellerinin göçmesi ve gömülü yapıların yüzmesi şeklinde sorunlar yaşanmıştır. Sıvılaşma, özellikle bu iki depremten sonra çok sayıda araştırmacı tarafından çalışma konusu yapılmış, terminolojiler, yöntemler ve analiz metotları önerilmiştir (Seed vd., 1967).

Tekrarlı yükleme durumlarında meydana gelen sıvılaşma olayı depremler sonucu anlaşılmiş daha yeni bir kavram olsa da, statik yükler altındaki sıvılaşma Casagrande'nin 1936 yılında yaptığı çalışmalardan itibaren bilinmektedir. 1936 yılında meydana gelen Fort Peck, Montana Barajındaki kaymalar, Aşağı Mississippi Nehri kıyılarındaki akma kaymaları bu çalışmalara örnek teşkil etmişlerdir. Daha sonraki yıllarda sıvılaşmadan kaynaklanan hasarların önemli derecede olmasından dolayı Kaliforniya Üniversitesi'nden H.B. Seed sıvılaşmanın nedenlerini ve mekanizmasını araştırmıştır. Japonya'daki 1964 Niigata depremi sırasında birçok binada oturma ve devrilmelerin, temellerin altındaki kumun sıvılaşmasından meydana geldiğini belirlemişlerdir (Seed ve Idriss, 1967). Bu ilk

çalışmalardan sonra laboratuvar ve arazi deney yöntemlerinin geliştirilmesi ile tekrarlı yükler altında kumlu zemin tabakalarının davranışı, birçok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Depremlerin yapılarda yol açtığı hasarların yerel zemin koşullarının değişik etkileri altında kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle yapıların inşasından önce yapılan temel zemini etütlerinde, arazideki temel zeminini oluşturan tabakaların muhtemel bir deprem sırasında göstereceği davranışın da incelenmesi gerekmektedir.

Depremler sırasında gözlenen yapısal hasar, zemin yüzünde büyük deplasmanlara yol açan toptan zemin göçmelerinin sonucu olursa, meydana gelen yapısal hasar ile yerel zemin koşulları arasındaki ilişki açık olarak görülebilir. Örneğin, gevşek yerleşimli daneli zeminler yer sarsıntılarının sonucu sıkışarak zemin yüzünde büyük toplam ve farklı oturmalara ve böylece taşıdıkları yapılarda büyük hasarlara yol açabilirler (Köleoğlu, 2002).

Gevşek yerleşimli, daneli zemin tabakalarının suya doygun olması halinde ise titreşimlerin yol açtığı sıkışma sonucu boşluk suyundaki hidrostatik basınç artışı zeminin sıvılaşmasına ve üzerindeki yapıların oturmasına, yatmasına veya zemin içine batmasına neden olabilir. Depremler sırasında zeminlerde oluşan dinamik gerilmeler ve boşluk suyu basıncı artışlarının siltli kum tabakalarında büyük toprak kaymalarına ve şev göçmelerine de yol açtıkları gözlenmiştir (Köleoğlu, 2002).

Depremlerde gözlenen yapısal hasarlara, zemin koşullarının etkisi yönünden daha az olan bir etkide, zeminde hiçbir göçme olmadığı halde zemin koşullarının yapılara etkileyen sarsıntı şiddetine ve dolayısıyla üzerindeki yapıların göreceği hasara yaptığı etkidir. Yerel zemin koşulları, deprem sırasında yapılara etkileyen yer ivmesinin genliğini, frekans özelliklerini ve buna bağlı olarak atalet kuvvetlerini büyük ölçüde etkilemektedir.

Sıvılaşmanın insan hayatına ve ekonomiye olan olumsuz etkilerinden dolayı bu konuda yapılan araştırmalar günden güne artmakta ve gittikçe önem kazanmaktadır. Kum-siltli kum gibi zeminler içeren tabakaların, bir deprem esnasında sıvılaşma potansiyelini saptayabilmek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilebilen zemin ve sismik parametrelerin bir arada kullanıldığı çeşitli kriterler ve ampirik formüller önerilmektedir. Aktif deprem kuşağı içerisinde yer alan yurdumuzda da sıvılaşma olayı büyük önem taşımakta ve bu konuda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda bir örnek teşkil edeceği düşünülen bu çalışmada, sıvılaşma konusunda genel bilgiler verilmiş, sıvılaşma analizleri için önerilen kriterler incelenmiş ve bu kriterler çerçevesinde aktif deprem bölgesi içerisindeki, Denizli ili yerleşim alanları içerisindeki alüvyon birimlerin sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Daha sonra bu analizler kendi içerisinde değerlendirilerek sıvılaşma potansiyeli yüksek bölgeler belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi altında yer alan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu zeminlerin, deprem sarsıntısı sırasında boşluk suyu basıncının artması ve zeminin sıvı gibi davranması olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su tablasının altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak tanımlanmaktadır. Temel altı zeminlerinin potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminlerden oluştuğu ve bu zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 30 darbe / 30 cm değerinden küçük olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirilmesi yapılmaktadır (TBDY, 2018).

2.1. Sıvılaşma Meydana Gelen Zemin Özelliklerinin Tanımlanması

Bir zemin tabakasının jeolojik yaşı ile çökeltme ve hidrolojik koşulları sıvılaşabilirliği üzerinde önemli ipuçları vermektedir. Çökeltme sürecinde uniform dane dağılımına ve gevşek yerleşime yol açan jeolojik ortamlar ve genç çökellerin sıvılaşma riskinin çok daha yüksek olduğu, ayrıca yeraltı su tablası derinliğinin de önemli etkisi olduğu bilinmektedir.

Uzun yıllar sıvılaşmanın sadece kohezyonsuz kumlu zeminlerde oluştuğu düşünülmeye karşın, son yıllarda yapılan çalışmalar ve gözlemler düşük kohezyonlu siltler (Ishihara, 1984,1985) ve çakıllı zeminlerde de (Youd vd., 2001; Yegian vd., 1994; Evans ve Seed, 1987) sıvılaşmanın ortaya çıkabileceğini göstermiştir.

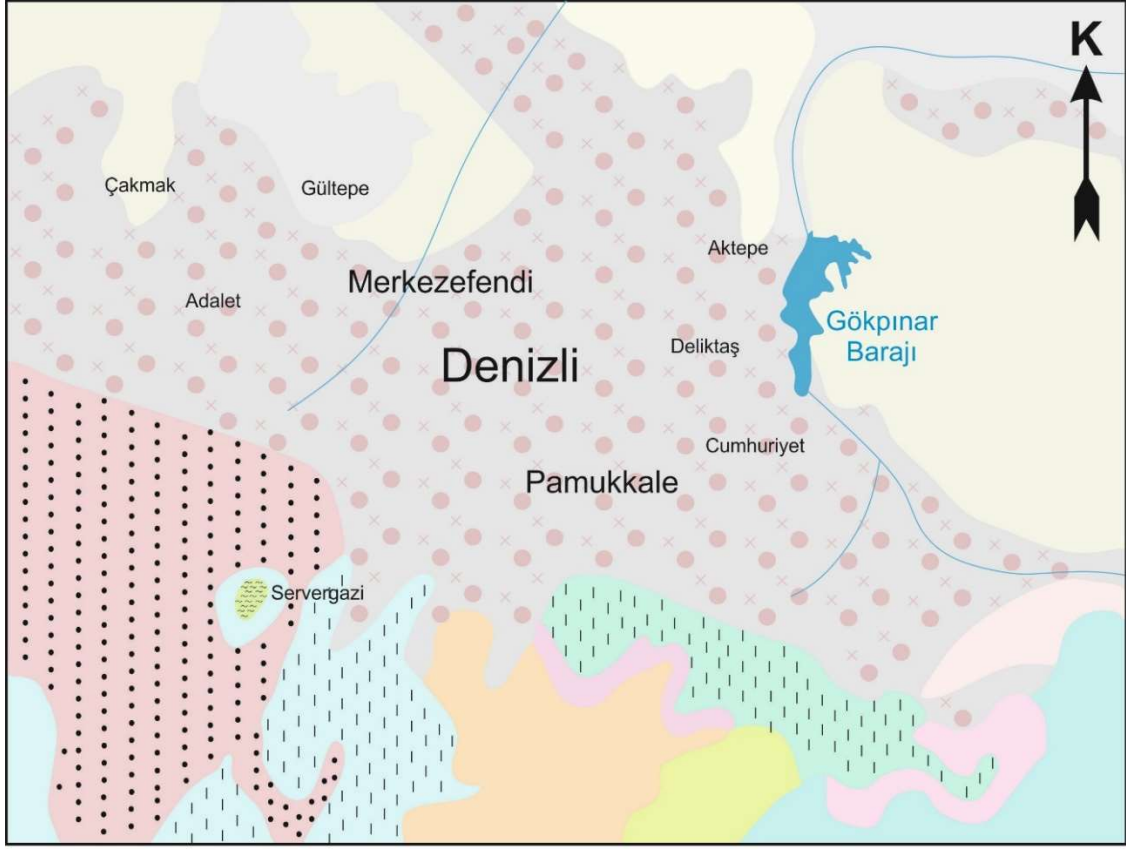
Killi zeminlerde ise genel olarak sıvılaşma oluşmadığı kabul edilmektedir. Düşük plastisiteli, ince taneli zeminlerin sıvılaşabilirliği için yaygın olarak başvurulan Çin kriterlerinde (Wang, 1979) zeminin kil yüzdesi (< 0.005 mm) ve likit limiti (LL) dikkate alınmaktadır. Daha sonra diğer arazi gözlemleri ile geliştirilen (Seed ve Idriss, 1982; Marcuson vd., 1990; Youd vd., 2001) bu kriterlere göre zeminlerin sıvılaşabilmesi için $LL < \% 35$, Kil Oranı $< \% 15$, $W_n > 0.9$, LL ve $LI \leq 0.75$ koşullarının sağlanması gerektiği genel kabul görmektedir.

Kumlu zemin tabakalarının sıvılaşabilirliğinin değerlendirilmesinde arazi sıklık derecesi ve gerilme durumunun da önemle dikkate alınması gerekmektedir. Sıvılaşma durumunun oluşmasına yol açacak boşluk suyu basıncı artışları, zeminin sıklık derecesi ve başlangıç gerilme durumu ile yakından ilişkilidir.

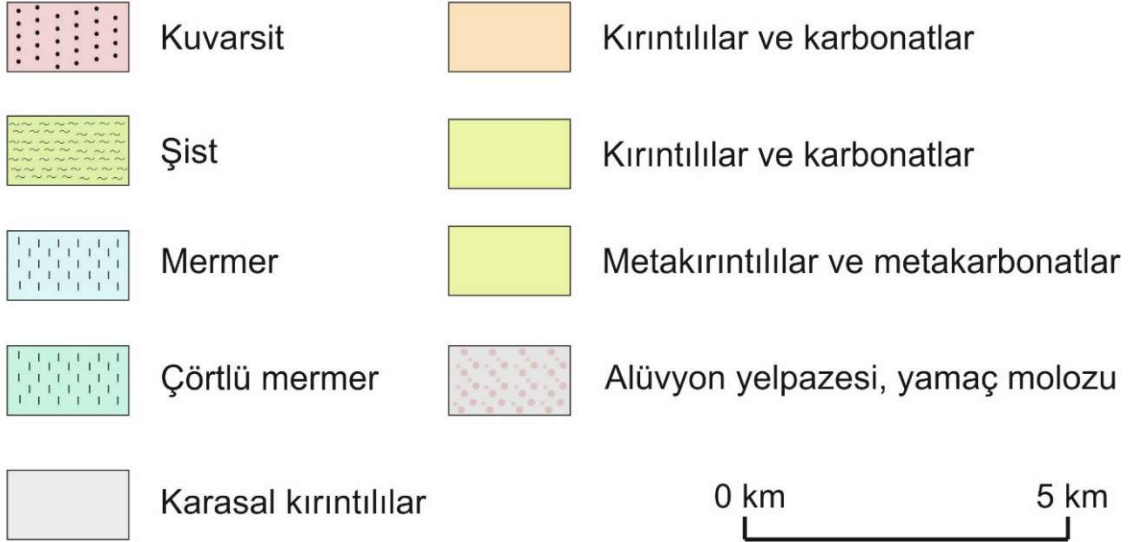
2.2. Denizli İli Genel Jeolojisi

Denizli il merkezi ve yakın çevresinde yüzeyleyen kaya birimleri, Neojen öncesi temel kayaları ve Neojen birimleri ile Kuvaterner çökelleridir. Bunlardan Neojen öncesi temel kayalar daha çok havzayı çevreleyen, yüksek ve dağlık kesimlerde görülür. Bunların çoğu Menderes Masifi 'ne ait metamorfik kayalardır. Havzanın değişik kesimlerinden alınan jeoloji kesitlerinde Menderes metamorfikler yaşlıdan gence doğru; gnays, şist, kuvarsit ve mermerlerle temsil edilmektedir. Neojen birimleri; alüvyal yelpaze, yelpaze deltası, göl ve akarsu ortamlarında depolanmış olup, graben dolguları olarak nitelendirilebilecek çökellerden oluşmaktadır (Fimflek, 1984). Göl ve akarsu ortamlarında depolanmış, genellikle havza kenarlarında ve havza ortası bazı yükselim alanlarında yüzeyleyen Neojen

birimlerine Taner (2001) tarafından Geç Miyosen (Ponsiyen) yaşı verilmiştir. Neojen yaşlı çökellerden Kolon-kaya Formasyonu inceleme alanında geniş bir yayılım göstermektedir. Bu formasyonun egemen kaya türünü oluşturan kumtaşları; sarımsı, açık pas ve koyu kahverenkli, genellikle gevşek tutturulmuş ve dağınık, parlak mika pullu, tane destekli, iyi boylanmalı, bazı düzeylerde çakıllı, genellikle paralel ve yersel çapraz katmanlıdır. Formasyonun adı ilk kez (Fimflek, 1984) tarafından verilmiştir. İnceleme alanında görülen Kuvaterner yaşlı Asartepe Formasyonu, konglomera, kumtaşı ve silt taşlarından oluşur. Alüvyal kökenli bu çökellerden oluşan formasyon (Ercan vd., 1977) tarafından adlandırılmıştır. Bu çökellerde genelde kırmızımsı, kahverengi ve turuncu renkler hakim olup, yer yer kirli beyaz ve sarımsı renkler de görülmektedir. Orta-kalın ve az belirgin tabakalanma gösteren çakıltası-kumtaşı-silttaşı-çamurtaşı düzensiz ardalanması başlıca kaya topluluğunu oluşturur. Formasyon, yer yer kiltası ve marn mercikleri de içermektedir. Neojen çökel istifinin üzerinde yer yer görülen traverten, eğim atımlı normal fayların sıçrama yaptığı alanlarda depolanmıştır (Çakır, 1999). Travertenler yeşilimsi gri, krem renkli göl bataklık çökelleri ve kırmızımsı kahverenkli alüvyal çökeller, eski toprak ve kaba kırıntılı geçici akarsu çökelleri ile yanall ve düşey geçişlidir (Özkul vd., 2002). Bütün bu bulgular Şekil 2.1'de harita üzerinde ve Şekil 2.2'de stratigrafik sütun kesitinde gösterilmiştir.



