

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



EDİRNE İLİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART PENETRASYON DENEYİ  
(SPT ) KULLANILARAK SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN  
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ÇALTILI

(Y:1313.090014)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A.Metin GER

Nisan, 2017





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1313.090014 numaralı öğrencisi **Emrah ÇALTILI**'nin "**EDİRNE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART PENETRASYON DENEYİ KULLANILARAK SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 14.03.2017 tarih ve 2017/07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *aybır.kip* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi :12/04/2017

1)Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Metin GER

*Ahmet*  
.....

2) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR

*Müberra*  
.....

3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ali ETEMADİ

*Etemadi*  
.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Edirne İl Ve İlçelerindeki Zeminlerin Standart Penetrasyon Deneyi (Spt) Kullanılarak Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (12/04/2017..)

**Emrah ÇALTILI**



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanmıştır. Tez çalışmamda destek ve yardımını benden esirgemeyen, aktardığı bilgi ve deneyimleriyle çalışmama katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. A. Metin GER'e teşekkürü borç bilirim.

Lisanüstü eğitimimde benden yardımlarını esirgemeyen, gerçek yaşama dair fikirleriyle bile bana yardımcı olan, bir abi ve abla gibi paylaşımcı olan ve benimle ilgilenen Sayın Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR ve Yrd. Doç. Dr. Cem AYDEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarının kıymetli personelinin her birisine tek tek teşekkür ederim.

Diğer yandan da hayatımın miladı olan 2010 yılından itibaren her anımda yanımda olan ve hiçbir zaman yardımını benden esirgemeyen, bazen çok iyi bir dost bazen de dünyanın en iyi sevgilisi olan canım eşim Çilem ÇALTILI'ya ve sonradan ailemize katılan enerji kaynağımız stres topumuz Ellie'ye teşekkür ederim.

**Nisan, 2017**

**Emrah ÇALTILI**

**(Jeoloji Mühendisi)**





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT .....	xix
<b>1 GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	2
<b>2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>3</b>
2.1 Tanımlar .....	3
2.1.1 Sıvılaşma Türleri.....	4
2.1.2 Sıvılaşmanın Neden Olduğu Hasarlar .....	4
2.1.3 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler.....	5
2.1.3.1 Sıvılaşmaya Etki Eden Zemin Faktörleri .....	5
2.1.3.2 Sıvılaşmaya Etki Eden Dış Faktörler .....	10
2.1.4 Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmesi .....	11
2.1.4.1 Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Laboratuvar Deneyleri .....	11
2.1.4.2 Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Arazi Deneyleri.....	12
2.1.5 Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri .....	15
2.1.5.1 SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi .....	17
2.2 Genel Bakış .....	28
<b>3 ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE YÖNTEM.....</b>	<b>35</b>
3.1 İnceleme Alanının Tanıtılması .....	35
3.1.1 İnceleme Alanının Coğrafi Konum ve Özellikleri .....	35
3.1.2 Bölgenin Jeolojisi.....	36
3.1.3 Bölgesel Tektonik .....	41
3.2 Arazi Çalışmaları.....	45
3.3 Laboratuvar Çalışmaları .....	47
3.4 Sıvılaşma Potansiyel Analiz Yöntemlerinin İnceleme Alanına Uygulanması .....	47
3.4.1 Yaklaşım-1 .....	48
3.4.2 Yaklaşım-2 .....	50
<b>4 BULGULAR.....</b>	<b>53</b>
4.1 Yaklaşım-1 ile Elde Edilen Bulgular.....	53
4.2 Yaklaşım-2 ile Elde Edilen Bulgular.....	56
<b>5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR: .....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>77</b>



## KISALTMALAR

<b><math>D_r</math></b>	: Sıkılık oranı
<b><math>W_n</math></b>	: Doğal su içeriği
<b><math>(N_1)_{60}</math></b>	: %60 enerjiye göre düzeltilmiş SPT değeri
<b><math>N</math></b>	: Ölçülen SPT darbe sayısı
<b><math>C_N</math></b>	: Üst tabaka yükü düzeltme sayısı
<b><math>C_R</math></b>	: Tij boyu düzeltme katsayısı
<b><math>C_S</math></b>	: Numune alma metodu katsayısı
<b><math>C_B</math></b>	: Kuyu boyu düzeltme katsayısı
<b><math>C_E</math></b>	: Enerji oranı düzeltme katsayısıdır
<b><math>P_a</math></b>	: Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi
<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	: Düşey toplam gerilme
<b><math>\sigma_{vo}^1</math></b>	: Düşey Efektif Gerilme
<b><math>a_{maks}</math></b>	: Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi
<b><math>g</math></b>	: Yerçekimi ivmesi
<b><math>(N_1)_{60tk}</math></b>	: İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT değerleri
<b><math>A_{max}</math></b>	: Maksimum etkin yer ivmesi
<b><math>r_d</math></b>	: Gerilme azaltma Katsayısı
<b><math>r_n</math></b>	: Deprem büyüklüğü düzeltme faktörü
<b><math>K_\sigma</math></b>	: Aşırı Yük Düzeltme Faktörü
<b><math>R</math></b>	: Deprem odağından olan uzaklık
<b><math>D_{50}</math></b>	: Ortalama tane çapı
<b><math>C_U</math></b>	: Üniformluluk katsayısı
<b><math>LL</math></b>	: Likit limit
<b><math>PL</math></b>	: Plastik Limit
<b><math>DGO</math></b>	: Devirsel Gerilme Oranı
<b><math>DDO</math></b>	: Devirsel Direnç Oranı.
<b><math>MDF</math></b>	: Magnitüt Düzeltme Faktörü
<b><math>M</math></b>	: Magnitüt
<b><math>KAF</math></b>	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
<b><math>SPT</math></b>	: Standart Penetrasyon Deneyi
<b><math>CPT</math></b>	: Konik Penetrasyon Deneyi
<b><math>VPT</math></b>	: Konik Vibrasyon Testi



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1:</b> Rölatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması .....	6
<b>Çizelge 2.2:</b> Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan arazi deneylerinin avantaj ve dezavantajları (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006) .....	14
<b>Çizelge 2.3:</b> Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından önerilen ince tane oranı düzeltme katsayıları .....	23
<b>Çizelge 3.1:</b> SPT sayıları ve YASS seviyesi.....	46
<b>Çizelge 3.2:</b> Edirne Merkez ve ilçelerindeki $A_0$ ve $a_{maks}$ değerleri.....	49
<b>Çizelge 4.1:</b> Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin inceleme bölgesindeki sıvılaşma potansiyeli .....	57
<b>Çizelge 4.2:</b> Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin inceleme bölgesindeki sıvılaşma potansiyeli .....	61
<b>Çizelge 4.3:</b> Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin inceleme bölgesindeki sıvılaşma potansiyeli .....	65



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı.....	1
Şekil 2.1: Zeminlerde sıvılaşabilir granülometri aralığı .....	7
Şekil 2.2: Seed ve İdriss (1982) ve Marcuson vd. (1990) sıvılaşma kriterleri .....	7
Şekil 2.3: Andrew ve Martin .....	8
Şekil 2.4: Deprem magnitudüne bağlı olarak sıvılaşmanın görüldüğü en uzakmesafe . .....	10
Şekil 2.5: Düz veya kısmen eğimli zemin yüzeylerinde gerilme azaltma katsayısının derinlikle değişimi.....	18
Şekil 2.6: Üç adet SPT ye dayalı sıvılaşma eğrisi .....	20
Şekil 2.7: Kayma gerilmesi $r_d$ ilişkisi(Idriss&Boulanger 2010).....	21
Şekil 2.8: $M=7.5$ için devirsel direnç oranı ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişki .....	22
Şekil 2.9: $(N_1)_{60}$ ’ın (a) 10atm basınca kadar (b) 2 atm basınca kadar olan ilişkisi. 25	
Şekil 2.10: Aşırı Yük Düzeltme Faktörü ( $K_{\sigma}$ )(Idriss&Boulanger 2010).....	26
Şekil 2.11: Magnitud düzeltme faktörü (MSF)(Idriss&Boulanger 2008) .....	27
Şekil 2.12: (a): Youd ve diğ. (2001) göre tavsiye edilen eşdeğer temiz kum düzeltmesi b: göre tavsiye edilen eşdeğer kum düzeltmesi.....	28
Şekil 3.1: Edirne ve Çevresi .....	35
Şekil 3.2: Edirne Bölgesinin Genel Jeoloji Haritası .....	38
Şekil 3.3: Trakya Bölgesinin Genel Jeolojik Kesiti.....	39
Şekil 3.4: Trakya Bölgesinin Genel Stratigrafik Kesiti.....	40
Şekil 3.5: Marmara Bölgesi Aktif Tektonik Haritası.....	44
Şekil 3.6: Türkiye Diri Fay haritasından .....	44
Şekil 3.7: LiqSVs program çıktısı .....	47
Şekil 3.8: LiqSVs program çıktısı .....	48
Şekil 3.9: A noktasının odak noktasına olan uzaklığı.(R) .....	49
Şekil 3.10: Marmara Bölgesi Diri Fay Sistemi Haritası .....	50
Şekil 3.11: Saros-Gaziköy Fayı üzerindeki Tasarlanan Senaryo Depremler .....	51
Şekil 4.1: Edirne ili Kuzey Bölgesi Sıvılaşma Potansiyeli Haritası .....	54
Şekil 4.2: Edirne ili Orta Bölgesi Sıvılaşma Potansiyeli Haritası .....	55
Şekil 4.4: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Enez İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi .....	58
Şekil 4.5: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin İpsala İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi.....	59
Şekil 4.6: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Uzunköprü İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi .....	60
Şekil 4.7: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Enez İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi .....	62
Şekil 4.8: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin İpsala İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi.....	63