Açıklamalar



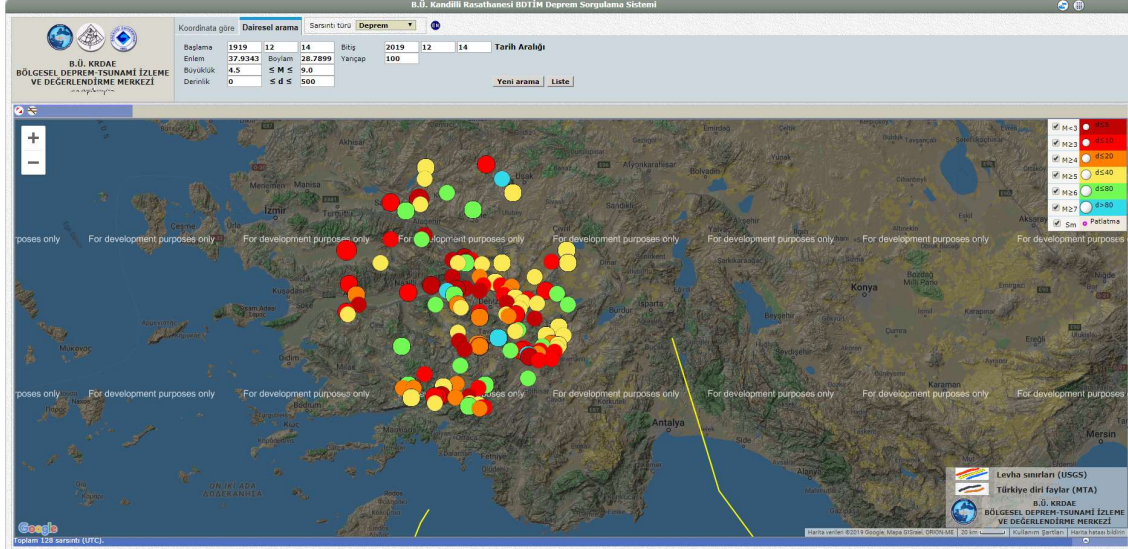
Şekil 2.1. Denizli'ye ait genel jeoloji haritası (MTA, 2016)

S E N O Z O Y İ K		ÜST SİSTEM		LİTOLOJİK ÖZELLİKLER	
		SİSTEM	KALINLIK (m)		
N E O J E N	ÜST MİYOSEN	DENİZLİ	KUVATERNER		Alüvyon Traverten Alüvyal Yelpaze Yamaç Molozu
			ASARTEPE	50-150	Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanması
			KOLONKAYA	860-1100	Marn, killi kireçtaşı ve çamurtaşlarıyla ardalanma gösteren kumtaşları
			SAKIZCILAR	150-200	Killi kireçtaşı, marn, kil, silttaşı ve çok ince kum ara seviyeleri
			SAZAK	250-300	Kiltaşı, silttaşı, killikireçtaşı, marn, masif kireçtaşları
			KIZILBURUN	150	Bloklü çakıltaşı, çakıltaşı, kumtaşı, kilttaşı, silttaşı
T E M E L					Kristalize kireçtaşı, kuvarsit, şist, mermer

Şekil 2.2. Denizli havzasının geliştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Şimşek, 1984; Sun, 1990; Konak vd., 1990; Taner, 2001'den yararlanılarak çizilmiştir, ölçeksiz)

2.3. Bölgesel Depremsellik

Birinci derece deprem bölgesinde yer alan Denizli ilinin merkezi, merkez noktası olarak alınmış ve 100 km yarıçaplı daire içinde, 1919–2019 yılları arasında oluşmuş ve magnitudü $M \geq 4,5$ olan depremlerden yararlanılarak irdelenmiştir. 1919–2019 yılları arasında oluşmuş magnitudü $M \geq 4,5$ olan depremlerin episantrı dağılımı ve diri fayların dağılımı Şekil 2.3.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Denizli ve civarında oluşan depremler ve Magnitudleri (KOERİ, 2019)

Burdur-Fethiye Fay zonu aktif bir fay zonu olup büyüklüğü 7.1'e kadar yükselen depremler üretmektedir. Uzunluğu yaklaşık 150 km olan bu fay zonunun KD ucunda yer alan Burdur ilinde 03.10.1914 tarihinde 7.1 büyüklüğünde, GB ucundaki Fethiye'de (Muğla) 25.04.1957 tarihinde 7.1 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. Bu fay zonunun iç ve orta kesimlerinde meydana gelen 1900 sonrası depremlerin büyüklükleri 6.2'yi geçmemiştir. Acıpayam ovasında ise, 1936 yılında Uçarı mahallesi merkezli 5.3 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir.

Denizli ili birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle Denizli ve çevresinde her zaman deprem olma olasılığı vardır. Geçmişten günümüze Denizli ve çevresinde çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Meydana gelen depremlerin konumları ve büyüklükleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Denizli ve çevresindeki oluşan depremler (URL-2, 2020)

No	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Magnitüt	Yer
1	08.08.2019	37.9012	29.595	5.7	ARMUTALANI-BOZKURT (DENİZLİ) [North West 0.9 km]
2	01.04.2019	37.4882	29.3922	4.5	KARAHUYUK-ACIPAYAM (DENİZLİ) [South West 2.5 km]
3	31.03.2019	37.4707	29.3768	5.1	KIRCA-ACIPAYAM (DENİZLİ) [South East 2.9 km]
4	20.03.2019	37.4742	29.4165	4.8	UCARI-ACIPAYAM (DENİZLİ) [North West 1.0 km]
5	20.03.2019	37.4267	29.4468	5.7	YENIKOY-ACIPAYAM (DENİZLİ) [North East 1.8 km]
6	24.11.2017	37.1388	28.6148	5.1	ARICILAR-ULA (MUĞLA) [North East 3.6 km]
7	22.11.2017	37.1402	28.5863	5	YAYLASOGUT-ULA (MUĞLA) [South East 3.0 km]
8	21.04.2017	38.8003	29.0565	5	GOLBASI-SELENDİ (MANİSA) [North East 1.4 km]
9	13.04.2017	37.149	28.6542	5	TURGUT-ULA (MUĞLA) [South West 3.8 km]
10	13.09.2015	37.1385	28.9018	4.5	ESENLER-BEYAGAC (DENİZLİ) [South West 10.3 km]
11	10.11.2014	37.1278	28.7802	4.6	TURGUT-ULA (MUĞLA) [South East 8.8 km]
12	04.12.2009	37.4025	29.5383	4.8	BADEMLİ-ACIPAYAM (DENİZLİ) [South West 1.5 km]
13	04.12.2009	37.9152	28.7873	5.1	TEKKEKOY-SARAYKOY (DENİZLİ) [North East 2.0 km]
14	25.04.2008	37.8152	29.2462	4.8	GURLEYİK-HONAZ (DENİZLİ) [West 2.4 km]
15	23.01.2007	38.1212	28.751	4.5	BEYLER-BULDAN (DENİZLİ) [South West 1.8 km]
16	26.07.2003	38.14	28.85	4.7	ALACAOĞLU-BULDAN (DENİZLİ) [North 2.4 km]
17	26.07.2003	38.11	28.89	5.4	CAMKOY-BULDAN (DENİZLİ) [South West 2.5 km]
18	26.07.2003	38.11	28.87	4.9	ALACAOĞLU-BULDAN (DENİZLİ) [South East 1.8 km]
19	23.07.2003	38.14	28.86	5.2	ALACAOĞLU-BULDAN (DENİZLİ) [North East 2.5 km]
20	04.10.2000	37.94	29.03	4.8	ADAKOY-SARAYKOY (DENİZLİ) [South East 2.6 km]
21	21.04.2000	37.93	29.29	4.5	BAKLANCAKIRLAR-CAL (DENİZLİ) [South West 2.5 km]
22	21.01.1997	38.12	28.92	4.8	CAMKOY-BULDAN (DENİZLİ) [South East 1.4 km]
23	18.08.1995	37.84	29.43	4.8	KAKLIK-HONAZ (DENİZLİ) [North East 1.7 km]
24	18.12.1989	37.94	29.19	4.7	GUZELPINAR- (DENİZLİ) [South West 5.1 km]
25	18.12.1989	37.87	29.22	4.5	IRLIGANLI- (DENİZLİ) [South East 3.5 km]
26	24.02.1989	37.73	29.24	4.6	KARATEKE-HONAZ (DENİZLİ) [South East 3.6 km]
27	24.02.1989	37.72	29.26	4.5	HONAZ (DENİZLİ) [South 4.1 km]
28	24.02.1989	37.73	29.33	5	MENTESE-HONAZ (DENİZLİ) [South East 2.5 km]

Tablo 2.1. Denizli ve çevresindeki oluşan depremler (URL-2, 2020) (Devamı)

No	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Magnitüt	Yer
29	15.08.1988	37.89	29.24	4.7	IRLIGANLI- (DENİZLİ) [East 5.1 km]
30	11.10.1986	37.94	28.56	5.5	YORE-KUYUCAK (AYDIN) [North East 2.3 km]
31	23.08.1985	37.23	28.79	4.5	KARACAOREN- (MUGLA) [North East 3.5 km]
32	05.02.1984	37.21	28.67	5	CAKMAK- (MUGLA) [North East 3.0 km]
33	23.11.1982	37.45	29.53	4.5	KURTLAR-ACIPAYAM (DENİZLİ) [South West 1.7 km]
34	02.11.1982	38.52	28.46	4.6	SOGANLI-ALASEHIR (MANISA) [South East 0.8 km]
35	09.01.1982	37.92	28.87	4.6	HASKOY-SARAYKOY (DENİZLİ) [South West 1.6 km]
36	17.06.1978	37.54	28.81	4.8	NARLI-KALE (DENİZLİ) [East 1.8 km]
37	03.04.1978	37.2	28.99	4.9	UZUNOLUK-BEYAGAC (DENİZLİ) [South East 5.0 km]
38	11.01.1978	37.48	28.86	4.9	KARAKOY-KALE (DENİZLİ) [South East 2.7 km]
39	27.10.1977	37.87	27.88	5.5	YILMAZKOY- (AYDIN) [North West 1.8 km]
40	19.08.1976	37.71	29	5.1	BASKARCI- (DENİZLİ) [South East 6.3 km]
41	15.08.1976	37.8	28.8	5.3	KIRANYER-BABADAG (DENİZLİ) [South West 2.2 km]
42	10.02.1974	37.46	29.68	4.7	NIYAZLAR-YESILOVA (BURDUR) [South West 4.6 km]
43	07.02.1973	37.58	29.76	4.7	ISIKLAR-YESILOVA (BURDUR) [North East 1.6 km]
44	22.01.1972	37.41	29.65	4.5	DODURGALAR-ACIPAYAM (DENİZLİ) [North East 8.7 km]
45	09.08.1971	37.51	29.71	4.9	KAYADIBI-YESILOVA (BURDUR) [South West 2.9 km]
46	21.05.1971	37.52	29.65	5	SALDA-YESILOVA (BURDUR) [South East 2.5 km]
47	14.05.1971	37.47	29.55	4.8	KARAKOY-YESILOVA (BURDUR) [North East 0.3 km]
48	12.05.1971	37.49	29.7	4.8	NIYAZLAR-YESILOVA (BURDUR) [North West 3.3 km]
49	12.05.1971	37.5	29.57	4.7	GUNEY-YESILOVA (BURDUR) [North East 1.6 km]
50	12.05.1971	37.58	29.6	5.6	DUDEN-YESILOVA (BURDUR) [South East 3.8 km]
51	12.05.1971	37.51	29.71	5.4	KAYADIBI-YESILOVA (BURDUR) [South West 2.9 km]
52	12.05.1971	37.7	29.5	4.6	INCELER-BOZKURT (DENİZLİ) [South West 6.8 km]
53	12.05.1971	37.64	29.72	5.9	BAYINDIR-YESILOVA (BURDUR) [South West 3.6 km]
54	24.02.1971	37.05	29	4.8	KARACAM-KOYCEGIZ (MUGLA) [North West 3.5 km]
55	20.02.1971	37.82	29.39	4.8	ASAGIDAGDERE-HONAZ (DENİZLİ) [North West 1.2 km]
56	03.01.1971	37.08	28.99	4.5	KARACAM-KOYCEGIZ (MUGLA) [North West 6.7 km]

Tablo 2.1. Denizli ve çevresindeki oluşan depremler (URL-2, 2020) (Devamı)

No	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Magnitüt	Yer
57	02.01.1971	37.06	29.04	4.5	KARACAM-KOYCEGİZ (MUGLA) [North East 3.7 km]
58	28.12.1970	37.09	28.91	4.5	OTMANLAR-KOYCEGİZ (MUGLA) [North West 5.3 km]
59	28.12.1970	37.06	29.02	4.8	KARACAM-KOYCEGİZ (MUGLA) [North West 3.6 km]
60	28.09.1970	37.09	28.59	4.6	BALCILAR-KOYCEGİZ (MUGLA) [North East 1.8 km]
61	12.05.1970	38.6	29.3	5.3	YESILDERE- (USAK) [North West 1.4 km]
62	20.04.1970	38.7	29.2	4.7	BEYLERHAN- (USAK) [North West 1.5 km]
63	28.03.1970	38.1	29.2	5	DAGMARMARA-CAL (DENİZLİ) [South West 1.7 km]
64	15.11.1969	37.27	29.44	4.9	DARIVEREN-ACIPAYAM (DENİZLİ) [South West 2.2 km]
65	28.03.1969	38.09	29.02	4.7	ERTUGRUL-GUNEY (DENİZLİ) [North West 1.9 km]
66	28.03.1969	38.55	28.46	6.6	SOGANLI-ALASEHIR (MANISA) [North East 3.0 km]
67	25.03.1969	38.78	28.51	5.1	SARAYCIK-DEMIRCI (MANISA) [South West 1.6 km]
68	03.11.1968	38.6	28.7	4.6	KALINHARMAN-KULA (MANISA) [South West 2.2 km]
69	13.11.1967	37.78	28.83	4.7	DEMIRLI-BABADAG (DENİZLİ) [South 2.1 km]
70	26.10.1967	37.22	29.05	5.3	ALPA-TAVAS (DENİZLİ) [North West 0.6 km]
71	25.07.1967	37.9	28.7	4.8	BUCAKKOY-KUYUCAK (AYDIN) [South East 0.5 km]
72	25.07.1967	37.8	28.6	4.5	ESENCAIY-KARACASU (AYDIN) [North East 3.4 km]
73	19.07.1967	38.1	28.87	5.3	BOZALAN-BULDAN (DENİZLİ) [North 1.3 km]
74	16.08.1966	37.47	29.28	4.5	ALAATTIN-ACIPAYAM (DENİZLİ) [South West 3.6 km]
75	13.06.1966	38.3	28.5	4.7	BAHCEDERE-ALASEHIR (MANISA) [South 2.3 km]
76	07.05.1966	37.75	27.79	5.4	BOYDERE-KOCARLI (AYDIN) [North 2.4 km]
77	04.05.1966	37.8	27.9	4.5	TEPEKOY- (AYDIN) [North 2.2 km]
78	01.04.1966	38.7	28.5	4.7	YABACI-DEMIRCI (MANISA) [South East 1.7 km]
79	29.03.1966	38	28.75	4.9	CATAK-BULDAN (DENİZLİ) [North West 2.0 km]
80	08.12.1965	37.3	28.5	4.9	SENYAYLA- (MUGLA) [South 5.6 km]
81	02.12.1965	37.61	29.32	4.8	AYAZ-SERINHISAR (DENİZLİ) [North West 4.2 km]
82	04.10.1965	37.75	29	4.5	BASKARCI- (DENİZLİ) [South East 2.1 km]
83	12.07.1965	37.62	29.35	4.7	KOCAPINAR-SERINHISAR (DENİZLİ) [South West 3.5 km]
84	17.06.1965	37.77	29.36	4.8	KIZILYER-HONAZ (DENİZLİ) [South East 3.0 km]

Tablo 2.1. Denizli ve çevresindeki oluşan depremler (URL-2, 2020) (Devamı)

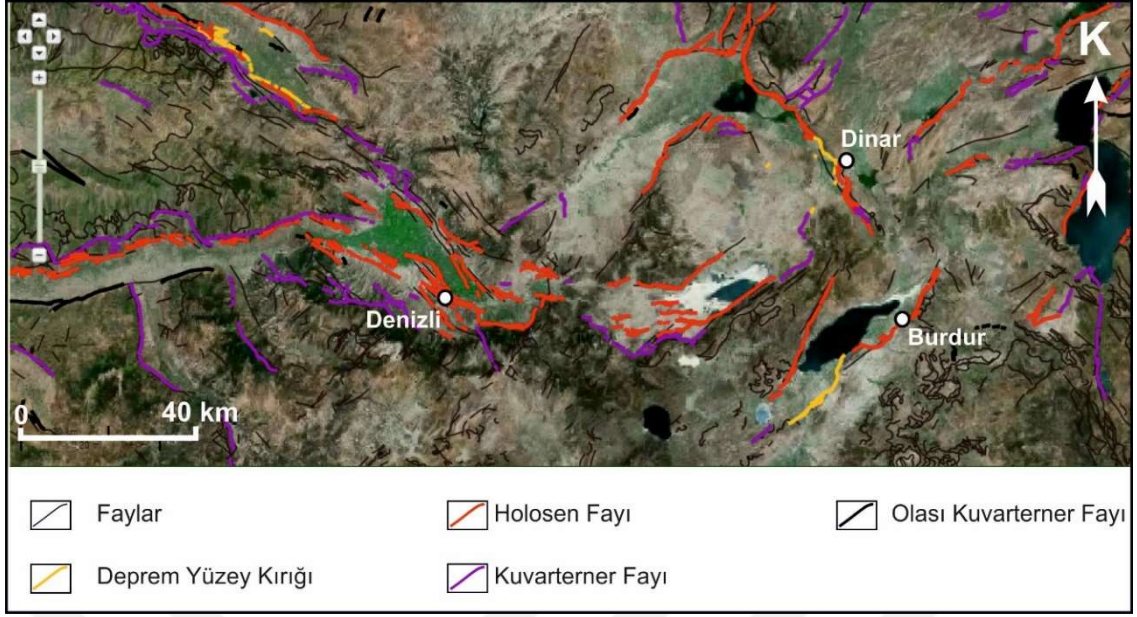
No	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Magnitüt	Yer
85	17.06.1965	37.6	28.8	4.8	DENIZOLUGU-TAVAS (DENIZLI) [South West 1.1 km]
86	13.06.1965	37.85	29.32	5.7	KOCABAS-HONAZ (DENIZLI) [North 4.8 km]
87	17.03.1965	38.1	28.1	4.5	KEMENLER-ODEMIS (IZMIR) [South East 1.4 km]
88	03.03.1965	38.27	28.47	4.8	BAHCEARASI-KIRAZ (IZMIR) [North East 4.3 km]
89	02.03.1965	38.47	28.33	5.3	TORUNLU-SALIHLI (MANISA) [South East 1.1 km]
90	25.04.1964	37.8	29.8	4.7	GEMIS-CARDAK (DENIZLI) [North West 3.5 km]
91	11.03.1963	37.96	29.14	5.6	KARAHAYIT- (DENIZLI) [East 3.1 km]
92	21.06.1961	37.87	28.77	5.3	TIRKAZ-SARAYKOY (DENIZLI) [South 2.2 km]
93	10.04.1960	37.73	27.8	4.9	BOYDERE-KOCARLI (AYDIN) [East 1.1 km]
94	09.01.1960	37.07	28.9	5.2	OTMANLAR-KOYCEGIZ (MUGLA) [North West 3.5 km]
95	19.12.1958	37.81	29.52	4.7	YENIBAGLAR-BOZKURT (DENIZLI) [West 1.5 km]
96	03.09.1958	38.27	28.19	4.8	VELILER-KIRAZ (IZMIR) [North West 0.9 km]
97	10.08.1948	38.48	28.94	5.2	DEREKOY-ESME (USAK) [South 1.0 km]
98	13.01.1948	38.1	28.8	4.9	GULALAN-BULDAN (DENIZLI) [North East 1.6 km]
99	21.12.1945	37.9	29	4.9	BEYLERBEYI-SARAYKOY (DENIZLI) [North East 2.7 km]
100	14.10.1941	37.2	28.4	4.8	ORTAKOY- (MUGLA) [North West 2.9 km]
101	21.09.1941	37.5	28.29	5.5	YESILKOY-KAVAKLIDERE (MUGLA) [North West 2.1 km]
102	23.06.1941	37.95	27.81	5.2	KARAGOZLER-INCIRLIOVA (AYDIN) [North East 2.1 km]
103	23.05.1941	37.22	28.35	5.4	MUGLA (MUGLA) [North West 1.3 km]
104	23.05.1941	37.13	28.38	5.5	GULAGZI- (MUGLA) [South East 3.1 km]
105	23.05.1941	37.2	28.4	4.7	ORTAKOY- (MUGLA) [North West 2.9 km]
106	24.07.1939	37.2	28.3	4.9	YESILYURT- (MUGLA) [North East 2.7 km]
107	01.05.1938	37.2	28.4	4.5	ORTAKOY- (MUGLA) [North West 2.9 km]
108	12.08.1936	37.44	29.44	5.3	YENIKOY-ACIPAYAM (DENIZLI) [North East 2.9 km]
109	02.08.1936	38.11	29.65	4.9	KIRALAN-CIVRIL (DENIZLI) [South East 1.6 km]
110	02.08.1936	37.88	29.7	4.9	IDRIS-DAZKIRI (AFYONKARAHISAR) [South 2.9 km]
111	17.08.1933	37.36	28.82	4.7	OZLUCE-KALE (DENIZLI) [South West 2.2 km]
112	19.07.1933	38.19	29.79	5.8	BEKIRLI-CIVRIL (DENIZLI) [South East 0.8 km]
113	08.05.1929	38	29.5	4.7	ISABEY-CAL (DENIZLI) [South East 5.2 km]

Tablo 2.1. Denizli ve çevresindeki oluşan depremler (URL-2, 2020) (Devamı)

No	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Magnitüt	Yer
114	31.03.1928	38.18	27.8	6.5	DEREBASI-TIRE (IZMIR) [East 1.5 km]
115	16.03.1926	37.5	29	6.3	MEDET-TAVAS (DENIZLI) [South West 1.7 km]
116	13.01.1926	38.53	28.19	5.8	TAYTAN-SALIHILI (MANISA) [North West 1.4 km]
117	03.09.1925	38	29	4.7	TEPEKOY-SARAYKOY (DENIZLI) [South East 1.4 km]
118	01.09.1925	37.56	29.17	5.5	AYDOGDU-TAVAS (DENIZLI) [North 5.4 km]
119	19.08.1925	38.1	29.8	4.9	BOZDAG-CIVRIL (DENIZLI) [West 2.2 km]
120	07.08.1925	38.1	29.8	5.9	BOZDAG-CIVRIL (DENIZLI) [West 2.2 km]
121	05.08.1925	38.1	29.8	5.3	BOZDAG-CIVRIL (DENIZLI) [West 2.2 km]
122	11.09.1923	38	29.5	4.8	ISABEY-CAL (DENIZLI) [South East 5.2 km]
123	06.12.1922	37.5	29	5.4	MEDET-TAVAS (DENIZLI) [South West 1.7 km]

Fethiye-Burdur fay zonu ülkemizin önemli neotektonik yapılarından birisidir. Farklı araştırmacılar tarafından bu zonun paleosismolojisine yönelik çalışmalar yapılmıştır (McKenzie, 1978; Koçyiğit, 1983; Karaman, 1990; Taymaz ve Price, 1992; Barka vd., 1995; Yağmurlu, 2000; Şentürk, 2003; Bozcu vd., 2007).

Fethiye ile Burdur Gölü arasındaki fay sistemlerini KD-GB, KB-GD ve K-G uzanımlı olmak üzere başlıca 3 grup içerisinde toplamak mümkündür (Şekil 2.4). Özellikle Burdur Gölü'nü kuzeyden ve güneyden sınırlayan KD gidişli faylar sol veriv atımlı normal fay karakterine sahiptirler. Bu faylar çoğu yerde Kuvaterner oluşuklarını keserek, bunlara yüksek eğimler kazandırmışlar ve alüvyonlar içerisinde gözlenebilen basamaklı yapılar oluşturmuşlardır. KB uzanımlı faylar ise büyük bölümüyle normal fay karakterinde olup; KD gidişli fayları değişik mevkilerde keserek bu faylar üzerinde farklı segmentlerin oluşumuna sebep olmuşlardır (Bozcu vd., 2007).



Şekil 2.4. Denizli İli ve yakın çevresi fay haritası (MTA, 2016)

2.4. Önceki Çalışmalar

Büyük Menderes grabeni içinde yer alan Denizli ilinin, üzerinde kurulu olduğu zeminlerin tipik alüvyal zeminler olduğu bilinmektedir. İlin kurulu olduğu tüm alanın yerel zemin koşullarının ortaya konulduğu kapsamlı bir çalışma henüz mevcut değildir. Ancak muhtelif zemin etüt raporlarından bazı bilgiler edinilebilmektedir. Bu çalışmalardan, yeraltı suyunun yüzeye yakın olduğu ve zemin türlerinin bazı mahallelerde SM – SC gurubunda ve kısmen de SW grubunda olduğu görülebilmektedir. Bölgenin 1. Derece deprem kuşağı içinde bulunması, meydana gelebilecek muhtemel bir deprem etkisiyle oluşacak devrinsel gerilmeler ile zemin sıvılaşması olgusunun görülebilme riski söz konusudur. Çeşitli etüt çalışmalarında yapılan sıvılaşma analizleri muhtelif bölgelerde sıvılaşma riskinin oldukça yüksek olduğunu bilinmektedir.

Jeolojik açıdan genç ve gevşek alüvyal çökeller, kumlu, siltli kumlu çökellerin depolandığı alanlar ve yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın derinliklerde olduğu kesimler, sıvılaşmanın görüldüğü zemin ortamlardır. Sıvılaşma sırasında makaslama dayanımını yitiren zemin, üzerindeki yapıları taşıyamayarak yapıların oturmasına, yana yatmasına veya devrilmesine, gömülü alt yapı elemanlarında çeşitli hasara neden olur. Ayrıca sıvılaşmaya bağlı olarak gelişen yanal yayılma ve akma türü kayma davranışları nedeniyle, zemin kütleleri ve üzerindeki yapılar nehir, göl ve denize doğru hareket edebilirler.

Sıvılaşma olgusu, 1998 Adana–Ceyhan depreminde, 1999 Kocaeli ve Bolu–Düzce depremlerinde meydana gelen hasarlarla geniş kitlelerin ilgisini çekmiştir. 3 Şubat 2003 tarihinde Çay–Eber’de meydana gelen 6.0 büyüklüğündeki depremde de sıvılaşma sığ derinliklerde (1–1.5 m) görülmüş ve bazı yerlerde sıvılaşmanın yüzeysel belirtilerinin olmayışı yüzeye yakın kalın killi ve siltli zemin tabakalarının varlığına bağlanmıştır (Ulusay vd., 2002).

Dünya çapında ve ülkemizde özellikle yerleşim alanlarının üzerinde kurulu olduğu zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. (Çelik, 2003), Denizli il merkezi zeminlerinin sıvılaşma potansiyelini incelemiş ve SPT darbe sayılarına bağlı olarak sıvılaşma potansiyelini belirlemiştir. (Karakaş ve Çoruk, 2010), İzmit Körfezinin Batısındaki zeminlerin sıvılaşma analizini gerçekleştirmiştir. Sıvılaşmaya bağlı oturma miktarları ve incelenen sondaj kuyularının sıvılaşma potansiyeli indekslerini hesaplamışlardır. (Akın vd., 2013), 2011 Van depreminde Karasu nehir havzasında görülen sıvılaşma olayını incelemiştir.

Ayrıca zeminlerin sıvılaşma potansiyelleri çeşitli laboratuvar modelleri ile incelenmektedir. Bu tür çalışmalarda hazırlanan fiziksel model, sarsma masaları veya daha yüksek ivmelerin simüle edilebildiği santrifüjler kullanılarak deneye tabi tutulmaktadır. Bu tür çalışmalarda hazırlanan zeminlerin ve farklı tane boyundaki zemin karışımlarının dinamik etki altındaki ve sıvılaşma sonrası davranışları incelenmektedir (Fiegel ve Kutter, 1994; Motamed vd., 2013; Özener vd., 2009; Varghese ve Latha, 2014; Sawicki ve Kulczykowski, 2014; Ecemiş, 2013).

Denizli ilinin üzerinde kurulduğu zeminlerin sıvılaşmaya ne derecede yatkın olduğu bu proje kapsamında sahaya düzgün olarak dağıtılmış sondajlardan elde edilecek veriler ile ortaya konulmuştur. Sıvılaşma potansiyeli istenilen derinlikler için sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanarak verilmiştir. Ayrıca Iwasaki (1982) tarafından önerilen ve tüm kuyu profili için hesaplanan sıvılaşma potansiyeli indeksleri de hesaplanmıştır.

Karakan ve Altun (2016), yaptıkları çalışmada silt-kum karışımlarının sıvılaşma davranışları ve sıvılaşma olayı sonrası meydana gelen hacimsel deformasyonların belirlenmesini amaçlamışlardır. İnceleme alanı İzmir-Bayraklı olarak seçilmiş ve elde edilen silt-kum karışımları 8 farklı ince tane içeriğinde olacak şekilde dinamik 3 eksenli sıkışma deneyine tabi tutulmuşlardır. Sıvılaşma sonrasında meydana gelen hacimsel deformasyon miktarları karışımlara ait ince tane içeriğine göre yorumlanmıştır.

Karanlık (2006), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Hatay ili Altınköy ilçesi ve çevresinin sıvılaşma potansiyelini ele alarak incelemiştir. Araştırmacı analizlerde SPT vuruş sayılarını kullanarak kumlu silt zeminlerin sıvılaşma durumlarını ele almıştır. Sıvılaşma potansiyeline ilişkin elde edilen veriler, çalışma alanının önemli oranda sıvılaşma riski taşıdığını ortaya koymuştur.

Dağdeviren (2019), Yeni Deprem Yönetmeliği ışığında sıvılaşma analiz yöntemini ele alarak incelemiş ve bir örnek alan üzerinde sıvılaşma analiz yöntemini uygulamıştır. Yazar çalışmasında elde ettiği veriler ışığında zeminin sıvılaşma riskine karşı jet grouting ile iyileştirilmesi yöntemini de sunarak incelemiştir.

Bayrakçı vd. (2013), Yaptıkları çalışmada Eskişehir ili örneğinde bu çalışmada, Eskişehir’de yapılan 87 adet sondajın verileri kullanılarak, farklı derinlikler için (5 m, 10 m, 15 m ve 20 m) sıvılaşma analizleri yapmışlardır. 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. 5 m

derinlik boyunca yapılan sıvılaşma analizi sonuçlarına göre çalışma alanında çok yüksek derecede sıvılaşan hiçbir bölgeye rastlanmazken, 10 m derinlik boyunca yapılan sıvılaşma analizine göre Eskişehir üzerinde 212 359 m², 15 m için yapılan sıvılaşma analizine göre 512 172 m² ve 20 m derinlik için sıvılaşma analizine göre 659 840 m² alan çok yüksek sıvılaşma potansiyeli göstermiştir. Yazarlar çalışmadan elde ettikleri değerlendirmelere göre sıvılaşma analizleri için 10 metrelik sondajların yetersiz olduğu, sıvılaşma değerinin bütün sondaj derinliği boyunca değiştiğini tespit etmişlerdir.

Sönmezer vd. (2012), Kırıkkale ilinde iki farklı mahalle için sıvılaşma analizleri ile elde ettikleri verileri CBS ile değerlendirerek analiz etmişlerdir. Çalışmada 21 adet sondaj verisi ProSıvı bilgisayar programı ile değerlendirilerek incelenmiştir. Yazarlar çalışılan bölgede magnitüd değeri 4, 5 ve 6 olarak yaptıkları sıvılaşma analizleri sonucunda bütün magnitüd değerlerinde özellikle magnitüd 5 ve 6 değerlerinde zeminin tamamında sıvılaşmasının görüleceğini bildirmişlerdir. Bu çalışma verilerine göre araştırmacılar sıvılaşma riskini azaltmak amacıyla zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması gerektiğini bildirmişlerdir.

Aslan (2010), çalışmasında Gebze Atıksu Arıtma Tesisi alanındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini incelemiştir. İnceleme alanındaki iri taneli zeminlerde sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı 1.2'nin altında bulunmuştur. Sıvılaşma şiddeti indeksine göre yapılan sıvılaşma şiddeti haritasında, inceleme alanının Marmara Denizi ve Saz Dere'sine yakın kesimlerindeki killi kum seviyeleri "orta" sınıf kategorisinde olarak belirlenmiştir. İnce taneli zeminler için yapılan değerlendirmelerde ise bazı seviyelerde sıvılaşmaların olabileceği belirlenmiş, bununla birlikte örtü zemin kalınlığı nedeni ile inceleme alanında sıvılaşmanın yüzde görülemeyeceği belirlenmiştir.

Özsoy ve Durgunoğlu (2003), yaptıkları çalışmada Jet Grouting ve Deep Mixing zemin ıslahı teknikleriyle sıvılaşma etkilerinin azaltılmasına yönelik yeni bir hesap metodu önermişlerdir. Önerilen metodun uygulaması Ford – Otosan Gölcük Tesisleri sahasında yapılan zemin ıslah çalışmaları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Önalp ve Arel (2002), 1999 Adapazarı depreminden sonra Adapazarı yerleşim alanında meydana gelen siltlerin sıvılaşmasını incelemiştir. Yazarlar standard penetasyon deneyi ile sıvılaşabilir siltlerin tanımlanamayacağını belirlenmesi üzerine bu konuda daha güvenilir olan Çin Kriteri ve konik sonda deneyi ölçümleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, NP siltlerin sıvılaşmasının zeminin fiziksel özelliklerinden veya zemin tipi davranış indisi Ic değerlerinden başarı ile tahmin edilebileceğini göstermiştir. Çalışmada Adapazarı zeminlerinde SPT, SCPTU ve TS1500/2000 ile elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılmış ve Adapazarı kriterinin değerlendirilmesi önerilmiştir.

Chung ve Rogers (2013), yaptıkları çalışmada sıvılaşma potansiyel indisine dayalı sıvılaşma analizlerinde yeraltı suyu seviyesi değerlerinin etkilerini istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar Missisipi ovası taşkın düzlüğünde yapılan 1200'ün üzerinde SPT verisine dayalı olarak elde ettikleri verileri sıvılaşma analizlerinde kullanarak genelleştirilebilir sonuçlar elde etmişlerdir.

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005), sıvılaşma potansiyel indisi yöntemine ait sıvılaşma değerlendirilmesine bir yenilik getirecek şekilde 2 farklı lokasyon (Taiwan ve Türkiye) örneğinde analizler yapmışlardır. Yazarlar ayrıca, bu tür çalışmaların bölgesel koşullar için yapılası durumunda sıvılaşma hassaslık haritalarının önemini belirtmişlerdir.