- Şekil 4.9:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Uzunköprü İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi ..... 64
- Şekil 4.10:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Enez İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi..... 66
- Şekil 4.11:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin İpsala İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi ..... 67
- Şekil 4.12:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Uzunköprü İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi..... 68





## EDİRNE İLİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART PENETRASYON DENEYİ (SPT ) KULLANILARAK SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

### ÖZET

Deprem sonrası meydana gelen hasarların en önemli nedenlerinden biri olan zemin sıvılaşması, kohezyonsuz ve suya doygun kumlu, siltli zeminlerde tekrarlı ve geçici yükler altında meydana gelmektedir. Bu çalışma Edirne ili ve çevresinin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesini içermektedir. Kuzey Anadolu Fay Hattı veya Edirne çevresindeki oluşabilecek bir depremde Edirne İlinin de etkilenebileceği düşünülmektedir. Bu sebeple Edirne ilinin sıvılaşma potansiyeli standart penetrasyon deneyi (SPT) ve laboratuvar verileri kullanılarak araştırılmıştır. Edirne ili ve ilçelerinde toplam 77 adet sondaj kuyusu açılmış ve standart penetrasyon deneyi(SPT) yapılmıştır. Sondaj kuyularından örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmış, bu numuneler üzerinde zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli analizleri bugüne kadar Seed ve Idriss (1971), 'Youd (2001), Rouch (1998)' Wang(1979), Dorby ve diğ. (1992) gibi araştırmacılarının yöntemleriyle incelenmiştir. Idriss & Boulanger'ın 2008-2010 yılında yapmış olduğu çalışması araştırmalara dahil edilmemiş olması nedeniyle bu tezde bu yayın öncü alınmış ve bu yöntemi kullanan LiqSVs programı analizler için kullanılmıştır. Çalışmanın son aşamasında farklı deprem büyüklük senaryoları düşünülüp artan sismik aktivite ve odak derinliği ile beraber sıvılaşma potansiyelinin nasıl etkileneceği tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Sıvılaşma, Standart Penetrasyon (SPT), Edirne, Sıvılaşma Analizi, LiqSVs,*



# **DETERMINATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL OF SOIL BY USING STANDARD PENETRATION TEST (SPT) IN EDIRNE PROVINCE AND DISTRICTS**

## **ABSTRACT**

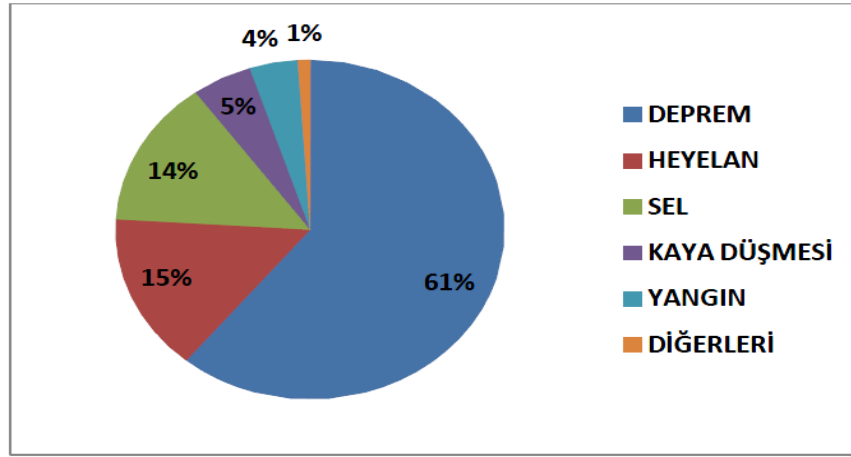
One of the most important causes of damages after the earthquake is the liquefaction of the ground, which occurs under repeated and transient loads on cohesionless and watery saturated sandy or silty soils. This study includes evaluation of the liquefaction potential of Edirne province and its surroundings. It is thought that Edirne Province may also be affected in an earthquake that may occur at the North Anatolian Fault Line or a possible earthquake around surroundings of Edirne. Therefore, the liquefaction potential of Edirne province have been investigated using standard penetration tests (SPT) and relevant laboratory data. A total number of 77 borehole were opened in Edirne province and districts, followed by standard penetration tests (SPT) to obtain desired characteristics. Remolded and undisturbed soil samples were extracted from boreholes and corresponding experiments were conducted to obtain physical and mechanical properties of the soil. Methods used for analysis of liquefaction potential have been carried out by researchers like Seed and Idriss (1971), Youd (2001), Rouch (1998), Wang (1979) and Dorby et al.(1992). Since the work of Idriss & Boulanger in 2008-2010 was not included in previous studies, this publication was taken as a pioneer and the LiqSVs program using this method was used for analysis. In the last phase of the study, different earthquake magnitude scenarios are being considered and how the potential of liquefaction will be affected with increasing seismic activity and depth of focus is presented.

**Keywords:** *Liquefaction, Standart Penetration Test, Edirne, Liquefaction Analysis, , LiqSvs*



## 1 GİRİŞ

“Doğal afet” İnsanların hayat ve çevresel koşullarını olumsuz yönde etkileyen, can ve mal kaybına yol açan doğal olaylar olarak tanımlanabilir. Dünyamız, oluşumundan günümüze kadar birçok doğal afetlerden etkilenmiştir. Nüfus artışı ve yerleşime uygun olmayan bölgelerdeki yapılaşmalar, doğa olaylarının doğal afetlere dönüşümünde rol oynayan önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Yeşiloğlu, 2006). Ülkemiz gerek morfolojik yapısı ve coğrafi konumu, gerekse de iklim özellikleri nedeniyle can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara neden olan doğal afetlerle sık sık karşılaşmaktadır. Şekil 1.1’de Türkiye’de son 70 yılda gerçekleşen doğal afetler sonucu yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı bir diyagram üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere depremler, büyük can ve mal kayıplarına neden olan ve yaşamı etkileyen doğal afetler içinde etkisi en belirgin doğal afettir.



**Şekil 1.1:** Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı (Aksoy, 2011)

Depremi yapılar üzerinde neden olduğu hasar yerel zemin koşullarından etkilenmektedir. Suya doygun kumlar, bu olumsuz etkisinin en belirgin olduğu zemin türüdür. Bu tür zeminler deprem anında sıvılaşarak, dayanımlarını kaybetmekte ve önemli hasarlara yol açmaktadır. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006). Bu nedenle zeminlerde sıvılaşmaya neden olan faktörlerin ve

sıvılaşma tehlikesinin belirlenebilmesi, Geoteknik Mühendisliğinde önemli araştırma konuları arasındadır. Geçmiş çalışmalarda sıvılaşmanın bazı durumlarda statik koşullarda oluşabileceğinden söz edilse de bu çalışmada sadece sismik aktivite esnasında oluşan sıvılaşmadan söz edilecektir.

## **1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Suya doymuş kohezyonsuz zeminlerde, deprem sırasında gelişen tekrarlı gerilmelerin etkisiyle meydana gelen zemin sıvılaşması ve sıvılaşmaya bağlı deformasyonlar, Geoteknik Mühendisliğinde önemli problemler arasında yer almaktadır. Geçmişten günümüze birçok depreme maruz kalan ülkemizde, sıvılaşma konusu ilk kez 1992 Erzincan depreminde gündeme gelmiş ve 1999 Adapazarı depremiyle konunun önemi bir kez daha anlaşılmıştır.