Duman vd. (2014), yaptıkları çalışmada Erzincan İl merkezi yerleşim alanı için SPT verilerinden yola çıkarak sıvılaşma potansiyel indisi yöntemi ile sıvılaşma potansiyelini belirlenmişlerdir. Araştırmacılar sıvılaşma analizlerinde kullanmak üzere MatLab bilgisayar programını kullanarak bir analiz modeli geliştirmişler ve ardından farklı zemin derinlikleri için sıvılaşma potansiyelini tanımlayan bölgelendirme haritaları üretmişlerdir.

Çaltılı ve Ger (2017), SPT deney verilerini kullanarak Edirne ili zeminlerinin sıvılaşma potansiyellerini belirlemişlerdir. Çalışmacılar Edirne ili ve ilçelerini içine alan bölgede toplam 77 adet sondaj verisini kullanarak LiqSVs programı ile sıvılaşma analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada farklı deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyelinin nasıl etkileneceği de belirtmiş ve maksimum deprem büyüklüğü 7.5 olarak alınmıştır.

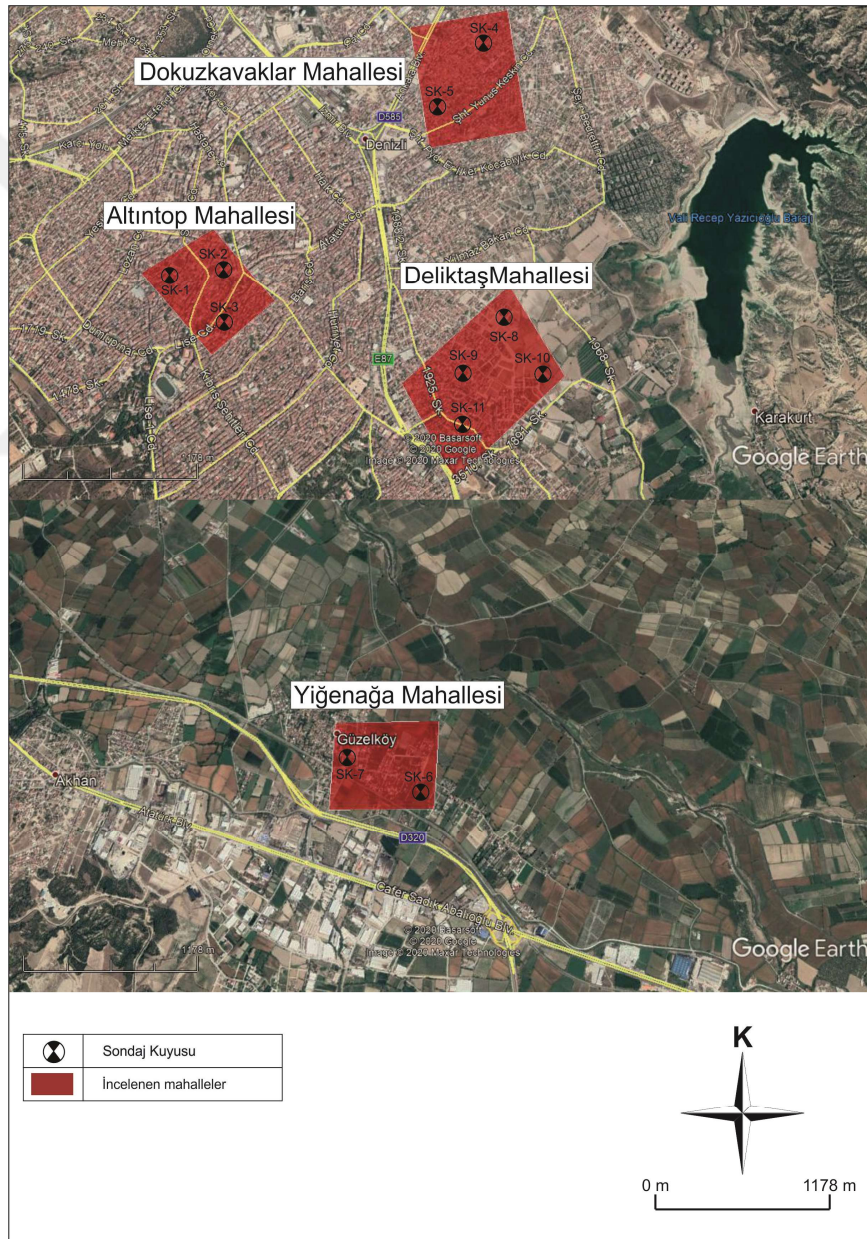
Orhan ve Ateş (2010), Manisa İli, Saruhanlı İlçesi için yaptıkları çalışmada alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin, SPT verileri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 26 farklı lokasyonda yapılan SPT verileri ile ilçenin yaklaşık 33 km güneyinde ve 150 km uzunluğundaki “Gediz Grabeni Fay Zonu”, bölgeyi etkileyebileceği ve en büyük ivmeyi yaratabileceği ivme esas alınarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Toplam 150 km uzunluğundaki bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3'nün kırılması tahmin edilerek, moment magnitüdü 7,1 ve normal atımlı faylar ve Türkiye için geliştirilen deprem atenasyon eşitliği kullanılarak 0,28 g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşabileceği hesaplanmış ve SPT verileri kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre çalışma sahasını temsilen, 2 bölgede yüksek, 1 bölgede düşük, bir bölgede ise çok düşük dereceli sıvılaşma riski olasılıkları belirlenmiş ve buna göre sıvılaşma risk haritası ortaya konulmuştur.

Kayacı vd. (2018), Sakarya ili Arifiye İlçesi örneğinde çok kanallı yüzey dalgası (MASW) ölçüm verileri ile zemin özellikleri ve sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu amaçla toplamda 37 noktada veri temin edilmiş ve her bir noktanın bir boyutlu derinlik-kayma dalgası hızı belirlenmiştir. Hız bilgileri dikkate alınarak 5-10-15-20-25-30 m derinlik seviyelerine ait ortalama Vs kayma dalgası hızı kat haritaları hazırlanmıştır. Yapılan analizler ile zemin sınıflaması ve olası sıvılaşma alanları tespit edilmiş ve riskin ortaya konulması sağlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında Denizli ilinde yer alan çeşitli mahallelerde yapılan zemin araştırmaları ile elde edilen verilere dayanarak sıvılaşma potansiyellerinin varlığı incelenmiştir. Bu amaçla farklı mahallelerde yapılan zemin etüt çalışmaları incelenmiş ve sıvılaşma açısından uygun olabilecek zemin koşullarının bulunduğu lokasyonlar seçilmiştir (Şekil 3.1.). Elde edilen arazi ve laboratuvar verileri irdelenerek mevcut deprem yönetmeliği (TBDY, 2018) ışığında sıvılaşma analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1. İncelenen mahalleler ve sondaj noktaları vaziyet planı

3.2. Aletler ve Cihazlar

Çalışmanın bütününde bölgesel olarak yapılan parsel bazında zemin etüt çalışmaları ile elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Zemin etüt çalışmaları otomatik şahmerdana sahip sondaj makinası ile yapılmış ve SPT tüpü yardımı ile belirli derinliklerde numuneler alınarak ilgili zemin özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvara teslim edilmiştir. İnceleme alanında ayrıca jeofizik ölçüm çalışmaları da yapılarak zemin sınıflarının doğru olarak tespiti sağlanmış ve ayrıca zeminlerin sismik özellikleri belirlenmiştir.

3.3. Yöntem

Denizli ili merkez mahallelerinde yapılan sondaj çalışmaları sonucunda sıvılaştırılabilir zemin niteliğini taşıyan, Altıntop, Dokuzkavaklar, Yiğenağa ve Deliktaş mahallelerinde incelemeler yoğunlaştırılmış ve sıvılaştırmanın meydana gelme durumu bu dört mahalledeki 5 farklı lokasyon için irdelenmiştir. Lokasyonların belirlenmesinde özellikle sıvılaştırılabilir nitelikte olabilecek kumlu zemin seviyelerinin olması durumları dikkate alınmıştır.

3.3.1. Sıvılaştırma Analiz Yöntemleri

Sıvılaştırma, deprem gibi dinamik etkilere maruz kalan kohezyonsuz zeminin kayma mukavemetinin hızlı bir şekilde kaybolmasıdır. Bir diğer ifade ile suya doygun kohezyonsuz zeminlerde boşluk suyu artışına bağlı olarak efektif gerilmelerin azalması sonucunda zeminin mukavemetini kaybetmesidir.

Sıvılaştırma olgusunun bilinmesi ve tanımlanabilmesi yanında mühendislik açısından riskin belirlenmesi amacıyla yapılan sıvılaştırma analizlerinde doğru bilgilerin elde edilmesi ve uygun analiz yönteminin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Sıvılaştırma analizlerinde kullanılan çeşitli kriterler bulunmaktadır. Bunlar esas olarak aşağıda sıralanan ana başlıklar halinde sunulabilir;

- 1- Eşik İvme Kriteri (Dobry vd, 1981),
- 2- Devirsel Kayma Gerilmesi Kriteri (Seed ve Idriss, 1971),
- 3- Sıvılaştırma İndisi Kriteri (Iwasaki vd, 1982),
- 4- Kumların Rölatif Sıkılıklarının İrdelenmesi,
- 5- Boşluk Suyu Basıncı Artış Oranı,
- 6- Tane Boyu Dağılımı,
- 7- Kritik Boşluk Oranı,
- 8- SPT verileri,

3.3.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)

Bu başlık altında yer alan bütün bilgiler ve denklem numaraları hiçbir değişiklik yapılmadan, doğrudan TBDY (2018)'den alınarak kullanılmıştır.

Zemin sıvılaşması tetiklenme analizleri kapsamında, saha zeminlerinin sıvılaşmaya karşı kayma direnci, τ ; eğimsiz sahalar için geliştirilmiş, arazi penetrasyon deneyleri veya kayma dalga hızı değerlerine bağlı ampirik zemin sıvılaşması direnci bağıntı ve eğrileri (gerekli düzeltmeler uygulanarak) kullanılarak bulunacaktır. SPT deney sonuçlarından yararlanılarak sıvılaşma direncinin hesaplanması için önerilen yöntem bir sonraki başlıkta verilmiştir. Deprem sarsıntısı sırasında gelişen kayma gerilmeleri, τ_{deprem} , basitleştirilmiş yöntem kullanılarak hesaplanacaktır (TBDY, 2018).

Bu başlık altında yer alan bütün bilgiler ve denklem numaraları TBDY, 2018'den doğrudan alınarak kullanılmıştır.

3.3.3. TBDY (2018)'e Göre Sıvılaşma Analizleri Detayı

2018 yılında yasalaşan ve 2019 yılı başından itibaren yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018), zemin sıvılaşması amacıyla değerlendirilmeye kullanılacak yonteme ait detayları sunmaktadır. Bu yönetmelik içerisinde sunulan sıvılaşma analiz değerlendirme yöntemi esas olarak Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilmiş olan “Devirsel Kayma Gerilmesi Kriteri”ni esas almaktadır. Ancak yöntem içerisinde bir kısım değişiklikler ile yöntem kullanılır hale getirilmiştir. Bunların başında kısa periyot spektral ivme katsayısı değerinin doğrudan sıvılaşma analizinde kullanılır olmasıdır. Bu bölümde TBDY (2018) tarafından önerilmiş olan ve bu tez çalışması kapsamında da esas alınmış olan “Yeni Sıvılaşma Analiz Değerlendirme Yöntemi” esas alınmıştır. Bu analiz yönteminin belirlenmesindeki gerekçe, yeni yönetmeliğin ülkemizin geneli için uygulamada zorunluluk teşkil etmesidir.

3.3.4. Ham SPT verilerinin düzeltilmesi

Araziden elde edilmiş ham SPT verileri, N , Denk. (3.1) kullanılarak N_{60} değerine düzeltilecektir.

$$N_{1,60} = N C_N C_R C_S C_B C_E \quad (3.1)$$

Burada C_N kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısını, C_R tij boyu düzeltme katsayısını, C_S numune alıcı tipi düzeltme katsayısını, C_B sondaj delgi çapı düzeltme katsayısını, C_E enerji oranı düzeltme katsayısını göstermektedir.

Derinlik düzeltme katsayısı C_N Denk. (3.2)'de verilen bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$C_N = 9,78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{v0}}} \leq 1,70 \quad (3.2)$$

Denk. (3.2)'de verilen bağıntıda deney derinliğindeki efektif düşey gerilme σ'_{v0} (kN/m^2), Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapıldığı durumdaki arazi koşullarına göre hesaplanmaktadır. Deney sonrasında yapılan ek dolgu, temel gerilmesi veya zemin kazısı ve benzeri nedenler ile oluşan efektif gerilme değişiklikleri dikkate alınmayacaktır. Denk. (3.1)'de yer alan diğer düzeltme katsayıları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. SPT düzeltme katsayıları

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3 m ile 4 m aralığında	0,75
	4m ile 6 m aralığında	0,85
	10 m'den derin	1,00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1,00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1,10-1,30
C_B	Çap 65 mm-115 mm arasında	1,00
	Çap 150 mm	1,05
	Çap 200 mm	1,15
C_E	Güvenli tokmak	0,60-1,17
	Halkalı tokmak	0,45-1,00
	Otomatik darbeli tokmak	0,90-1,60

3.3.5. SPT Verilerinin İnce Dane İçeriğine Göre Düzeltilmesi

İnce dane içeriğine (IDI) göre düzeltilmiş darbe sayıları N_{60f}' Denk. (3.3) ile hesaplanacaktır.

$$N_{1,60-f} = \alpha + \beta N_{60}' \quad (3.3)$$

Denk. (3.3)'daki α ve β katsayıları Denk. (3.4)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \alpha=0 & \quad ; \quad \beta=1 & \quad (\%5 \leq \text{IDI}) \\ \alpha=\exp[1,76-(190/\text{IDI}^2)] & \quad ; \quad \beta=0,99+\text{IDI}^{1.5}/1000 & \quad (\%5 < \text{IDI} \leq \%35) \\ \alpha=5 & \quad ; \quad \beta=1,2 & \quad (\text{IDI} \geq \%35) \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.3.6. Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması

Sıvılaşma direnci τ_R , moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranının ($CRR_{M7.5}$), tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M) ve efektif düşey gerilme (σ'_{vo}) ile çarpılması ile hesaplanacaktır.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{vo} \quad (3.4)$$

Çevrimsel dayanım oranı Denk. (3.5)'de verilen bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{60f}'} + \frac{N_{60f}'}{135} + \frac{50}{[10N_{60f}' + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3.5)$$

Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M), tasarım depremi büyüklüğüne (M_w) bağlı olarak Denk. (3.6)'deki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$C_M = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (3.6)$$

3.3.7. Depremde Oluşacak Kayma Gerilmesinin Hesaplanması

Zeminde oluşan kayma gerilmesi Denk. (3.7)'deki ilişki ile hesaplanacaktır.

$$\tau_{\text{deprem}} = 0,65 \sigma_{vo} (0,4 S_{DS}) r_d \quad (3.7)$$

Burada σ_{vo} sıvılaşma değerlendirilmesi yapılan derinlikteki toplam düşey gerilmeyi, r_d ilgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısını, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

Gerilme azaltma katsayısı, r_d incelenen derinliğe (z) bağlı olarak, Denk. (3.8)'deki bağıntı ile elde edilecektir.

$$\begin{aligned} r_d &= 1,0 - 0,00765z & z \leq 9,15 \text{ m} \\ r_d &= 1,174 - 0,0267z & 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0,744 - 0,008z & 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0,50 & z > 30 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu Denk. (3.9)'te tanımlanmıştır.

$$\frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1,10 \quad (3.9)$$

Burada τ_R ve τ_{deprem} , sırası ile sıvılaşma direncini ve zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesini ifade etmektedir. Denk.(3.9)'te verilen koşulun sağlanamaması durumunda, sıvılaşması beklenen tabakaların dayanım ve rijitlik özelliklerindeki azalma, olası taşıma gücü kayıpları, duraylılık bozuklukları ile oturma ve yanal yayılma türündeki zemin hareketleri değerlendirilecektir.

3.5.8 Jeofizik Ölçüm Verilerine Göre Sıvılaşma Analizi (Eşik İvme Kriteri)

Dobry vd., (1981) tarafından önerilmiş olan bu kriterde, sıvılaşmaya karşı belirlenen bir güvenlik sayısının değerlendirilmesi yolu ile sıvılaşmanın olup olmayacağı hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Güvenlik sayısı şu bağıntı ile ifade edilmektedir (Denk. 3.10).

$$F_a = 1,6 * \frac{a_t}{a_{maks}} \quad (3.10)$$

Burada,

a_t = sıvılaşma için eşik ivme değeri (Şekil 9),

a_{maks} = maksimum zemin ivmesidir.

Bu bağıntı kullanılarak güvenlik sayısının aşağıdaki durumları için şu şekilde değerlendirme yapılır.

$F_a \leq 1 \Rightarrow$ sıvılaşma riski yüksektir

$F_a > 1 \Rightarrow$ sıvılaşma riski yoktur.

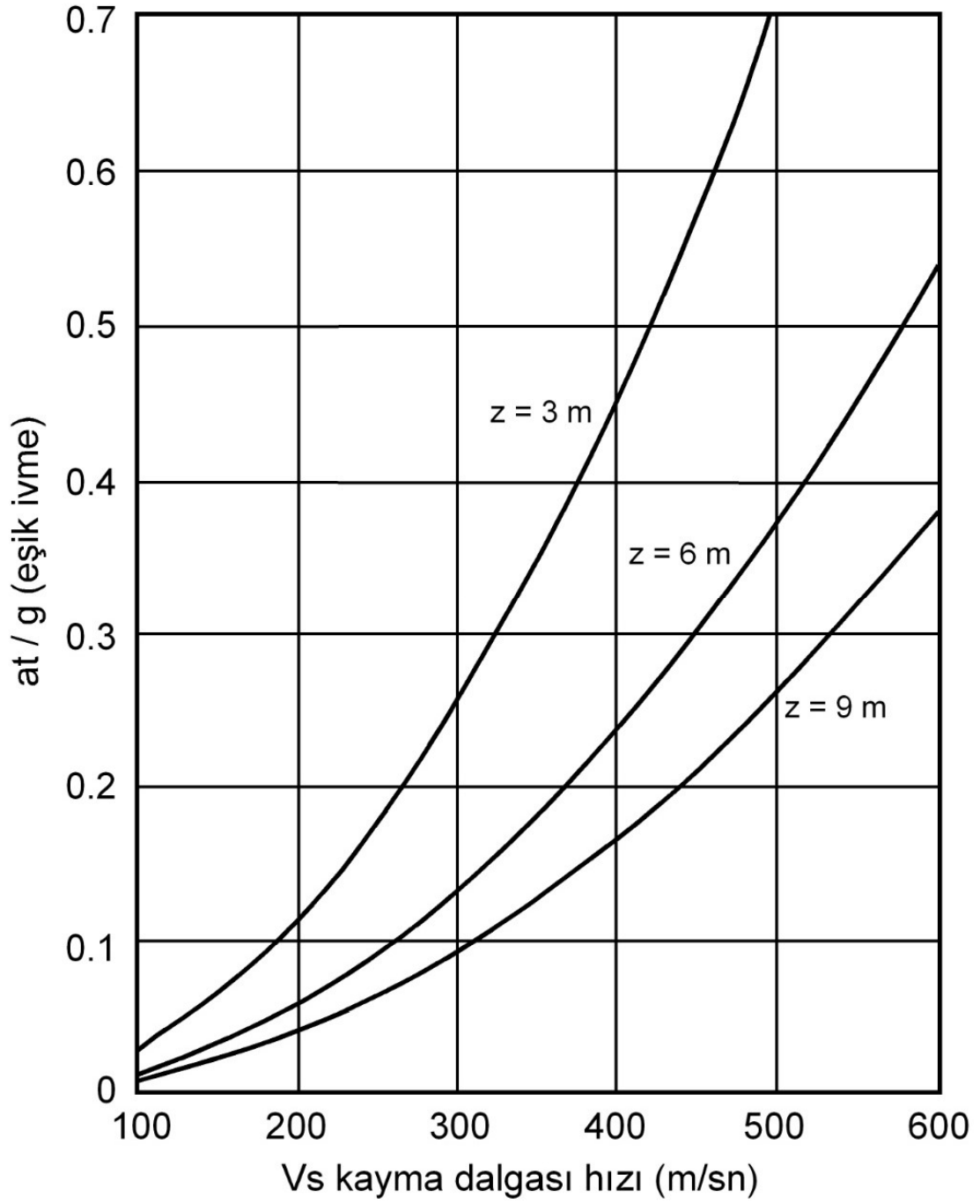
Sondaj çalışmaları ile yapılan sıvılaşma analizini desteklemek amacıyla arazide jeofizik ölçümler alınarak bunlara bağlı sıvılaşma potansiyelleri irdelenmiştir. (Sıvılaşma analizler $M=5$ 'e göre değerlendirilmiştir.).

Eşik ivme kriterinde emniyet faktörü $F_a = 1,6 * a_t / a_{max}$ şeklinde tanımlanmaktadır. a_t sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için gerekli başlangıç (eşik) ivmesi, a_{max} depremin meydana getireceği maksimum yer ivmesidir (Tablo 3.2.).

V_s kayma dalga hızlarına göre eşik ivme değerleri ise şekil 3.2'deki abak ile belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Max. ivme değerleri (Housner vd., 1997)

M = 5	$a_{max} = 0,16$
M = 5,5	$a_{max} = 0,20$
M = 6	$a_{max} = 0,26$
M = 6,5	$a_{max} = 0,30$
M = 7	$a_{max} = 0,36$
M = 7,5	$a_{max} = 0,40$
M = 8	$a_{max} = 0,45$

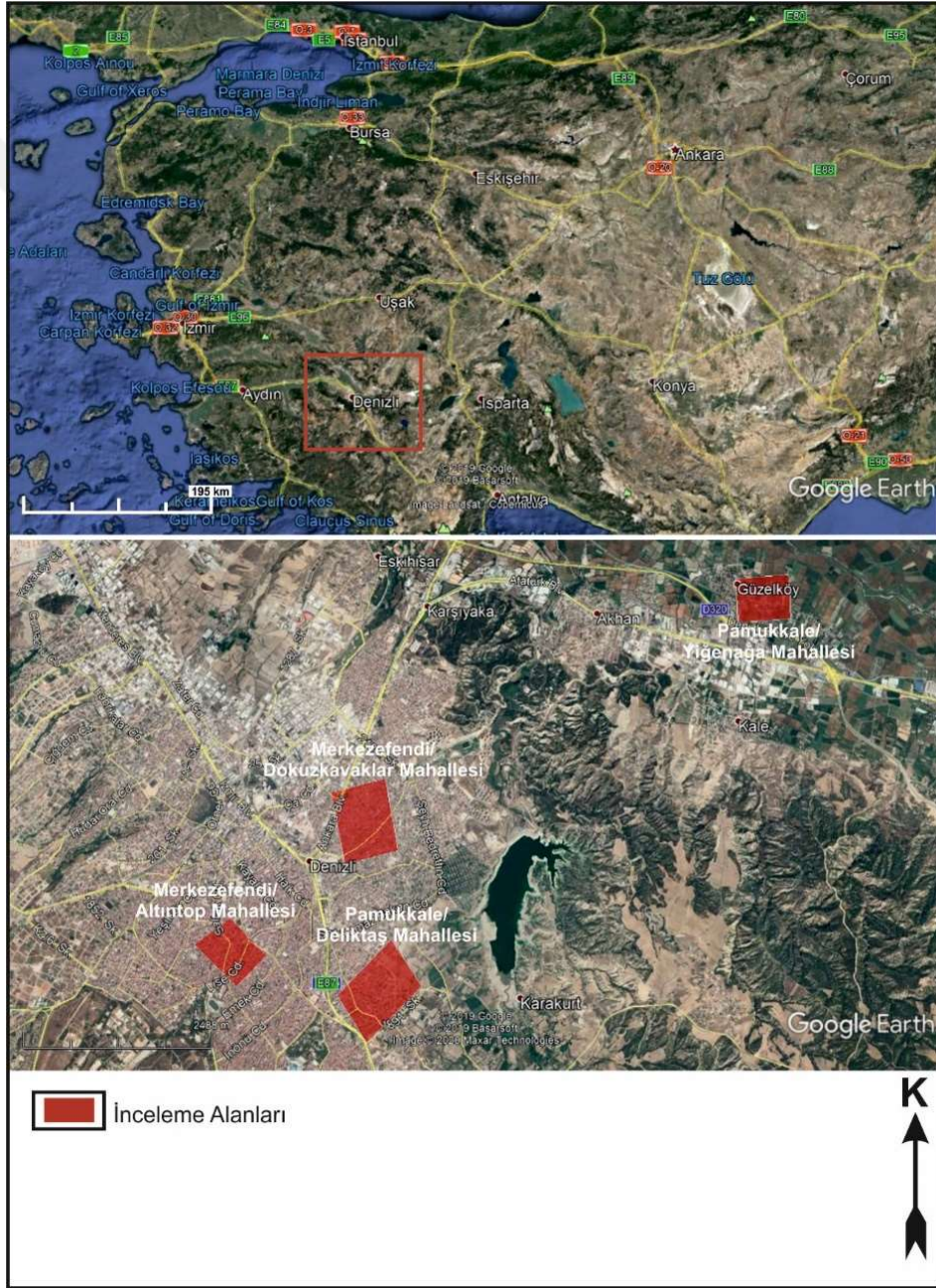


Şekil 3.2. Eşik ivme değerinin belirlenmesinde kullanılan abak

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. İncelenen Mahallelere Ait Zemin Özellikleri

Bu çalışma kapsamında ele alınan ve sıvılaştırılabilir olduğu düşünülen lokasyonlar için elde edilen jeolojik ve jeofizik veriler ile zemin özellikleri belirlenmiş, çalışma yapılan alanlar Denizli haritası üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.1). Sondaj çalışmalarının yapıldığı alanlarda genelde ince-kaba kum, siltli kumlar vb. (sıvılaştırılabilir birimler) kesilmiştir. Ayrıca zemin numuneleri laboratuvara teslim edilerek zemin grup sembollerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Laboratuvar sonuçları detaylı olarak Tablo 4.1’de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Arazi çalışmaları yapılan mahalleler

Çalışılan mahallelerin seçilmesinde mevcut zemin koşulları ve yeraltı suyu durumu dikkate alınmıştır. Bu amaçla hem bölgede yapılmış zemin etüt verileri değerlendirilmiş ve hem de yapılan laboratuvar sonuçları incelenmiştir.

4.2. Sondaj Verileri

Bu çalışma kapsamında Denizli ili merkez mahallelerinde seçilen bölgelerde açılan sondaj kuyularında her 1,50 metrede bir SPT deneyi yapılmış, elde edilen SPT-N₃₀ vuruşları, deney derinlikleri ve ölçülen yeraltı su seviyeleri Tablo 4.1- 4.11’de verilmiştir.

Tablolarda kullanılan kısaltmalar;

Refü (R): Sert zeminlerde, artarda üç 15 cm ilerleme aşamasından bir tanesinde, 50 darbede 15 cm penetrasyon gerçekleşmez ise deney durdurulur ve refü değerine ulaşıldığı şeklinde yorumlanır.

SPT-N₃₀: SPT deneyi yapılırken 45 cm penetrasyon için yapılan vuruşlar her 15 cm için ayrı ayrı kayıt edilir. Daha sora son 30 cm’de kayıt edilen vuruşlar toplanarak SPT-N₃₀ değeri elde edilir. İlk 15 cm’deki vuruşlar ise deney derinliğine inilirken yapılan delgi sırasında zeminin doğal halini kaybetmesinden dolayı gerçek vuruş değerleri elde edilemeyeceğinden yapılan hesaplamalarda kullanılmamaktadır.

Sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için zeminin sıvılaşa bilir nitelikte olması ve aynı zamanda suya doymun olması gerekmektedir. Sıvılaşma analizi yapılabilmesi için yeraltı su seviyesinin tespit edilmesi ve sıvılaşa bilir zeminin suya doymun olup olmadığı sorgulanmalıdır. Bu nedenle açılan her sondaj kuyusunda yeraltı su seviyeleri ölçülmüş, sıvılaşma analizinin yapılabilmesi için SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir.

SK-1 no’lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. SK-1 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Altıntop/Merkezfendi	Y.A.S.S.	2,20 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-1	1,50-2,00	12	
	3,00-3,50	R	
	4,50-5,00	18	
	6,00-6,50	20	
	7,50-8,00	22	
	9,00-9,50	R	
	10,00-12,00	R	
	12,00-15,00	R	
	15,00-18,00	R	
	18,00-20,00	R	

SK-2 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.2.).

Tablo 4.2. SK-2 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Altıntop/Merkezefendi	Y.A.S.S.	2,20 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-2	1,50-2,00	14	
	3,00-3,50	R	
	4,50-5,00	21	
	6,00-6,50	20	
	7,50-8,00	24	
	9,00-9,50	R	
	10,00-1200	R	
	12,00-15,00	R	

SK-3 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.3.).

Tablo 4.3. SK-3 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Altıntop/Merkezefendi	Y.A.S.S.	2,20 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-3	1,50-2,00	13	
	3,00-3,50	49	
	4,50-5,00	R	
	6,00-6,50	23	
	7,50-8,00	21	
	9,00-9,50	R	
	10,00-1200	R	
	12,00-15,00	R	

SK-4 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. SK-4 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Dokuzkavaklar/Pamukkale	Y.A.S.S.	4,00 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-4	1,50-2,00	--	
	3,00-3,50	30	
	4,50-5,00	26	
	6,00-6,50	16	
	7,50-8,00	20	
	9,00-9,50	16	
	10,00-1200	16	

SK-5 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.5.).

Tablo 4.5. SK-5 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Dokuzkavaklar/Pamukkale	Y.A.S.S.	4,00 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-5	1,50-2,00	--	
	3,00-3,50	29	
	4,50-5,00	30	
	6,00-6,50	17	
	7,50-8,00	18	
	9,00-9,50	16	
	10,00-1200	19	

SK-6 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. SK-6 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Yiğenağa/Pamukkale	Y.A.S.S.	3,50 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-6	1,50-1,95	13	
	3,00-3,45	7	
	4,50-4,95	8	
	6,00-6,45	10	
	7,50-7,95	10	
	9,00-9,45	14	
	10,50-10,95	15	
12,00-12,45	16		

SK-7 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.7.).

Tablo 4.7. SK-7 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Yiğenağa/Pamukkale	Y.A.S.S.	3,50 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-7	1,50-1,95	7	
	3,00-3,45	10	
	4,50-4,95	7	
	6,00-6,45	11	
	7,50-7,95	11	
	9,00-9,45	13	
	10,50-10,95	15	
	12,00-12,45	15	
	13,50-13,95	21	
	15,00-15,45	22	

SK-8 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.8.).

Tablo 4.8 SK-8 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Deliktaş(1) /Pamukkale	Y.A.S.S.	4,00 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-8	1,50-1,95	8	
	3,00-3,45	15	
	4,50-4,95	22	
	6,00-6,45	R	

SK-9 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.9.).

Tablo 4.9. SK-9 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Deliktaş(1)/Pamukkale	Y.A.S.S.	4,00 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-9	1,50-1,95	22	
	3,00-3,45	15	
	4,50-4,95	19	
	6,00-6,45	R	

SK-10 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.10.).

Tablo 4.10. SK-10 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Deliktaş(2)/Pamukkale	Y.A.S.S.	6,00 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-10	1,50-1,95	40	
	3,00-3,45	R	
	4,50-4,95	R	
	6,00-6,45	79	
	7,50-7,95	105	
	9,00-9,45	R	
	10,50-10,95	R	
	12,00-12,45	R	
	13,50-13,95	R	
	15,00-15,45	77	

SK-11 no'lu sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve SPT-N₃₀ değerleri kaydedilmiştir (Tablo 4.11.).

Tablo 4.11. SK-11 sondaj kuyusuna ait SPT deney sonuçları ve yeraltı suyu seviyeleri

Mahalle/İlçe	Deliktaş(2)/Pamukkale	Y.A.S.S.	6,00 m
Sondaj No	Derinlik	SPT-N ₃₀	
SK-11	1,50-1,95	25	
	3,00-3,45	30	
	4,50-4,95	25	
	6,00-6,45	R	
	7,50-7,95	R	
	9,00-9,45	R	
	10,50-10,95	70	
	12,00-12,45	R	
	13,50-13,95	R	
	15,00-15,45	62	

Sondaj kuyularında yapılan SPT deneylerinde, yer yer sıkı zeminlere rastlanması veya deney sırasında spt tüpünün ağızına iri çakılların takılması gibi nedenlerle bazı derinliklerde vuruşların 15 cm'lik penetrasyon için 50 vuruşu geçmesinden dolayı refü olarak kayıt edilmiş ve bu derinlikler için sıvılaştırma analizleri irdelenememiştir.

4.3. Laboratuvar Verileri

Sıvılaştırmanın gerçekleşebilmesi için zeminin sıvılaştırılabilir nitelikte (kumlu siltli zeminler) olması gerekmektedir. Arazi çalışmalarında farklı derinliklerden alınan numuneler üzerinde laboratuvar da elek analizi deneyleri yapılmış ve zemin sınıfları belirlenmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde zemin içerisinde ince kil tabakaları bulunsa da genel olarak sıvılaştırılabilir nitelikte kumlu birimlerin hakim olduğu belirlenmiştir. Başlık 3.5.2’ de belirtildiği gibi sıvılaştırma analizinin yapılabilmesi için laboratuvar da zemin numunelerinin doğal birim hacim ağırlıkları da belirlenmiştir.