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre büyük bölümü 3. ve 4. derece deprem kuşağında yer alan Edirne ilinde, sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi hususunda literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Edirne iline dair çalışmalar, genellikle bölgenin depremselliğine ve karayolu ulaşım sistemlerine dayanmaktadır.

Bu çalışma, Edirne ili şehir merkezi ve çevresi için sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerin belirlenebilmesini amaçlamaktadır. Ayrıca bölge yakınındaki aktif faylarda oluşabilecek depremlerin Edirne bölgesini nasıl etkileyebileceği konusu da tartışılmaktadır. Sıvılaşma analizlerinin yapılabilmesi için bölgeye ait jeoloji, tektonik özellikler, depremsellik, zeminlerin mühendislik özellikleri gibi birçok faktör hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada, inceleme alanına ait SPT (Standart Penetrasyon Deneyi), laboratuvar verileri ve jeofizik verileri kullanılmıştır. Sıvılaşma bölgelerindeki veri kayıtlarının zenginliği, zemin değişimlerinin izlenebilirliği ve zemin numunesinin alınmasından dolayı SPT yöntemi tercih edilmiştir. Söz konusu veriler kullanılarak, belirlenen sıvılaşma analizi yöntemi bağlamında hesaplamaların hızlı bir şekilde yapılabilmesi için LiqSVs programı kullanılmıştır.

## 2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sıvılaşma konusunda daha önce yapılmış çalışmalar tanıtılmadan önce sıvılaşma ile ilgili bazı tanımlamalar paylaşılacaktır.

### 2.1 Tanımlar

Gevşek suya doymun kum, siltli-kum veya çakıl zeminlerde görülebilen sıvılaşma olayının ana mekanizması; deprem etkisiyle meydana gelen tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisiyle aşırı boşluk suyu basınçlarının oluşmasıdır. Gevşek kohezyonsuz zemin; deprem gibi titreşimlere maruz kaldığında, sıkışma eğilimi ve hacimce azalma eğilimi gösterir. Zeminde buluna suyun drenajı mümkün değilse, hacimdeki azalma isteği boşluk suyu basıncının artışına neden olur. Boşluk suyu basıncındaki bu artış düşey gerilme miktarına eşitlenirse, efektif gerilme sıfırlanır ve kayma mukavemeti tamamen kaybolur.

Deprem gibi bir dinamik etki sonucunda gözlenen zemin sıvılaşması, yaygın biçimde araştırma konusu olmuş ve geçmiş depremler sırasında oluşan olaylar incelendiğinde sıvılaşmanın çoğunlukla aşağıdaki zemin koşullarında olduğu gözlenmiştir;

- Doymun iri kum, siltli kum gibi zeminlerde drenaj koşulları yetersiz ise,
  - Zeminin ortalama tane çapı  $D_{50}=0,02$  ile 1,00 mm arasında ve ince malzeme yüzdesi de ( $d \leq 0,005$  mm) %10'unu geçmiyor ise, (Ulusay, 2000)
  - Üniformalık katsayısı ( $C_U$ )  $<10$  ise,
- Rölatif sıklık,  $D_r < \%75$  ise, zemin sıvılaşmaya karşı duyarlı olur. Bu koşulları sağlayan zeminlerde sıvılaşma olayını tetikleyen mekanizma deprem özellikleridir. Diğer bir ifadeyle, yeterli bir büyüklükte deprem bu zeminlerde sıvılaşmaya neden olur (Şişman, 2006).

### 2.1.1 Sıvılaşma Türleri

Oluşturduğu hasarlar göz önüne alındığında iki tür sıvılaşmadan bahsedebiliriz.

- **Akma türü sıvılaşma:** Zemindeki kayma mukavemetinin, yine o zeminin statik dengede kalabilmesi için gereken kayma direncinden daha az olmasıyla oluşan sıvılaşma türüdür. Bu durumda zeminde büyük şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Akma sıvılaşması çok hızlı, ani olarak ortaya çıkmakta ve büyük yer değiştirmeler yapmaktadır. Genelde büyük bir zemin bloğunun onlarca metre hareket etmesi ile oluşan akma türüdür. Bir kez hareket başladıktan sonra, tamamen statik kayma gerilmeleri tarafından devam ettirilir. (Kramer, 1996)
- **Devirsel hareketlilik (mobilité, Çevrimli):** Devirsel hareketlilik (mobilité, çevrimli) deprem sarsıntısı sırasında kabul edilemeyecek düzeyde büyük ve kalıcı deformasyonlara neden olan bir olaydır. Devirsel hareketlilik, akma sıvılaşmasının aksine statik kayma gerilmesinin, sıvılaşmamış zeminin kayma dayanımından küçük olduğu zaman gelişmektedir. Devirsel hareketlilik türü yenilmenin neden olduğu deformasyonlar, deprem sarsıntısı sırasında kademeli olarak gelişir. Akma sıvılaşmasının aksine devirsel hareketlilik ile oluşan deformasyonlara neden olan faktörler, hem devirsel gerilmeler, hem de statik kayma gerilmeleridir (Kramer, 1996). Yanal yayılma olarak isimlendirilen bu deformasyonlar, su kütlelerinin yanında bulunan az eğimli veya tamamen düz zeminlerde görülür. Yapılaşmanın mevcut olduğu bu bölgelerde ciddi hasarlara neden olabilirler (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

### 2.1.2 Sıvılaşmanın Neden Olduğu Hasarlar

Sıvılaşma nedeniyle binalarda, köprülerde, boru hatlarında ve diğer yapılarda farklı şekillerde hasarlar meydana gelebilmektedir.

Ağır yapıların batması veya devrilmesi, hafif gömülü yapıların yüzeye çıkması ve istinat yapılarının yıkılması akma türü sıvılaşmada oluşabilecek hasarlar arasındadır. Devirsel hareketlilik sonucunda ise şev göçmesi, kum kaynaması, binalarda oturma, yanal yayılma ve düşey deplasmanlar gibi hasarlar görülebilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu,2006).



### 2.1.3 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Zeminde sıvılaşma olayının oluşmasına sebep olan birden fazla faktör bulunmaktadır. Laboratuvar deneyleri ile arazi gözlem ve çalışmalarına dayanılarak belirlenen bu faktörler, zemin faktörleri ve dış faktörler olmak üzere iki şekilde incelenmektedir.

#### 2.1.3.1 Sıvılaşmaya Etki Eden Zemin Faktörleri

##### Zemin Tipi

Depremler esnasında zemin sıvılaşmasına en duyarlı zemin türü ince - orta kum ile düşük plastisiteli ince taneler (siltler) içeren kumlu zeminlerdir. Bununla birlikte, sıvılaşma zaman zaman çakıllı zeminlerde de görülebilmektedir (Ishihara, 1985).

Sıvılaşan zeminleri bu bilgiler dâhilinde inceleyecek olursak:

##### Kumlu zeminler;

- Temiz kumlar sıvılaşmaya en müsait zeminlerdir.
- Kumların gevşek olması durumunda, aşırı boşluk suyu basıncı aniden artarak, dayanımların birden düşmesine, bunun sonucunda da büyük deformasyonların oluşmasına sebep olur.
- Orta ve sıkı kumlarda, deformasyonlar ve dayanım kayıpları büyük değildir.
- Siltli kumlar ya da kumlu siltlerde, ince tanelerin plastisitesi çok büyük önem arz etmektedir. Non plastik siltler temiz kumlarda olduğu gibi çok kolay sıvılaşırlar.

##### Killi zeminler;

- Bu tür zeminlerde eğer plastisite indeksleri ve likit limit değerleri belirli bir sınırın altında ise sıvılaşma olayı meydana gelebilir. Youd ve Gilstrap (1999) tarafından açıklanan kriterlere göre, likit limit değeri %35'den küçük olmalıdır.

##### Çakıllı zeminler;

- Bu tür zeminler fazla geçirimli olduklarından sismik aktivite sırasında oluşan tekrarlı boşluk suyu basıncı daha çabuk sönmülenebilir.

- Çakıllı zeminler, jeolojik oluşumlar sırasında, iri tanelerin ağır kütleleri nedeniyle gevşek halde nadir görülmektedir.

### **Zeminin Rölatif Sıklığı ( $D_r$ )**

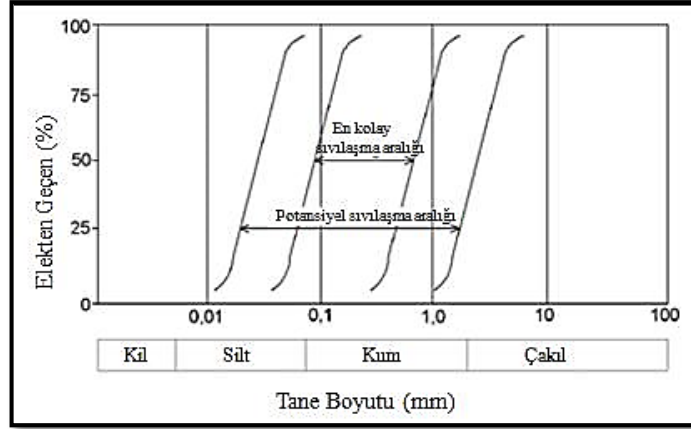
Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri kohezyonsuz zeminlerde zeminin sıklık durumunu yansıtan bir terim olan rölatif sıklıktır. Çizelge 2.1’de Seed ve Idriss (1971)’e göre rölatif sıklık-zemin sınıflaması ilişkisi görülmektedir. Bu zemin sınıflandırması dikkate alındığında rölatif sıklık değeri %65’den fazla olan zeminlerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği söylenebilir. Mesela 1964 Niigata depreminde rölatif sıklığı %50 olan kumlu zeminlerde sıvılaşma olmuş fakat rölatif sıklığı yaklaşık %70 olan yerlerde sıvılaşma oluşmamıştır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

**Çizelge 2.1:** Rölatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması

<b>Rölatif Sıklık (<math>D_r</math>) %</b>	<b>Acıklama</b>
0-15	Çok gevsek
15-35	Gevsek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

### **Tane Boyu Dağılımı**

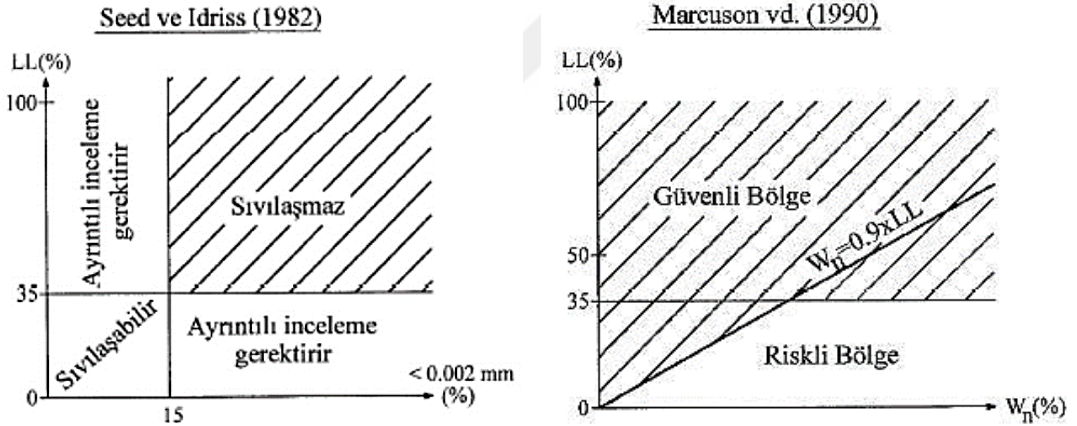
İyi derecelenmiş zeminlerde hacimsel küçülmeye olan eğilim az olduğu için drenajsız durumlarda oluşabilecek olan aşırı boşluk suyu basıncı miktarı azdır. Bu nedenle iyi derecelenmiş zeminlerde sıvılaşma ihtimalinin az olduğu söylenebilir. Üniform derecelenmiş zeminler, dengesiz tane dizilimi oluşturma eğiliminde olduğu için, bunların sıvılaşmaya karşı hassaslığı, iyi derecelenmiş zeminlerden daha fazladır. Şekil 2.1’de, potansiyel sıvılaşmaya sahip zeminler için tane boyutu için sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren granülometri eğrileri verilmiştir.(Wang ve Law, 1994)



**Şekil 2.1:** Zeminlerde sıvılaştırılabilir granülometri aralığı (Akkaş, 2006)

Kil içeriğinin artmasında sıvılaştırma tehlikesini azaltan etkenlerden birisidir.

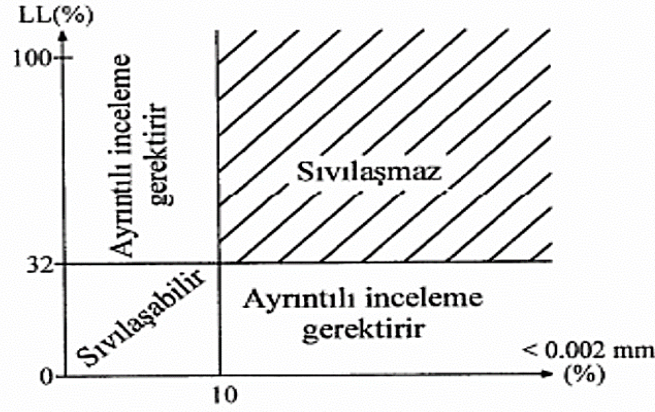
Modifiye Çin Kriterlerine göre sıvılaştırma potansiyeli olan zeminler: 0.005mm'den küçük ince malzeme, Likit limit (LL) ≤ %35, Doğal Su Muhtevası ( $W_n$ ) ≥ 0.9xLL (Şekil 2.1)



**Şekil 2.2:** Seed ve İdriss (1982) ve Marcuson vd. (1990) sıvılaştırma kriterleri

Andrew ve Martin (2000) bu kriterleri 0.002m'lik kil çapı için yeniden düzenlemişlerdir. (Şekil 2.2)

- Kil oranı ( 0.002 mm'den küçük tane oranı) yaklaşık olarak %10 dan az olan ve
- Likit limit değeri %32 den küçük olan zeminler sıvılaştırma potansiyeli yüksek zeminler olarak sınıflandırılır.



Şekil 2.3: Andrew ve Martin (2000)

### Jeolojik Şartlar ve Çökme Ortamı

Kramer (1996)'e göre zeminlerin jeolojik oluşum süreçleri, sıvılaşma hassasiyeti hakkında önemli bir etkiye sahiptir. Nehir ve göl yataklarında oluşan dolgular, yıkıntı, enkaz ya da aşınma süreciyle oluşmuş dolgular ya da rüzgâr etkisiyle taşınarak oluşmuş dolgular gibi suya doymuş zeminler yüksek oranda sıvılaşma riski bulundurlar. Sıvılaşma genel olarak her zeminde ve her koşulda oluşmadığı bilinmektedir. Genç ve gevşek çökeller sıvılaşmaya en uygun zeminlerdir. Holosen yaşlı (10000 yıldan daha genç) akarsu, delta, taşkın ovası gibi çökeller sıvılaşmaya çok duyarlıdır. (Strahler 1974;Forbes, 1985)

### Drenaj Şartları

Suya doymuş, gevşek zeminler, tekrarlı yükler altında, hacim azalması eğilimi gösterirler. Bu eğilim drenaj yok ise boşluk suyu basıncını artırır. Aşırı boşluk suyu basıncı, hızlı bir şekilde sönmülenebilirse zeminde sıvılaşma oluşmayabilir.

### Çevre Basınçları

Çevre basıncı büyük olursa, zeminin sıvılaşmaya karşı hassasiyeti de az olur. Sabit çevre basıncında, sıvılaşmaya karşı direnç zeminin relatif sıkılığına bağlı olarak artmakta iken, sabit zemin sıkılığında ise sıvılaşmaya karşı olan direnç artan çevre basıncına bağlı olarak artmaktadır (Kramer, 1996). Nitekim Castro (1969) ve Kramer ve Seed (1988) gibi çeşitli araştırmacılar bir zeminde önceden mevcut olan statik kesme direncinin bu zeminin statik sıvılaşma potansiyelini önemli oranda etkilediğini ortaya koymuşlardır. Bazı arazi incelemeleri, muhtemel sıvılaşmanın genellikle yüzeyden 15 m'lik bir derinliğe kadar indiğini

göstermektedir. Daha derinlerde yer alan zeminin ise yüksek çevre basınçlarından dolayı sıvılaşma potansiyelinin olmadığı düşünülmektedir. Bundan dolayı 15 m'den daha derinlerdeki zeminlere sıvılaşma analizi yapılmasının gereksiz olduğu kanısı yanlış olabilir. Bazı durumlarda, 15 m'den daha derin zeminlere de sıvılaşma analizi hesabı yapmak gerekebilir. Sıvılaşma analizinin hangi derinlikte sonlandırılması hakkında büyük tecrübe ve mühendislik yargısı gereklidir. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

### **Tane Şekli**

Zeminin tane şekli sıvılaşma potansiyelini etkileyen faktörlerdendir. Yuvarlak taneleri içeren zeminler, köşeli taneler içeren zeminlere göre sıvılaşma potansiyeli daha yüksektir. (Vaid vd., 1990)

### **Yaş ve Çimentolanma**

Zeminlerin yaş özelliği zeminler için önemli bir faktördür. Yeni çökelmiş, tam çimentolanmış zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, daha yaşlı çökellerden daha fazladır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Çimentolanma olayı ise zaman içerisinde, zemin tanelerinin birbiriyle temas etmesine araya bağlayıcı elemanların yerleşmesi sonucu meydana oluşur. Böyle bir durumda zemin daha sıkı hale geçeceği için sıvılaşma meydana gelme riski azalır.