Altıntop mahallesine ait zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine göre zeminin sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sıvılaştırma analizinin gerçekleştirilebilmesi için zemine ait doğal birim hacim ağırlığı da belirlenmiştir (Tablo 4.12.).

Tablo 4.12. Altıntop mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları

Mahalle/İlçe			Altıntop/Merkezefendi		
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	No. 4 Elek (%)	No.200 Elek (%)	Zemin Sınıfı
SK-1	1,50	18,4	18,67	23,23	SM
	4,50	20,4	13,09	31,41	SM
SK-2	6,00	19,9	13,43	43,52	SC
	7,50	19,7	10,60	38,04	SM
SK-3	1,50	20,5	8,52	29,62	SM
	3,00	20,5	11,57	31,90	SM

Dokuzkavaklar mahallesine ait zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine göre zemin profili 6,00 metreden sonra düşük plastisiteli kil olarak devam etse de 6 metreye kadar zeminin sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sıvılaştırma analizinin gerçekleştirilebilmesi için zemine ait doğal birim hacim ağırlığı da belirlenmiştir (Tablo 4.13.)

Tablo 4.13. Dokuzkavaklar mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları

Mahalle/İlçe			Dokuzkavaklar/Pamukkale		
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	No. 4 Elek (%)	No.200 Elek (%)	Zemin Sınıfı
SK-4	3,00	20,7	13,19	43,57	SC
	4,50	20,4	0,00	43,08	SC
	6,00	18,4	0,74	54,01	CL
SK-5	7,50	19,7	1,38	66,59	CL
	9,00	20,1	1,01	85,13	CL

Yiğenağa mahallesine ait zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine göre zemin profili içerisinde düşük plastisiteli kil bantları bulunsa da genel olarak zeminin sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sıvılaştırma analizinin gerçekleştirilebilmesi için zemine ait doğal birim hacim ağırlığı da belirlenmiştir (Tablo 4.14.)

Tablo 4.14. Yiğenağa mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları

Mahalle/İlçe			Yiğenağa/Pamukkale		
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	No. 4 Elek (%)	No.200 Elek (%)	Zemin Sınıfı
SK-6	3,00	20,4	3,27	60,33	CL
	7,50	20,8	28,68	16,56	SM
	10,50	20,5	28,22	30,11	SM
SK-7	1,50	18,8	20,98	17,16	SM
	4,50	20,2	1,40	57,18	CL
	9,00	20,0	25,00	31,65	SM
	12,00	20,5	31,55	28,36	SM

Deliktaş (1) mahallesine ait zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine göre zeminin sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sıvılaştırma analizinin gerçekleştirilebilmesi için zemine ait doğal birim hacim ağırlığı da belirlenmiştir (Tablo 4.15.)

Tablo 4.15. Deliktaş(1) mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları

Mahalle/İlçe			Deliktaş(1)/Pamukkale		
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	No. 4 Elek (%)	No.200 Elek (%)	Zemin Sınıfı
SK-8	3,00	20,4	1,20	28,40	SM
	4,50	20,7	0,50	26,90	SM
SK-9	3,00	20,5	0,80	30,70	SM
	4,50	20,8	5,60	27,80	SM

Altıntop mahallesine ait zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine göre zeminin sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sıvılaştırma analizinin gerçekleştirilebilmesi için zemine ait doğal birim hacim ağırlığı da belirlenmiştir (Tablo 4.16.)

Tablo 4.16. Deliktaş(2) mahallesinden alınan numunelerin laboratuvar sonuçları

Mahalle/İlçe			Deliktaş(2)/Pamukkale		
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	No. 4 Elek (%)	No.200 Elek (%)	Zemin Sınıfı
SK-10	1,50	17,7	17.00	28.13	SM
	6,00	20,8	17.65	28.24	SM
	7,50	20,4	40.88	12.12	SM
	15,00	20,2	0.91	24.98	SM
SK-11	6,00	19,9	14.80	26.87	SM
	7,50	20,0	26.32	21.87	SM
	3,00	18,8	12.81	30.80	SM
	6,00	19,5	19.10	30.07	SM

4.4. Jeofizik Ölçüm Verileri

Araştırma bölgelerinde, sondaj çalışmalarının yanı sıra jeofizik ölçümlerde yapılmış olup ilgili parametreler dikkate alınarak, bölgedeki sıvılaştırma potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler maksimum zemin ivmesi ve eşik ivme değerinin bulunması ile başlık 3.5.8’de belirtildiği üzere eşik ivme değerinin maksimum zemin ivme değerine bölünmesiyle elde edilen güvenlik katsayılarının 1’den büyük olup olmadığına bakılarak yapılmıştır. Sıvılaştırma analizinde kullanılacak jeofizik ölçüm sonuçları Tablo 4.17.’de verilmiştir.

Tablo 4.17. Çalışma alanlarında yapılan jeofizik ölçüm verileri

Çalışma Alanı Lokasyonları	Kayma Dalga Hızı Vs (m/sn)	Eşik İvme Değeri a _t (g)
Altıntop Mahallesi	290	0,13
Dokuzkavaklar Mahallesi	315	0,15
Yiğenağa Mahallesi	273	0,12
Deliktaş(1) Mahallesi	319	0,15
Deliktaş(2) Mahallesi	431	0,27

4.5. Sıvılaşma Analizleri ve Değerlendirmeler

İnceleme yapılan mahallelerdeki saha deneyleri ve laboratuvar deneyleri sonuçları toplanarak Denizli ili merkez mahalleleri için sıvılaşma potansiyelleri incelenmiştir. Bu mahallelerde sıvılaşma durumunun incelenmesinin gereksinimi ise araştırma yapılan mahallerde yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması ve zeminin genel olarak sıvılaşabilir nitelikte kumlu gevşek birimlerden oluşmasıdır. Arazide yapılan SPT deneyleri sonucunda elde ettiğimiz SPT-N₃₀ değerleri başlık 3.5.2’de belirttiği üzere gerekli düzeltmeler yapılarak zeminin sıvılaşma direnci ve deprem etkisi altında oluşacak kayma gerilmesi değerleri hesaplanarak güvenlik katsayıları belirlenmiş ve incelenen mahallelerin sıvılaşma durumları irdelenmiştir.

SPT-N₃₀ değerleri, örtü yükü, tij boyu, numune alıcı tipi, sondaj çapı ve şahmerdan tipi düzeltmeleri yapılarak SPT-N₆₀’ değerleri elde edilmiştir. Daha sonra zemin içerisindeki ince tane oranı dikkate alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda SPT-N_{1,60-f} değerleri elde edilmiştir. Ayrıca sıvılaşmanın gerçekleşmesi için dinamik bir yük (deprem) etkisi gerekmektedir. Bu nedenle bir tasarım depremi büyüklüğü (M_w) değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Denizli’de gerçekleşmesi beklenen en büyük deprem M_w=6,3 olduğundan bu büyüklük 6,3 olarak belirlenmiş ve hesaplamalar içerisinde kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak bir diğer parametre ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı olan S_{DS}’dir. Bu değer ise <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> internet adresinden inceleme alanına ait istenen parametreler girildikten sonra elde edilmektedir. Bütün bu düzeltmeler ise başlık 3.5.2’ de ayrıntılı olarak verilmiş olup, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)’e göre hazırlanmış sıvılaşma analizi için yapılmış Excel programında değerlendirilmiştir.

4.5.1. Altıntop Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli

Altıntop mahallesinde yapılan çalışmalarda elde edilen veriler, M_w:6,3 ve S_{DS}:1,125 alınarak değerlendirilen çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

Tablo 5.1. Altıntop mahallesi SK-1 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-1			Yeraltı Su Seviyesi (m)			2.20			
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{Ds}			1.125
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi			
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak			
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$	
1.50	12	28.50	28.50	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	19.13	
3.00	R	R	R	R	1.40	0.75	1.00	1.00	1.25	R	
4.50	18	85.50	62.50	30	1.24	0.85	1.00	1.00	1.25	23.66	
6.00	20	114.00	76.00	30	1.12	0.85	1.00	1.00	1.25	23.84	
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	τ_{DEPREM}	(τ_R / τ_{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU			
1.50	26.78	0.33	1.56	14.80	0.99	8.24	1.80	YOK			
3.00	R	R	1.56	R	0.98	16.29	R	-			
4.50	32.02	0.74	1.56	71.92	0.97	24.15	2.98	YOK			
6.00	32.22	0.80	1.56	94.64	0.95	31.81	2.97	YOK			

SK-1 no'lu sondaj kuyusunda deneyler zemin koşulları nedeniyle 6 metre boyunca gerçekleştirilebilmiştir. Bu veriler program içerisine girilerek elde edilen sonuçlar doğrultusunda zeminin 6 metrelik kısmında sıvılaşmanın gerçekleşmeyeceği belirlenmiştir (Tablo 5.1.).

Tablo 5.2. Altıntop mahallesi SK-2 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-2			Yeraltı Su Seviyesi (m)			2.20					
Deprem Hesabı Verileri		M _w			6.3			S _{DS}			1.125		
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi					
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm- 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak					
Derinlik (m)	SPT-N ₃₀	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C _N	C _R	C _S	C _B	C _E	SPT-N _{1,60}			
1.50	14	29.70	29.70	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	22.31			
3.00	R	59.40	51.40	30	1.36	0.75	1.00	1.00	1.25	R			
4.50	21	89.10	66.10	30	1.20	0.85	1.00	1.00	1.25	26.84			
6.00	20	118.80	80.80	30	1.09	0.85	1.00	1.00	1.25	23.12			
7.50	R	148.50	95.50	30	1.00	0.95	1.00	1.00	1.25	R			
9.00	R	178.20	110.20	30	0.93	0.95	1.00	1.00	1.25	R			
10.50	R	207.90	124.90	30	0.88	1.00	1.00	1.00	1.25	R			
12.00	R	237.60	139.60	30	0.83	1.00	1.00	1.00	1.25	R			
13.50	R	267.30	154.30	30	0.79	1.00	1.00	1.00	1.25	R			
15.00	R	297.00	169.00	30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.25	R			
Derinlik (m)	SPT-N _{1,60-f}	CRR _{M=7.5}	C _M	τ_R	r _d	T _{DEPREM}	(τ_R / T_{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU					
1.50	30.46	0.50	1.56	23.37	0.99	8.59	2.72	YOK					
3.00	R	R	1.56	R	0.98	16.98	R	R					
4.50	35.69	-	-	-	-	-	-	YOK					
6.00	31.39	0.61	1.56	77.21	0.95	33.15	2.33	YOK					
7.50	R	R	1.56	R	0.94	40.94	R	R					
9.00	R	R	1.56	R	0.93	48.67	R	R					
10.50	R	R	1.56	R	0.89	54.34	R	R					
12.00	R	R	1.56	R	0.85	59.32	R	R					
13.50	R	R	1.56	R	0.81	63.61	R	R					
15.00	R	R	1.56	R	0.77	67.20	R	R					

SK-2 no'lu sondaj kuyusunda 15 metre ilerleme sağlanmış ancak zemin koşulları nedeniyle genel olarak SPT vuruşları refü olarak kaydedilmiştir. Deney yapılabilen derinliklerde ise ilgili parametreler dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda ise sıvılaşma probleminin olmayacağı belirlenmiştir (Tablo 5.2.).

Tablo 5.3. Altıntop mahallesi SK-3 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-3			Yeraltı Su Seviyesi (m)			2.20			
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{DS}			1.125
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi			
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak			
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$	
1.50	13	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	20.72	
3.00	49	61.50	53.50	30	1.34	0.75	1.00	1.00	1.25	61.42	
4.50	R	92.25	69.25	30	1.18	0.85	1.00	1.00	1.25	R	
6.00	23	123.00	85.00	30	1.06	0.85	1.00	1.00	1.25	25.92	
7.50	R	153.75	100.75	30	0.97	0.95	1.00	1.00	1.25	R	
9.00	R	184.50	116.50	30	0.91	0.95	1.00	1.00	1.25	R	
10.50	R	215.25	132.25	30	0.85	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
12.00	R	246.00	148.00	30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
13.50	R	276.75	163.75	30	0.76	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
15.00	R	307.50	179.50	30	0.73	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	τ_{DEPREM}	(τ_R / τ_{DEPREM})	SIVILAŞMA DURUMU			
1.50	28.62	0.39	1.56	18.90	0.99	8.89	2.13	YOK			
3.00	75.61	0.53	1.56	44.38	0.98	17.58	2.53	YOK			
4.50	R	R	1.56	R	0.97	26.05	R	R			
6.00	34.63	-	-	-	-	-	-	YOK			
7.50	R	R	1.56	R	0.94	42.39	R	R			
9.00	R	R	1.56	R	0.93	50.39	R	R			
10.50	R	R	1.56	R	0.89	56.26	R	R			
12.00	R	R	1.56	R	0.85	61.42	R	R			
13.50	R	R	1.56	R	0.81	65.86	R	R			
15.00	R	R	1.56	R	0.77	69.57	R	R			

SK-3 no'lu sondaj kuyusunda da 15 metre ilerleme sağlanmış ancak SK-2 no'lu kuyuda olduğu gibi alt seviyelerde SPT vuruşları zemin koşulları nedeniyle refü olarak kaydedilmiştir. Deneyin yapılabildiği derinliklerde ise ilgili parametreler değerlendirilerek herhangi bir sıvılaşma durumunun olmadığı belirlenmiştir (Tablo 5.3.).

Altıntop mahallesinde toplamda üç adet sondaj kuyusu açılarak zemin araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Ancak bu sondaj çalışmalarında üst seviyelerde SPT deneyleri yapılabilmemiş, alt seviyelerde ise deneyler gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle üst seviyeler

için sıvılaşma problemi gözlenmesi bile daha alt seviyelerde sıvılaşmanın olup olmayacağı açılan 3 adet sondaj kuyusunda yapılan deney sonuçlarına göre belirlenmemektedir.

4.5.2. Dokuzkavaklar Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli

Dokuzkavaklar mahallesinde yapılan çalışmalarda elde edilen veriler, M_w : 6,3 ve S_{DS} :1,128 alınarak değerlendirilen çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

Tablo 5.4. Dokuzkavaklar mahallesi SK-4 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-4			Yeraltı Su Seviyesi (m)			4.00			
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{DS}			1.128
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi			
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak			
Derinlik (m)	SPT-N ₃₀	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT-N _{1,60}	
1.50	R	30.00	30.00	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	R	
3.00	R	60.00	60.00	30	1.26	0.75	1.00	1.00	1.25	R	
4.50	R	90.00	85.00	30	1.06	0.85	1.00	1.00	1.25	R	
6.00	16	120.00	100.00	30	0.98	0.85	1.00	1.00	1.25	16.63	
7.50	20	150.00	115.00	30	0.91	0.95	1.00	1.00	1.25	21.66	
9.00	16	180.00	130.00	30	0.86	0.95	1.00	1.00	1.25	16.30	
10.50	16	210.00	145.00	30	0.81	1.00	1.00	1.00	1.25	16.24	
Derinlik (m)	SPT-N _{1,60-f}	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	τ_{DEPREM}	(τ_R / τ_{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU			
1.50	R	R	1.56	R	0.99	8.70	R	R			
3.00	R	R	1.56	R	0.98	17.19	R	R			
4.50	R	R	1.56	R	0.97	25.49	R	R			
6.00	23.90	0.27	1.56	42.43	0.95	33.58	1.26	YOK			
7.50	29.71	0.45	1.56	80.57	0.94	41.47	1.94	YOK			
9.00	23.52	0.27	1.56	53.86	0.93	49.29	1.09	YOK			
10.50	23.46	0.26	1.56	59.85	0.89	55.04	1.09	YOK			

SK-4 no'lu sondaj kuyusunda 10,50 metre ilerleme sağlanmış 4,50 metreye kadar vuruşlar refü olarak kaydedilmiş ve 6,00-10,50 metreler arasında SPT deneyleri gerçekleştirilerek sıvılaşma potansiyelleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda 9,00-10,00 metrelerinde güvenlik katsayıları 1,10'dan daha küçük olması sıvılaşma potansiyelinin olduğunu gösterse de bu derinliklerde zeminin sıvılaşabilir zemin niteliğinde

olmaması, zemin profilinin kil olarak devam etmesi sıvılaşma riskinin bulunmadığını göstermektedir (Tablo 5.4.).