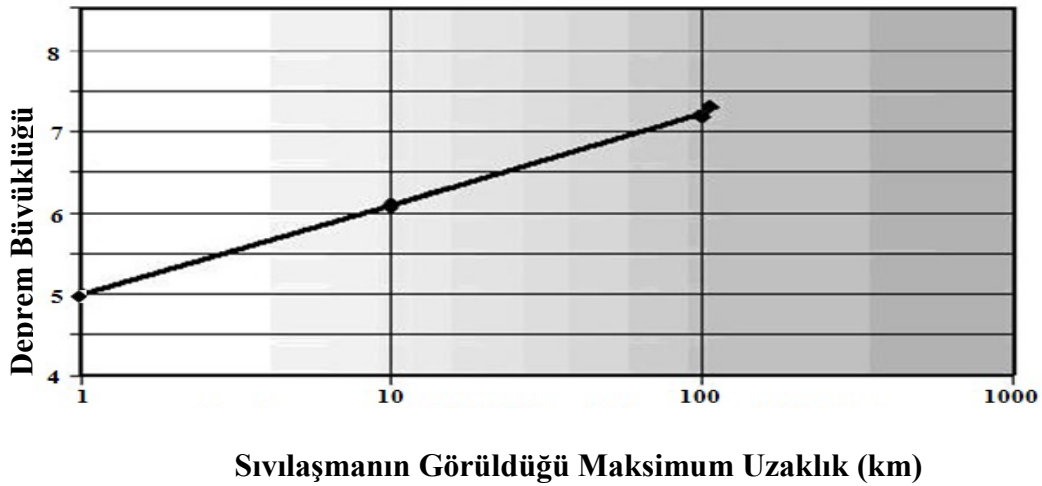
### **Sismik Geçmiş**

Araştırmacılar, daha önceden sıvılaşmaya uğramış zeminlerin yeni depremler ile birlikte tekrar sıvılaşma ihtimalinin yüksek olduğunu hem laboratuvar analizleri hem de arazi gözlemleri ile kanıtlanmıştır.

Sıvılaşma çalışmalarında söz konusu zeminin sismik geçmişine ilişkin veriler büyük önem arz etmektedir (Ferritto, 1997). Sıvılaşma ve oturma, uygulanan dinamik yükün doğasına, büyüklüğüne ve türüne bağlıdır. Kuru kumlarda yatay titreşimler dikey titreşimlere kıyasla daha büyük oturmalara neden olmaktadır (Prakash ve Gupta, 1967). Yapıların sıvılaşma sonucu hasar görmesi sıvılaşma durumuna maruz kaldığı süre ile yakından ilişkilidir. Yüksek permeabilite katsayılı iri kumlarda sıvılaşma süresi ince kumlara göre daha kısadır. Ayrıca çok yönlü sarsıntılar tek yönlü sarsıntılara göre daha yıkıcı karakterdedir. Seed (1976), çok yönlü gerilme veya sarsıntı koşullarında boşluk suyu basıncının tek

yönlü sarsıntıya kıyasla daha hızlı yükseldiğini, en büyük boşluk suyu basıncı için gerekli gerilme değerinin ise çok yönlü sarsıntıda tek yönlü sarsıntıya göre %10 daha az olduğunu saptamıştır.

Ayrıca, bir bölgenin depremselliği veya sıvılaşmaya olan hassasiyeti o bölgede oluşabilecek depremlerin tekrarlanma oranına bağlı olarak değişmektedir (Siyahi ve ark., 2003). Sıvılaşma olayının başlıca etkenlerinden birisi de depremlerdir. Bu nedenle depremin odak noktasının, incelenen bölgeye olan uzaklığı da önemlidir (Ündül ve Gürpınar, 2003). Youd ve Perkins (1978), daha önce yaşanmış 57 adet depremi inceleyerek oluşturdukları deprem magnitüdü (büyüklüğü) ve sıvılaşmanın görüldüğü en uzak mesafe arasındaki ilişkiyi bir grafikte ifade etmişlerdir (Şekil 2.14). Buna göre sıvılaşma olayı daha çok büyüklüğü 5 ve 5'in üzerinde olan depremlerde depremin episantrından 100 km'ye kadar olan alanlarda görülebilmektedir.



**Şekil 2.4:** Deprem magnitüdüne bağlı olarak sıvılaşmanın görüldüğü en uzakmesafe (Youd ve Perkins, 1978).

### 2.1.3.2 Sıvılaşmaya Etki Eden Dış Faktörler

#### Depremin Büyüklüğü ve Süresi

Zeminlerin sıvılaşmasına neden olan en önemli faktörlerden birisi de depremdir. Bu nedenle sıvılaşmaya etki eden faktörler incelenirken, depremlerin özelliklerini dikkate almak gerekmektedir. Bu özellikler, deprem büyüklüğü ve deprem süresidir.

- Deprem büyüklüğü; sıvılaşmanın meydana gelmesinde deprem büyüklüğü önemli bir parametre olmaktadır. Deprem büyüklüğünün yüksek olması

maksimum ivmenin büyük olmasına sebep olmakta, bu da sıvılaşma için ortam hazırlamaktadır.

- Deprem Süresi; deprem süresinin uzaması oluşan gerilmelerin zemine uygulanma süresini uzatacağından, sıvılaşma riskini önemli ölçüde arttıracaktır. (Dere, 2009).

#### **2.1.4 Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmesi**

Önceki bölümlerde verilen bilgiler sadece sıvılaşmaya karşı hassas olabilecek ortamların ve zeminlerin ayırt edilmesi için ön değerlendirme yapmak amacıyla yararlanılabilir. Dolayısıyla, bu ölçütlerden yararlanılarak yapılacak ön değerlendirmelerin sonuçlarına göre zeminlerin sıvılaşıp sıvılaşmayacağına kesin olarak karar verilmesi olanaklı değildir. Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi çok sayıda zemin ve deprem parametrelerinin dikkate alındığı ayrıntılı analiz yöntemleriyle yapılmakta olup bunlara ilişkin bilgiler aşağıda başlıklar halinde verilmektedir.

##### **2.1.4.1 Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Laboratuvar Deneyleri**

Zemine oturan yapıların güvenliğinin sağlanması için gevşek kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Kumlu zeminlerde, sıvılaşmanın incelenmesi ve mühendislik uygulamalarında, bölgenin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi isteniyor ise, laboratuvar dinamik deney metotlarının kullanılması gerekmektedir. Bu deneylerin dışında, sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için, bazı arazi deneylerinden de yararlanılmaktadır (Yatman, 2006).

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde yapılan laboratuvar deneylerinde numunenin boşluk suyu drenajı kontrolü ve hacim ve/veya boşluk suyu basıncı değişiminin ölçümü sağlanmalıdır (Akkaş, 2006).

Sıvılaşma potansiyeli belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın laboratuvar deneyleri, devirsel üç eksenli basınç deneyi ve devirsel basit kesme kutusu deneyidir.