Tablo 5.5. Dokuzkavaklar mahallesi SK-5 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-5		Yeraltı Su Seviyesi (m)		4.00				
Deprem Hesabı Verileri		M _w		6.3		S _{DS}		1.128		
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi		
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak		
Derinlik (m)	SPT-N ₃₀	σ _{vo} (kN/m ²)	σ' _{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C _N	C _R	C _S	C _B	C _E	SPT-N _{1,60}
1.50	R	30.00	30.00	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	R
3.00	R	60.00	60.00	30	1.26	0.75	1.00	1.00	1.25	R
4.50	30	90.00	85.00	30	1.06	0.85	1.00	1.00	1.25	33.81
6.00	17	120.00	100.00	30	0.98	0.85	1.00	1.00	1.25	17.67
7.50	18	150.00	115.00	30	0.91	0.95	1.00	1.00	1.25	19.49
9.00	16	180.00	130.00	30	0.86	0.95	1.00	1.00	1.25	16.30
10.50	19	210.00	145.00	30	0.81	1.00	1.00	1.00	1.25	19.29
Derinlik (m)	SPT-N _{1,60-f}	CRR _{M=7.5}	C _M	τ _R	r _d	τ _{DEPREM}	(τ _R / τ _{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU		
1.50	R	R	1.56	R	0.99	8.70	R	R		
3.00	R	R	1.56	R	0.98	17.19	R	R		
4.50	43.74	0.22	1.56	28.74	0.97	25.49	1.13	YOK		
6.00	25.10	0.29	1.56	45.89	0.95	33.58	1.37	YOK		
7.50	27.21	0.34	1.56	61.84	0.94	41.47	1.49	YOK		
9.00	23.52	0.27	1.56	53.86	0.93	49.29	1.09	YOK		
10.50	26.97	0.34	1.56	76.46	0.89	55.04	1.39	YOK		

SKK-5 no'lu sondaj kuyusunda da ilerleme 10,50 metre boyunca sağlanmış ancak SK'4 no'lu kuyuda olduğu gibi ilk metrelerde yapılamayan deneyler daha derinlere inildikçe gerçekleştirilebilmiştir. Yapılan deneylerde vuruş sayıları dikkate alınarak yapılan analizler sonucu genel olarak sıvılaşma beklenmese de 9.00. metrede sıvılaşmanın olabileceği gözlenirse de SK'4 no'lu sondaj kuyusunda olduğu gibi zeminin kil olarak devam etmesi herhangi bir sıvılaşma riskinin bulunmadığını göstermektedir (Tablo 5.5.).

Dokuzkavaklar mahallesinde toplamda 2 adet araştırma sondajı açılmıştır. Açılan bu sondaj kuyularının ilk metrelerinde deneyler gerçekleştirilemezken daha derinlere inildikçe SPT vuruşları kaydedilmiştir. Kaydedilen SPT vuruşlarına göre yapılan analizlerde bazı

derinliklerde 1,10 olan güvenlik katsayısının altına inse de bu derinlikle de zemin profilinin kil olarak devam etmesi nedeniyle Dokuzkavaklar mahallesinde sıvılaşmanın olmayacağı belirlenmiştir.

4.5.3. Yiğenağa Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli

Yiğenağa mahallesinde yapılan çalışmalarda elde edilen veriler, M_w :6,3 ve S_{DS} :1,127 alınarak değerlendirilen çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

Tablo 5.6. Yiğenağa mahallesi SK-6 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-6			Yeraltı Su Seviyesi (m)			3.50		
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{DS}		
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi		
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak		
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$
1.50	13	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	20.72
3.00	7	61.50	61.50	30	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	8.18
4.50	8	92.25	82.25	30	1.08	0.85	1.00	1.00	1.25	9.17
6.00	10	123.00	98.00	30	0.99	0.85	1.00	1.00	1.25	10.50
7.50	10	153.75	113.75	30	0.92	0.95	1.00	1.00	1.25	10.89
9.00	14	184.50	129.50	30	0.86	0.95	1.00	1.00	1.25	14.29
10.50	15	215.25	145.25	30	0.81	1.00	1.00	1.00	1.25	15.22
12.00	16	246.00	161.00	30	0.77	1.00	1.00	1.00	1.25	15.42
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	T_{DEPREM}	(τ_R / T_{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU		
1.50	28.62	0.39	1.56	18.90	0.99	8.91	2.12	YOK		
3.00	14.15	0.15	1.56	14.57	0.98	17.61	0.83	YOK		
4.50	15.29	0.16	1.56	20.94	0.97	26.10	0.80	YOK		
6.00	16.82	0.18	1.56	27.39	0.95	34.39	0.80	VAR		
7.50	17.28	0.18	1.56	32.66	0.94	42.47	0.77	VAR		
9.00	21.20	0.23	1.56	46.71	0.93	50.48	0.93	VAR		
10.50	22.27	0.25	1.56	55.79	0.89	56.36	0.99	VAR		
12.00	22.50	0.25	1.56	62.70	0.85	61.53	1.02	VAR		

SK-6 no'lu sondaj kuyusunda 12 metre boyunca ilerleme sağlanmış ve her bir derinlikte SPT deneyleri yapılabilmektedir. 4.50 metreye kadar kil olarak devam eden zemin

profili daha sonra kumlu birimler ile devam etmektedir. Bu nedenle bu derinliğe kadar bir sıvılaşma riski beklenmemektedir. Ancak daha derinlere inildikçe zeminin kumlu ve suyu doygun olmasından dolayı yapılan analizler sonucu sıvılaşmanın gerçekleşebileceği belirlenmiştir (Tablo 5.6.).

Tablo 5.7. Yiğenağa mahallesi SK-7 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-7			Yeraltı Su Seviyesi (m)			3.50			
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{DS}			1.127
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi			
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak			
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$	
1.50	7	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	11.16	
3.00	10	61.50	61.50	30	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	11.69	
4.50	7	92.25	82.25	30	1.08	0.85	1.00	1.00	1.25	8.02	
6.00	11	123.00	98.00	30	0.99	0.85	1.00	1.00	1.25	11.55	
7.50	11	153.75	113.75	30	0.92	0.95	1.00	1.00	1.25	11.98	
9.00	13	184.50	129.50	30	0.86	0.95	1.00	1.00	1.25	13.27	
10.50	15	215.25	145.25	30	0.81	1.00	1.00	1.00	1.25	15.22	
12.00	15	246.00	161.00	30	0.77	1.00	1.00	1.00	1.25	14.45	
13.50	21	276.75	176.75	30	0.74	1.00	1.00	1.00	1.25	19.31	
15.00	22	307.50	192.50	30	0.70	1.00	1.00	1.00	1.25	19.38	
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	τ_{DEPREM}	(τ_R / τ_{DEPREM})	SIVILAŞMA DURUMU			
1.50	17.58	0.19	1.56	8.99	0.99	8.91	1.01	VAR			
3.00	18.20	0.19	1.56	18.65	0.98	17.61	1.06	VAR			
4.50	13.96	0.15	1.56	19.25	0.97	26.10	0.74	VAR			
6.00	18.03	0.19	1.56	29.42	0.95	34.39	0.86	VAR			
7.50	18.53	0.20	1.56	35.16	0.94	42.47	0.83	VAR			
9.00	20.02	0.22	1.56	43.63	0.93	50.48	0.86	VAR			
10.50	22.27	0.25	1.56	55.79	0.89	56.36	0.99	VAR			
12.00	21.39	0.23	1.56	58.71	0.85	61.53	0.95	VAR			
13.50	27.00	0.34	1.56	93.39	0.81	65.97	1.42	YOK			
15.00	27.08	0.34	1.56	102.43	0.77	69.70	1.47	YOK			

SK-7 no'lu sondaj kuyusunda 15 metre ilerleme gerçekleştirilerek SPT vuruş sayıları kaydedilmiştir. Bu deneyler sonuca yapılan analizlerde sıvılaşmanın 6,00-12,00 metreleri arasında gerçekleşebileceği belirlenmiştir (Tablo 5.7.).

Yiğenağa mahallesinde de toplamda iki adet araştırma sondajı açılmıştır. Bu sondajlarda, sondajın başlangıç kotundan 4,50 metre derine kadar killi birim olarak devam ettiği belirlenmiş ve bu derinliklerde zemin sıvılaşabilir olarak gözükse de zemin türü sebebiyle herhangi bir sıvılaşma riski beklenmemektedir. Ancak daha derinliklere inildikçe zeminin sıvılaşabilir nitelikte kumlu birimlerden oluştuğu gözlenmekte ve suya doygun olduğu bilinmektedir. Bütün bu veriler ile analizler gerçekleştirilmiş ve Yiğenağa mahallesinde 6,00-12,00 metreleri arasında 6,3 büyüklüğündeki bir deprem anında zeminin sıvılaşabileceği belirlenmiştir.

4.5.4. Deliktaş (1) Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli

Deliktaş (1) mahallesinde yapılan çalışmalarda elde edilen veriler, $M_w:6,3$ ve $S_{DS}:1,123$ alınarak değerlendirilen çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

Tablo 5.8. Deliktaş(1) mahallesi SK-8 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-8			Yeraltı Su Seviyesi (m)			4.00			
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{DS}			1.123
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi			
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak			
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$	
1.50	8	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	12.75	
3.00	15	61.50	61.50	30	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	17.54	
4.50	22	92.25	87.25	30	1.05	0.85	1.00	1.00	1.25	24.47	
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	T_{DEPREM}	(τ_R / T_{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU			
1.50	19.42	0.21	1.56	10.01	0.99	8.88	1.13	YOK			
3.00	24.95	0.29	1.56	27.94	0.98	17.54	1.59	YOK			
4.50	32.96	1.20	1.56	163.33	0.97	26.01	6.28	YOK			

SK-8 no'lu sondaj kuyusunda 4,50 metre boyunca 3 adet spt deneyi yapılmıştır. Alınan numuneler incelendiğinde ise zeminin sıvılaşabilir nitelikte kumlu zemin olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak ve 4,00 metreye kadar zeminin suya doygun

olmamasından dolayı herhangi bir sıvılaşmanın gerçekleşmeyeceği bu metreler için belirlenmiştir (Tablo 5.8.).

Tablo 5.9. Deliktaş (1) mahallesi SK-9 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları($M_w = 6,3$)

Sondaj Kuyusu		SK-9		Yeraltı Su Seviyesi (m)			4.00			
Deprem Hesabı Verileri		M_w		6.3		S_{Ds}		1.123		
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi		
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak		
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$
1.50	22	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	35.06
3.00	15	61.50	61.50	30	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	17.54
4.50	19	92.25	87.25	30	1.05	0.85	1.00	1.00	1.25	21.14
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	τ_{DEPREM}	(τ_R / τ_{DEPREM})	SIVILAŞMA DURUMU		
1.50	45.18	0.24	1.56	11.55	0.99	8.88	1.30	YOK		
3.00	24.95	0.29	1.56	27.94	0.98	17.54	1.59	YOK		
4.50	29.10	0.42	1.56	56.60	0.97	26.01	2.18	YOK		

SK-8 no'lu sondaj kuyusunda olduğu gibi SK-9 no'lu sondaj kuyusunda da toplamda üç adet SPT deneyi yapılmıştır. Aynı şekilde zeminin suya doymun olmaması ve aynı zamanda yapılan analiz sonucunda bu metrelerde sıvılaşmanın gerçekleşmeyeceği belirlenmiştir (Tablo 5.9.).

Deliktaş (1) mahallesinde açılan sondaj kuyularında sıvılaşma riskinin bulunmamasının en belirgin sebebi zeminin suya doymun olmamasıdır. Ancak 4,00 metreden sonra zemin suya doymun bir şekilde devam etmektedir. 4,00 metreden sonra zemin profili belirlenemediği için daha alt kotlarda sıvılaşma riskinin olup olmayacağı hakkında herhangi bir yorum yapılamamıştır.

4.5.5. Deliktaş (2) Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli

Deliktaş (2) mahallesinde yapılan çalışmalarda elde edilen veriler, $M_w:6,3$ ve $S_{Ds}:1,631$ alınarak değerlendirilen çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

Tablo 5.10. Deliktaş (2) SK-10 için mahallesi sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-10			Yeraltı Su Seviyesi (m)			6.00			
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{Ds}			1.631
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi			
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak			
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$	
1.50	40	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	63.75	
3.00	R	61.50	61.50	30	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	R	
4.50	R	92.25	92.25	30	1.02	0.85	1.00	1.00	1.25	R	
6.00	79	123.00	123.00	30	0.88	0.85	1.00	1.00	1.25	74.02	
7.50	R	153.75	138.75	30	0.83	0.95	1.00	1.00	1.25	R	
9.00	R	184.50	154.50	30	0.79	0.95	1.00	1.00	1.25	R	
10.50	R	215.25	170.25	30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
12.00	R	246.00	186.00	30	0.72	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
13.50	R	276.75	201.75	30	0.69	1.00	1.00	1.00	1.25	R	
15.00	77	307.50	217.50	30	0.66	1.00	1.00	1.00	1.25	63.83	
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	τ_{DEPREM}	(τ_R / τ_{DEPREM})	SIVILAŞMA DURUMU			
1.50	78.29	0.55	1.56	26.54	0.99	12.89	2.06	YOK			
3.00	R	R	1.56	R	0.98	25.48	R	R			
4.50	R	R	1.56	R	0.97	37.77	R	R			
6.00	90.15	0.65	1.56	123.92	0.95	49.77	2.49	YOK			
7.50	R	R	1.56	R	0.94	61.46	R	R			
9.00	R	R	1.56	R	0.93	73.05	R	R			
10.50	R	R	1.56	R	0.89	81.57	R	R			
12.00	R	R	1.56	R	0.85	89.05	R	R			
13.50	R	R	1.56	R	0.81	95.48	R	R			
15.00	78.38	0.55	1.56	187.93	0.77	100.86	1.86	YOK			

SK-10 no'lu sondaj kuyusunda toplamda 15 metre araştırma sondajı açılmıştır. Açılan sondaj kuyusunda üç adet vuruş kaydedilirken diğer derinliklerde vuruşlar refü olarak kaydedilmiştir. Laboratuvar sonuçlarına göre kumlu olarak devam eden zemin profili sıvılaşma riskinin olabileceğine işaret etse de yeraltı su seviyesinin 6,00 metre derinlikte olmasından dolayı bu derinliğe kadar herhangi bir sıvılaşma riski bulunmamaktadır. Daha derin kotlarda ise sadece 15. metrede sıvılaşma analizi yapılabilmiş ancak bu derinlikte de sıvılaşmanın olmayacağı belirlenmiştir (Tablo 5.10.).

Tablo 5.11. Deliktaş (2) mahallesi SK-11 için sıvılaşma potansiyeli sonuçları

Sondaj Kuyusu		SK-11			Yeraltı Su Seviyesi (m)			6.00		
Deprem Hesabı Verileri		M_w			6.3			S_{DS}		1.631
SPT Verileri	Numune Alıcı Tipi				Sondaj Delgi Çapı			Tokmak Tipi		
	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)				Çap 65 mm - 115 mm arasında			Otomatik darbeli tokmak		
Derinlik (m)	SPT- N_{30}	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	IDI (%)	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E	SPT- $N_{1,60}$
1.50	25	30.75	30.75	30	1.70	0.75	1.00	1.00	1.25	39.84
3.00	R	61.50	61.50	30	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	R
4.50	R	92.25	92.25	30	1.02	0.85	1.00	1.00	1.25	R
6.00	R	123.00	123.00	30	0.88	0.85	1.00	1.00	1.25	R
7.50	R	153.75	138.75	30	0.83	0.95	1.00	1.00	1.25	R
9.00	R	184.50	154.50	30	0.79	0.95	1.00	1.00	1.25	R
10.50	70	215.25	170.25	30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.25	65.58
12.00	R	246.00	186.00	30	0.72	1.00	1.00	1.00	1.25	R
13.50	R	276.75	201.75	30	0.69	1.00	1.00	1.00	1.25	R
Derinlik (m)	SPT- $N_{1,60-f}$	$CRR_{M=7.5}$	C_M	τ_R	r_d	T_{DEPREM}	(τ_R / T_{deprem})	SIVILAŞMA DURUMU		
1.50	50.70	0.31	1.56	14.93	0.99	12.89	1.16	YOK		
3.00	R	R	1.56	R	0.98	25.48	R	R		
4.50	R	R	1.56	R	0.97	37.77	R	R		
6.00	R	R	1.56	R	0.95	49.77	R	R		
7.50	R	R	1.56	R	0.94	61.46	R	R		
9.00	R	R	1.56	R	0.93	73.05	R	R		
10.50	80.41	0.57	1.56	151.36	0.89	81.57	1.86	YOK		
12.00	R	R	1.56	R	0.85	89.05	R	R		
13.50	R	R	1.56	R	0.81	95.48	R	R		

SK-10 no'lu kuyuda olduğu gibi SK-11 no'lu sondaj kuyusunda da çoğu derinlikte vuruşlar refü olarak kaydedilmiş sadece iki derinlik için SPT vuruş sayıları kaydedilmiştir. Aynı şekilde yer altı su seviyesine kadar sıvılaşma gerçekleşmeyeceğinden sadece 10,50. metrede sıvılaşma analizi yapılmış ve bu metrede sıvılaşmanın gerçekleşmeyeceği belirlenmiştir (Tablo 5.11.).

Deliktaş (2) mahallesinde yapılan sondaj çalışmalarında elde edilen verilere göre sıvılaşma riski bulunmamaktadır. Ancak çoğu derinlikte SPT vuruşlarının refü olmasından dolayı analizler bu derinlikler için yapılamadığından sıvılaşmanın varlığından veya yokluğundan bahsedilememiştir.

Denizli'nin merkez mahallelerinde gerçekleştirilen 11 adet araştırma kuyusu verileri incelenmiş ve gerekli analizler yapılarak sınılaşma potansiyelleri irdelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda bazı mahallelerde deneylerin gerçekleştirilememesi nedeniyle tam olarak belirlemeler yapılamamıştır. Deneylerin yapılabildiği derinliklerde ise Yiğenağa mahallesi hariç sınılaşma riski gözlenmemektedir. Yiğenağa mahallesinde ise hem sondaj derinliğinin yeterliliği hem de her derinlikte SPT vuruşlarının yapıla bilmesi nedeniyle daha sağlıklı analiz yapılmış olup bu mahallede sınılaşma riskinin olduğu yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir.

Tablo 5.12. Jeofizik ölçümlere göre sınılaşma potansiyelleri

Çalışma Alanı Lokasyonu	Kayma Dalga Hızı V_s (m/sn)	Eşik İvme Değeri a_t (g)	a_{max}	Eşik ivme kriterinde emniyet faktörü $F_a=1,6*a_t/a_{max}$
Altıntop Mah.	290	0,13	0,16	1,30
Dokuzkavaklar Mah.	315	0,15	0,16	1,50
Yiğenağa Mah.	273	0,12	0,16	1,20
Deliktaş (1) Mah.	319	0,15	0,16	1,50
Deliktaş (2) Mah.	431	0,27	0,16	2,70

V_s hızlarının belirlenmesinde arazide Masw ölçümü yapılarak 12 adet jeofon ve bir balyoz yardımı ile ölçümler alınmıştır. Değerlendirme sonucunda V_s hızları elde edilmiştir. Burada elde edilen V_s hızlarına göre zeminin dinamik ve elastik parametreleri bulunmuş, zemin sınıfı belirlenmiş ve yer altı suyu bulunduğu için sınılaşma analizleri bu hızlara göre yapılmıştır. Düşük V_s hızlarında yer altı suyunun, killi siltli kumlu ve ince çakıllı birimlerin etkisi gözlenmiştir. Elde edilen V_s hızlarına bakıldığında zeminin gevşek yapılı ve gözenekli olduğu gözlenmektedir.

Jeofizik ölçümler göz önüne alınarak yapılan sınılaşma analizi incelendiğinde, çalışma alanlarına ait emniyet faktörü birden büyük olduğu için ($F_a > 1$), bu bölgelerde sınılaşmanın varlığı düşük olarak karşımıza çıkmıştır. Elde edilen sonuçların TBDY (2018) tarafından önerilen sınılaşma analiz yöntemi ile uyummadığı gözlenmektedir. Bu sonucun elde edilmesinde, "Eşik İvme Kriteri" değerlendirmesinde sadece kayma dalgası hızının kullanılmasının etkili olduğu düşünülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışma ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) kapsamında zemin sıvılaşma analizinde kullanılan yöntemin detayları ele alınmış ve Denizli İli yerleşim alanı içerisinde seçilmiş 5 ayrı mahalle için sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu analizlerde tasarım deprem büyüklüğü Denizli’de gerçekleşmesi beklenen en büyük deprem büyüklüğü olan 6,3 olarak seçilmiştir. Kısa Periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ise <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> internet sitesinden inceleme alanına ait gerekli bilgiler girilerek elde edilmiştir. Analizde kullanılacak SPT vuruş sayıları, zemine ait doğal birim hacim ağırlıkları, ince tane içerikleri, zemin sınıfları, yeraltı su seviyeleri vb. bilgiler ise arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda belirlenmiştir.

Yapılan araştırma sondajları sonucunda alınan numunelerin genel olarak sıvılaşabilir nitelikte kumlu birimlerden oluştuğu ve suya doygun oldukları belirlenmiştir. Bu durumlar göz önüne alındığında sıvılaşmanın bu mahalleler için olası bir problem olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle bu mahallelerde sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda Yiğenağa mahallesi dışındaki mahallelerde genel olarak sıvılaşma potansiyeli bulunmamaktadır. Ancak bu mahallelerde SPT vuruş sayıları ve sondaj derinlikleri yetersiz kaldığından bütün bir zemin profili için kesin bir sonuç elde edilememiştir. Yapılan incelemeler ile elde edilen sonuçlar analiz edilerek bu mahalleler içerisinde sadece Yiğenağa Mahallesi kumlu zemin için sıvılaşmanın olabileceği öngörülmüştür.

TBDY (2018) tarafından ortaya konulan yeni sıvılaşma analiz yöntemi, diğer sıvılaşma analiz yöntemlerinde olduğu gibi bir senaryo deprem büyüklüğüne ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde senaryo depremin 6.3 olması koşulunda incelenen 5 mahallenin bir tanesinde sıvılaşmanın gerçekleşeceği belirlenmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) kapsamında önerilen sıvılaşma analizleri ile elde edilen verilerin jeofizik yöntemler kullanılarak elde edilen yöntemlere göre daha farklı sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Bu durum jeofizik yöntemlerle elde edilen kayma dalgası hızlarının istifin bütünü için tanımlanabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışma, inceleme alanı içerisindeki veri sayılarının artırılması ile daha genelleştirilebilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Denizli ili merkez mahallelerinin genel olarak kumlu-gevşek birimlerden oluşması, yeraltı suyunun yüzeye yakın olması ve 1. Sınıf deprem bölgesinde bulunmasından dolayı her zaman zeminin sıvılaşma potansiyeli detaylı olarak incelenmelidir. Bu incelemeler sonucunda sıvılaşabilir zemin koşullarının sağlandığı ve yapılan analizler sonucunda zeminin sıvılaşma bilirligi öngörüldüğü bölgelerde zemin iyileştirme çalışmaları yapılarak gerekli önlemlerlesin alınması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2020. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması”, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, (Erişim Tarihi: 01.04.2020)
- Akın, M., Özvan, A., Akın, M. K., Topal, T., 2013. Evaluation of liquefaction in Karasu River flood plain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake. *Nat. Hazards*, 69, 1551–1575.
- Aslan, R., 2010. Gebze Atıksu Arıtma Tesisi (Kocaeli) Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Ankara üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F., Sengör, A. M. C., 1995. The Isparta Angle: Its evolution and importance in the tectonics of the eastern Mediterranean region: *International Earth Science Colloge Aegean Region: Proceedings*, Isparta, 3-17.
- Bayrakçı, E., Pekkan, E., Avdan, U., Güney, Y., 2013. Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak sondaj derinliğinin sıvılaşma analizine etkisinin belirlenmesi (Eskişehir Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5 (2), 50-60.
- BDTİM, 2020. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, “Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü”, <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst4.asp>, (Erişim Tarihi: 02.04.2014)
- Bozcu, M., Yağmurlu, F., Şentürk, M., 2007. Fethiye- Burdur fay zonunun bazı neotektonik ve paleosismolojik özellikleri, *GB-Türkiye. Jeoloji Mühendisleri Odası Dergisi*, 1-31.
- Chung, J.W., Rogers, J.W., 2013. Influence of assumed groundwater depth on mapping liquefaction potential. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. 19, No. 4 (4), 377–389.
- Çakır, Z., 1999. Along-strike discontinuity of active normal faults and it’s influence on quaternary travertine deposition: *Examples from Western Turkey. Journal of Earth Sciences*, 8, 67-80.
- Çaltılı, E., Ger, A. M., 2017. Edirne ilindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi (SPT) kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 27 – 39.
- Çelik S. B., Kumsar, H., Aydan Ö., 2013. Mekanik bir sarsma masasıyla elde edilebilen hareket parametreleri ve bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (5), 224-230.
- Çelik, S. B., 2003. Denizli İl Merkezi Zeminlerinin Jeolojik, Jeoteknik Açından İncelenmesi ve Sıvılaşma Duyarlılığının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.

- Dağdeviren, U., 2019. Yeni Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre zeminlerin sıvılaşma analizi ve sıvılaşmaya karşı iyileştirilmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5 (1), 153-165, Artvin, Türkiye.
- Dobry, R., Stokoe, K. H., Ladd, R. S., Yound, T. L., 1981. Liquefaction susceptibility from s-wave velocity, ASCE National Convention, Missouri, 81-544.
- Duman, E.S., İkizler, S. B., Angin, Z., 2014. Evaluation of soil liquefaction potential index based on SPT data in the Erzincan, Eastern Turkey, *Arabic Journal Geoscience*, 8, 5269–5283.
- Ecemiş, N., 2013. Simulation of seismic liquefaction: 1-g model testing system and shaking table tests. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Vol.17, No. 5 (10), 899-919.
- Ercan, T., Dinçel, A., Günay, E., ve Türkecan, A., 1977. Uflak yöresinin jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi. Maden Teknik Arama Derleme No. 6354.
- Evans, M. D. and Seed, H. B., 1987. Undrained cyclic triaxial testing of gravels- the effect of membrane compliance. EERC Report No. UCB/EERC-87/08, Universty. of California, Berkeley
- Fiegel, G. L. and Kutter, B. L., 1994. Liquefaction mechanism of layered sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, 737-755.
- Ishihara, K., 1984. Post-earthquake failure of a tailings dam due to liquefaction of the pond deposit. Proc. Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engrg. St. Louis, Missouri, Vol. 3, 1129-1143.
- Ishihara, K., 1985. Stability of Natural Deposits During Earthquakes. Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, No. 1, 321-376.
- Iwasaki, T., Tokida, K. I., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proceedings, *Third International Earthquake Microzonation Conference*, Seattle, 1319-1330.
- Iwasaki, T., Arakawa, T., Tokida, K. I., 1984. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 3, No. 1, 49-58.
- Karakan, E., Altun, S., 2016. Silt kum karışımlarının sıvılaşma davranışı ve sıvılaşma sonrası hacimsel deformasyon özellikleri, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 462, 7593 – 7617.
- Karakaş, A., Çoruk, Ö., 2010. Liquefaction analysis of soils in the western İzmit basin, Turkey. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. 16, No.4, 411–430.

- Karaman, M. E., 1990. Isparta güneyinin temel jeolojik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 33, 57-67.
- Karanlık, S., 2006. Hatay Altıncöy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Kayacı, S., Silahtar, A., Dolmaz, M. N., 2018. Çok kanallı yüzey dalgası analiz yöntemi (MASW) ile zemin özellikleri ve sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi: Arifiye-Sakarya Örneği, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, No. 22 (2), 450-458.
- Koçyiğit, A., 1983. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin-fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodin. Acta*, 18 (3/4), 167–208.
- Konak, N., Akdeniz, N. ve Çakır, N. H., 1990. Çal-Çivril-Karahallı Dolaylarının Jeolojisi. Ankara, *Maden Teknik Arama Raporu*, No. 8949.
- Kumsar, H., Çelik, S. B. and Aydan, Ö., 2003. Some characteristics of recent earthquakes in western Turkey: Seferihisar (İzmir) and Buldan (Denizli) earthquakes. An International Colloquium on the Instrumentation and Monitoring of Landslides and Earthquakes in Japan and Turkey, Koriyama, Japan, 111-122.
- Marcuson, W. F., III. M. E., Hynes and Franklin, A. G., 1990. Evaluation of use of residual strength in the seismic stability of embankments. *Earthquake Spectra*, 6 (3), 529-572.
- Mc Kenzie, D. P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean sea and its surrounding regions, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 55, 217-254.
- Motamed, R., Towhata, I., Honda, T., Tabata, K., Abe, A., 2013. Pile group response to liquefaction-induced lateral spreading: E-Defense large shake table test. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 51, 35–46.
- MTA, 2016. Türkiye Maden Yatakları Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, http://www.mta.gov.tr/mta_web/myatak.asp (Erişim Tarihi: 18.04.2014)
- Orhan, M., Ateş, A., 2010. Standard penetrasyon testi (SPT) ile Saruhanlı (Manisa) İlçesi zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 37-49.
- Özkul, M., Varol, B. ve Alçıçek, M. C., 2002. Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamları. *Maden Teknik Arama Dergisi*, No. 125, 13-29.
- Önalp, A., Arel, E., 2002. Siltlerin Sıvılaşma Yeteneği: Adapazarı Kriteri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 363 – 372 s., 21-22 Ekim 2002, Eskişehir, Türkiye

- Oezener, P., 2009. Sıvılaştırmanın UBC3D-PLM model ile tahmin edilmesi: santrifüj deneyi örneği. *Georesources & Geotechnology*, 309-321.
- Özsoy, B., Durgunoğlu, T., 2003. Sıvılaştırma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı*, 1-9 s.
- Sawicki, A., Kulczykowski, M., 2014. The shaking frequency effect in the dynamics of a model sandy layer. *Journal of Earthquake Engineering*, 18, 1266–1280.
- Seed, H., Bolton, M., Idriss, I. M., 1967. Analysis of soil liquefaction: Niigata Earthquake, *JSMFD. ASCE*, Vol. 93, No. SM3, 83-108.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Ascenso*, Vol. 97, No. 9, 1249-1273.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., 1982. Ground motion and soil liquefaction during earthquakes. Monograph Series, Earthquake Engineering Reserch Institute, University of California, Berkeley, California
- Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1982, Evaluation of liquefaction potential of sand deposits based on observations and performance in previous earthquakes, In *Situ Testing to Evaluate Liquefaction Susceptibility*, Ascenso Annual Convention, St. Louis, 81-544.
- Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2005. A liquefaction severity index suggested for engineering practice. *Environ. Geology*, No. 48, 81-91.
- Sönmezer, Y. B., Çeliker, M., Kılınç, M. Y., 2012. Kırıkkale ili Bahçelievler ve fabrikalar mahallelerinin sıvılaştırma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analizi, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.4, No.1, 33-40.
- Sun, S., 1990. Denizli-Uşak arasının jeolojisi ve linyit olanakları. *Maden Teknik Arama Raporu*, No. 86.
- Şentürk, M., 2003. Acıgöl ve Burdur Gölleri arasındaki bölgenin sismotektonik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta, Türkiye.
- Şimşek, Ş., 1984. Denizli, Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklar, *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Yayın Organı*, 3, 145-162.
- Taner, G., 2001. Denizli bölgesi Neojen'ine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme, *54. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı*, 54-79 s.
- Taymaz, T., Price, S. P., 1992. The 12.05.1971 Burdur earthquake sequence: A synthesis seismological and geological observations. *Geophys. J. Int.*, 108, 589-603.

- Oezener, P. T., Özaydın, K., Berilgen, M. M., 2009. Investigation of liquefaction and pore water pressure development in layered sands. *Bull Earthquake Eng*, 7, 199–219. BDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Sayı 30364, 18.03.2018, Ankara, Türkiye
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Kumsar, H., Tuncay, E., Kaya, Z., 2002. 3 Şubat 2002 Çay-Eber depreminin saha incelemesi ve mühendislik açısından değerlendirilmesi, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/DR 012-79, İstanbul, 208s.
- Varghese, R. M., Latha, G. M., 2014. Shaking table tests to investigate the influence of various factors on the liquefaction resistance of sands. *Nat Hazards*, 73, 1337–1351.
- Wang, W., 1979. Some findings in soil liquefaction. Report Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China, 1-17.
- Wang, W., 1979. Some findings in soil liquefaction, Water conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, Chiana
- Yağmurlu, F., 2000. Burdur fayının sismotektonik özellikleri: *Batı Anadolu'nun depremselliği sempozyumu, Bildiriler*, 143-152, İzmir, Türkiye
- Ye, B., Ye, G., Ye, W., Zhang, F., 2013. A pneumatic shaking table and its application to a liquefaction test on saturated sand. *Nat Hazards*, 66, 375–388.
- Yegian, M. K., Gharaman, V. G., Harltılnyan, R. N., 1994. Liquefaction and embankment failure case histories, 1988 Armenia earthquake. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117 (1), 35-50.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder Jr., L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., and Stokoe II, K. H. 2001. Liquefaction resistance of soils summary report from 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 127, 817–833.

EKLER



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Ali KOCABAŞ

Doğum Yeri ve Yılı : DENİZLİ / 1991

Fotoğraf

Eğitim Durumu

Yıl

Lise : ANAFARTALAR LİSESİ

Lisans : SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ

Yüksek Lisans : BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ

Çalıştığı Kurum / Kurumlar

Yıl

1- KOCABAŞ MÜHENDİSLİK

2014-Devam

Yayımları (SCI ve diğer makaleler)

1-

2-