##### **Devirsel Üç Eksenli Basınç Deneyi**

Örselenmemiş veya az örselenmiş suya doymuş kum numunesi, arazideki çevre basıncı eşit çevre basıncıyla konsolide edilir. Konsolidasyon sırasında drenaja

müsaade edilmektedir. Daha sonra devirsel düşey basınç uygulanarak, numune deformasyona zorlanır. Devirsel yükleme süresince, aksenal deformasyon ve aşırı boşluk suyu basıncı, uygulanan devirsel gerilmenin devri ile birlikte ölçülmektedir. Bu ölçümlerde, boşluk suyu basıncının, çevre basıncına eşit olduğu an tespit edilir. Boşluk suyu basıncının çevre basıncına eşit olduğu durumda, zemin taneleri mukavemetini kaybettiğinden zeminde sıvılaşma olayı gerçekleşmektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

### **Devirsel Basit Kesme Kutusu Deneyi**

Devirsel basit kesme kutusu deneyi, arazide meydana gelen deprem yüklerine çok yakın sonuçlar vermektedir. Deney, suya doymun kum numunesine, düşey yönde efektif gerilmenin uygulanması, daha sonrasında ise devirsel kayma gerilmesinin numune üzerine uygulanması şeklinde yapılmaktadır. Devirsel yükleme süresi boyunca, boşluk suyu basıncındaki artış ve aksenal deformasyon, yatay yönde uygulanan devirsel kayma gerilmesinin devri ile ölçülmektedir. Sıvılaşmaya neden olan gerilme; devir sayısı, uygulanan kayma gerilmesi ve başlangıç efektif gerilme değerlerinin büyüklüklerine bağlıdır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

#### **2.1.4.2 Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Arazi Deneyleri**

Arazi deneylerinin avantajı zemini doğal durumda test etmeyi sağlamasıdır. Arazi deneyleri ile yüzeyden itibaren istenilen derinliğe ulaşılabilir ve sürekli tanımlama yapılabilir. Fakat arazide sismik aktiviteyi göstermek zor olduğu için sıvılaşma potansiyelini ölçmek için yapılan deneylerde, sıvılaşma dayanımıyla doğrudan ilgili parametrelere ulaşamaz. Değerlendirme kriterlerine ulaşmak için, sıvılaşma meydana gelmiş geçmiş depremler incelenerek ampirik ifadeler geliştirilmiştir (Yatman, 2006).

Sıvılaşma analizlerinde en çok kullanılan arazi deneyleri, standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) ve kayma dalga hızı ( $V_s$ ) deneyidir.

Bu tez çalışması kapsamında analizler standart penetrasyon deneyi (SPT) kullanılarak yapıldığından, bu arazi deneyi daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



### **Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)**

Geoteknik Mühendisliğinde, standart penetrasyon deneyi (SPT) geçmişten beri yaygın olarak kullanılan en eski arazi deneylerinden birisidir. Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de standart penetrasyon deneyi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Diğer arazi deneyleri ile karşılaştırıldığında, SPT'nin bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu deneyde kullanılan mekanik donanım (tij, numune alıcı, tokmak vs.) genel olarak daha basit ve dayanıklıdır. SPT, sondaj işlemi sırasında kuyu içinde kolayca uygulanabildiğinden maliyeti daha düşüktür. Deneyin önemli üstünlüklerinden biri de SPT'nin yapılan sondaj çukurlarından numune alınabilmesidir. Ayrıca, bu deney, bütün zemin gruplarında ve yeraltı su seviyesi altında uygulanabilmektedir. Bahsedilen avantajların tümünü, başka bir arazi deneyinde bulmak mümkün değildir (Sivrikaya ve Toğrol, 2009).

### **Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)**

Hollanda koni veya koni penetrasyon deneyi olarak da adlandırılan bu deneyde, bir

çelik boru ve bunun içinden geçen ve de ucunda bir koni bulunan çubuk, sıra ile zemine itilerek uç ve sürtünme dirençleri hesaplanmaktadır. Koni 3.6 cm çaplı ve  $10 \text{ cm}^2$  alanlı olup, uç açısı  $60^\circ$  dir. Boru dış çapı ise koni tabanı çapı kadardır. Deneyin yapılışı için sondaja gerek yoktur. Deneyde ilk önce boru ve koni birlikte zemine itilir. Sonra uç tek başına itilerek penetrasyon için gerekli basınç ve ilerleme esnasında sürtünme direnci ölçülür. Gevşek ve üniform zeminlerde başarıyla yapılan bu deney, sıkı, köşeli, taneli ve çakıllı zeminlerde iyi sonuçlar vermemektedir. Deney derinliği boyunca zeminin profilini eksiksiz çıkarmak mümkün olsa da, deneyin en olumsuz yönü örnek alınamamasıdır (Kılıç, 2009).

### **Kayma Dalgası Hızı ( $V_s$ ) Deneyi**

Kayma dalgası hızı, kuyu yukarı, kuyu aşağı ve kuyudan kuyuya yöntemleri gibi birkaç farklı jeofizik yöntem kullanılarak ölçülebilir. Ayrıca, sismik konik penetrometresi ve süspansiyon loglaması gibi diğer yöntemlerde kullanılabilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

## Arazi Deneylerinin Avantaj ve Dezavantajları

Veri kayıtlarının çok olması nedeniyle, sıvılaşma analizlerinde en çok SPT ve kısmen de CPT deneyleri kullanılmaktadır. SPT, CPT ve kayma dalga hızı deneylerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.2:** Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan arazi deneylerinin avantaj ve dezavantajları (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

Özellik	Deney Tipi		
	SPT	CPT	$V_s$
Sıvılaşma bölgelerinde veri kayıtları	Zengin	Zengin	Sınırlı
Deneyi etkileyen gerilme-deformasyon davranışının tipi	Kısmi drenajlı büyük deformasyon	Drenajlı, büyük deformasyon	Küçük deformasyon
Kalite kontrolü ve kamtlanabilirlik	Zayıf iyi arası	Çok iyi	İyi
Zeminlerdeki değişkenliğin İzlenebilmesi	Kısa aralıklarla yapılan deneylerde iyi	Çok iyi	Orta
Hangi zemin tipi için önerildiği	Çakılsız zeminler	Çakılsız zeminler	Hepsi
Zemin numunesi almıyor mu?	Evet	Hayır	Hayır
Deney indeks mi, mühendislik özelliği mi ölçüyor?	İndeks	İndeks	Mühendislik

### 2.1.5 Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri

Deprem bölgelerinde bulunan suya doymuş gevşek zeminlerde, sıvılaşma olayı büyük bir problemdir. Geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmalar yapmış ve sıvılaşma analizleri için arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan çeşitli ampirik formüller üretmişlerdir. Laboratuvarda yapılan deneylerde, örselenmemiş numune alma sıkıntısı ve deneylerin zaman alması nedeniyle, sıvılaşma analizlerinde çoğunlukla arazi deneyleri kullanılmaktadır. Sıvılaşma analizlerinde en çok tercih edilen arazi deneyleri Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)'dir. Ayrıca kayma dalgası hızına bağlı analiz yöntemleri de sıvılaşma analizlerinde kullanılmaktadır.

Arazi deneyleri verilerine dayanılarak yapılan sıvılaşma analizlerini aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür:

SPT 'ye göre sıvılaşma analizi

-Seed ve Idriss (1971)

-Tokimatsu ve Yoshimi (1983)

-Iwasaki vd. (1981)

-İdriss ve Boulanger (2010)

CPT'ye göre sıvılaşma analizi

-Seed ve De Alba (1986)

-Suzuki vd. (1997)

-Robertson ve Wride (1998)

$V_s$ (kayma dalga hızı)'ye göre sıvılaşma analizi

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı dirençlerinin belirlenmesi için iki parametrenin hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekmektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006). Bunlar:

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

CRR).

Sıvılaşma, deprem nedeniyle oluşan yüklerin, sıvılaşma direncini aştığı derinliklerde oluşmaktadır. Bu ifade, bir emniyet faktörü cinsinden (2.1) bağıntısında verildiği gibihesaplanmaktadır. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006):

$$EF=(DDO/DGO)\times MDF \quad (2.1)$$

Burada:

EF: Emniyet Faktörü,

DDO: Devirsel Direnç Oranı,(CSR)

DGO: Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı (CRR),

MDF: Magnitüd ( Büyüklük) düzeltme Faktörü.

Seed ve Idriss 1971’de önerdikleri sıvılaşma analiz yöntemlerini geliştirmek amacıyla çalışmalar yapmaya devam etmişler ve 1982’de sıvılaşmanın yüzey etkilerinin olduğu ya da olmadığı birkaç bölgede standart penetrasyon darbe sayılarını ölçmüş ve aynı bölgede büyüklüğü 7.5 olan depremleri de kaydetmişlerdir. Bu çalışma sonucunda büyüklüğü 7.5’den farklı deprem büyüklükleri için, düzeltme faktörünü önermişlerdir.

Youd vd. (2001), Seed ve Idriss tarafından önerilen büyüklük düzeltme faktörünü yenileyerek (2.2) bağıntısını önermişlerdir:

$$MDF = 10^{2,24/M^{2,56}} \quad (2.2)$$

M: Deprem büyüklüğü

Daha sonra anlatılacak olan Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde deprem büyüklüğünün etkisi DGO hesabında dikkate alınmıştır. Bu nedenle bu yöntem hariç, diğer yöntemlerde sıvılaşma analizi yapılırken magnitüd düzeltme faktörünün dikkate alınması gerekmektedir.

Emniyet faktörünün 1’den küçük olduğu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana geldiği kabul edilmektedir. Ancak emniyet faktörü 1’in biraz üzerinde olan zeminler yine de deprem anında sıvılaşabilir. Örneğin, alttaki tabakanın sıvılaşması durumunda yukarı doğru yükselen su akışı üstte yer alan ve emniyet

faktörü 1'den biraz büyük olan tabakanın sıvılaşmasına neden olabilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

### 2.1.5.1 SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığının hesaplanmasında en çok kullanılan arazi deneyi Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)'dir. SPT verilerin çok kolay elde edilişi, önceki depremlerle elde edilen verilerinin bir veri tabanının olması ve bunların yeni depremlerle korelasyonunun daha kolay olması nedeni ile sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde Standart penetrasyon deneyinin çok kullanılan bir arazi deneyi olmasında payı büyüktür.(Şişman, 2006).

Sıvılaşma potansiyeli, SPT verileri kullanılarak 4 ayrı çalışmada önerilen yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bunlar Seed ve Idriss 1971, Tokimatsu ve Yoshimi 1983, Iwasaki vd. 1981, Idriss ve Boulanger 2004 dir.

### Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması (CSR-DGO)

#### Seed ve Idriss (1971)

Seed ve Idriss (1971) tarafından oluşturulan yönteme göre devirsel gerilme oranı (2.3) bağıntısını kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$DGO = 0,65 \times (a_{maks}/g) \times (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) \times r_d \quad (2.3)$$

Burada,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

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

$g$  =Yerçekimi ivmesi

$\sigma_{vo}$  =Düşey toplam gerilme

$\sigma'_{vo}$  =Düşey Efektif Gerilme

Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi ( $a_{maks}$ ) değerinin bulunması konusunda, Joyner ve Boore (1981), Fukushima vd. (1988), İnan vd. (1996), Aydan vd. (1996) çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Aydan vd. (1996), Türkiye'de oluşabilecek depremler için (2.4) bağıntısını önermişlerdir:

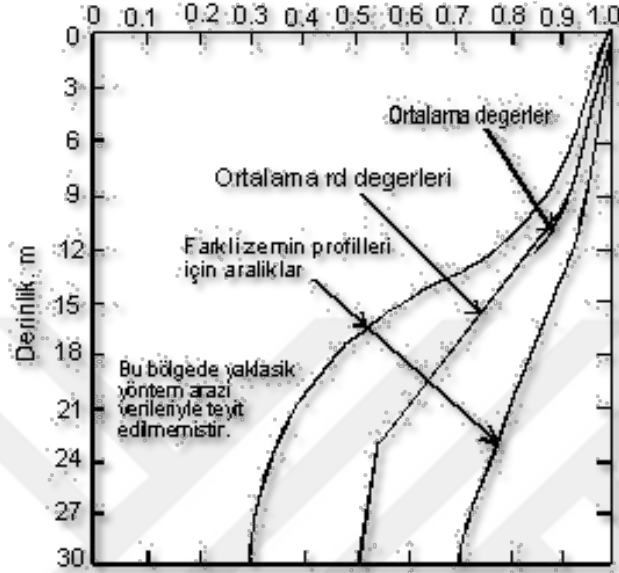
$$a_{maks} = 2.8 (e^{0,9M} \times e^{-0,025R} - 1) \quad (2.4)$$

Burada;

M=Deprem Büyüklüğü

R= Deprem odağından olan uzaklık.

Şekil 2.5’de Seed ve Idriss (1971) tarafından düzenlenen,  $r_d$  (gerilme azaltma katsayısı) değerinin derinlikle değişimini gösteren eğri verilmiştir.



**Şekil 2.5:** Düz veya kısmen eğimli zemin yüzeylerinde gerilme azaltma katsayısının derinlikle değişimi (Unutmaz, 2008)

Liao ve Whitman (1986) gerilme azaltma katsayısı için ( $r_d$ ) (2.5) ve (2.6) bağıntılarını önermişlerdir.

$$r_d = 1.0 - 0,00765 z; z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2.5)$$

$$r_d = 1.174 - 0,0267 z ; 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (2.6)$$

Burada;  $z$ , zemin yüzeyinden itibaren metre cinsinden derinliktir. Youd vd., (2001), Şekil 2.16’deki ortalama değer eğrisinden alınan  $r_d$  değerlerini kullanarak (2.7) bağıntısını elde etmiştir.

$$r_d = \frac{1.0 - 0.4113 z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1.0 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2} \quad (2.7)$$

Eşitlik sıvılaşma analizlerinde kolaylık sağlamaktadır.

### **Tokimatsu ve Yoshimi (1983)**

Tokimatsu ve Yoshimi (1983), tarafından geliştirilen yönteme göre devirsel gerilme oranı (2.8) bağıntı yardımıyla bulunabilmektedir.

$$DGO = (a_{max}/g) \times (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d r_n \quad (2.8)$$

DGO: deprem nedeniyle oluşabilecek olan devirsel gerilme oranı

$a_{max}$ : Bölgedeki maksimum yatay yer ivmesi

$g$ : Yerçekimi ivmesi

$\sigma_{vo}$ : Düşey Toplam gerilme

$\sigma'_{vo}$ : Düşey Efektif gerilme

$r_d$ : Gerilme azaltma Katsayısı

$r_n$ : Deprem büyüklüğü düzeltme faktörü

$r_d$  ve  $r_n$  'nin hesaplanması (2.9) ve (2.10) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$r_d = 1 - 0.0015z \quad (2.9)$$

$$r_n = 0.1(M-1) \quad (2.10)$$

Aydan ve diğ.(1996)  $a_{max}$  değerini hesaplamak için (2.11) bağıntısını önermişlerdir.

$$a_{max} = 2.8 \times (e^{0.9M} \times e^{-0.025R} - 1) \quad (2.11)$$

$M$ : Deprem büyüklüğü

$R$ : Deprem odağından olan uzaklık.

### **Iwasaki vd. (1981)**

Iwasaki vd. (1981), tarafından önerilen yöntemde ise (2.12) bağıntısı kullanılmıştır.

$$DGO = (a_{max}/g) \times (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d \quad (2.12)$$

DGO: Deprem nedeniyle oluşabilecek olan devirsel gerilme oranı

$a_{max}$ : Bölgedeki maksimum yatay yer ivmesi

$g$ : Yerçekimi ivmesi

$\sigma_{vo}$ : Düşey toplam gerilme

$\sigma'_{vo}$ : Düşey efektif gerilme

$r_d$ : gerilme azaltma katsayısıdır.

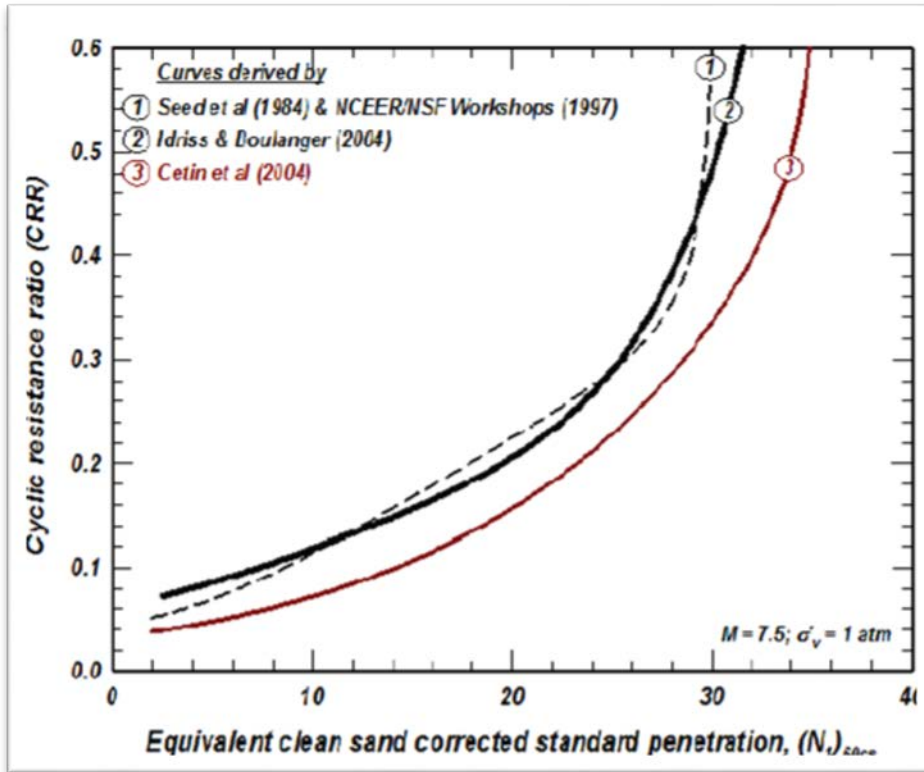
$r_d$ :  $1-0.0015z$

(2.13)

$z$ : metre cinsinden derinliği ifade etmektedir.

### İdriss ve Boulanger (2010-2014)

İdriss ve Boulanger (2010 -2014) yaptıkları çalışmada Seed vd. (1984-1985),NCEER/NSF çalışma grubu (Youd ve ark.2001) ile Çetin ve Ark. (2004) arasındaki farklılığa dikkat çekmiş ve de bazı düzenlemeler geliştirmişlerdir. (Bkz. Şekil 2.6)



Şekil 2.6: Üç adet SPT ye dayalı sıvılaşma eğrisi (İdriss & Boulanger 2010)

$$DGO = 0,65 \times \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \quad (2.14)$$

DGO: Deprem nedeniyle oluşabilecek olan devirsel gerilme oranı

$a_{max}$ : Bölgedeki maksimum yatay yer ivmesi

$g$ : Yerçekimi ivmesi

$\sigma_{vo}$ : Düşey toplam gerilme



$\sigma'_{vo}$ : Deüşey efektif gerilme

$r_d$ : gerilme azaltma katsayısıdır.

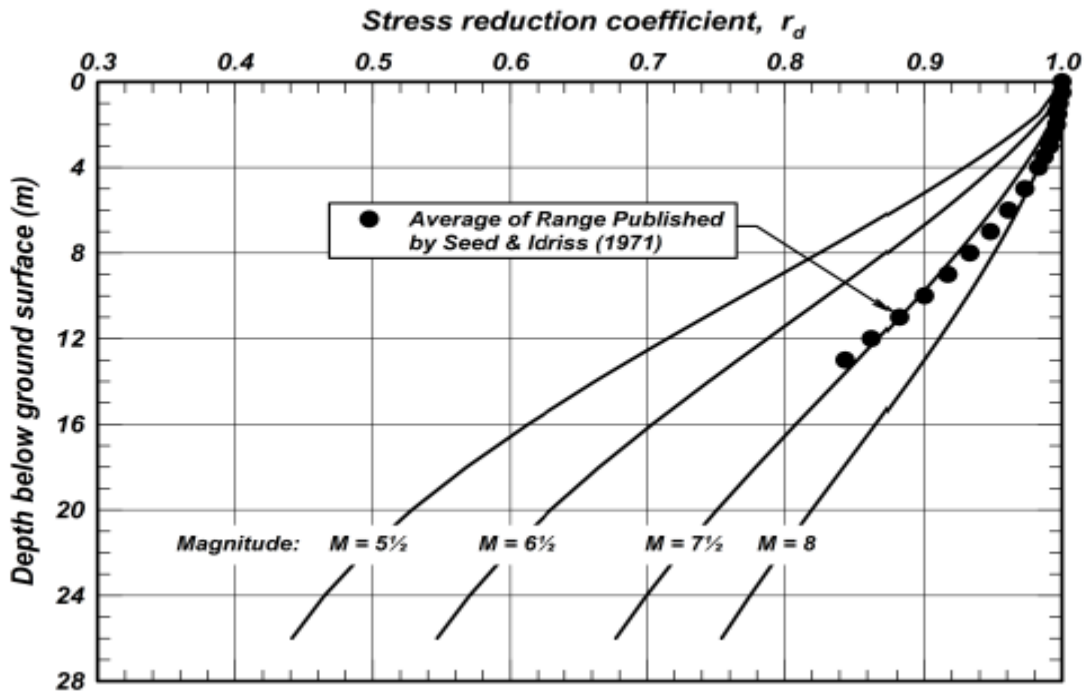
### Gerilme Azaltma Katsayısı ( $r_d$ )

Idriss (1999), Golesorkhi (1989) çalışmalarını genişleterek saha analizleri yapmıştır. Bu çalışmalar neticesinde de  $r_d$  gerilme azaltma katsayısını (2.15)~(2.17) bağıntıları ile tanımlamıştır. Kayma gerilmesi ve  $r_d$  arasındaki ilişki Şekil 2.7 gösterilmiştir.

$$r_d = \exp.[\alpha(z) + \beta(z) * M] \quad (2.15)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin [(z/11,73) + 5,133] \quad (2.16)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin [(z/11,28) + 5,142] \quad (2.17)$$



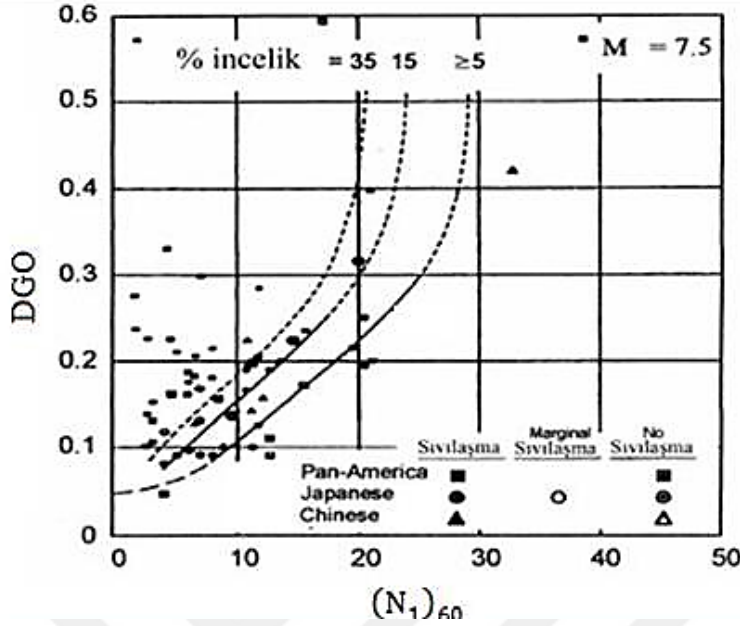
Şekil 2.7: Kayma gerilmesi  $r_d$  ilişkisi (Idriss & Boulanger 2010)

### Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması (CRR-DDO)

#### Seed ve Idriss (1971)

Devirsel direnç oranı (DDO), zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Seed vd. (1985)  $M=7.5$  büyüklüğünde depreme maruz kalmış temiz ve siltli kumlu zeminlerde, sıvılaşmanın olduğu ve oluşmadığı bölgelerde SPT darbe sayısını araştırmışlardır. Bunun sonucunda, belirli SPT darbe sayılarında

sıvılaşma oluşması için, gerekli minimum devirsel kayma gerilmeleri oranını, grafiksel olarak göstermişlerdir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: M=7.5 için devirsel direnç oranı ve  $(N_1)_{60}$  arasındaki ilişki (Youd vd., 2001)

$(N_1)_{60}$  yaklaşık 100 kPa'lık üst tabaka yüküne göre ve %60 enerji oranına göre normalize edilmiş SPT darbe sayısını ifade etmektedir. Eğriler ince tane oranı %5 ve daha az, %15 ve %35 olan granüler zeminler için elde edilmiştir. İnce tane oranı %5 ve daha az olan kumlu zeminler, temiz kum olarak adlandırılmaktadır (Seed ve Idriss 1971).

Youd vd. (2001), devirsel direnç oranının hesabında kullanılması için, Şekil 2.8'de gösterilen temiz kum eğrisi yerine kullanılabilecek olan (2.18) bağıntısını geliştirmişlerdir:

$$DDO = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10 * (N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (2.18)$$

Burada;

DDO = Devirsel direnç oranı,

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

Seed vd. (2003)'e göre  $(N_1)_{60} \geq 30$  olan killi ve siltli zeminlerin, sıvılaşmayan zeminler olarak sınıflandırılır.

Seed vd. (1985) e göre ince tane oranı arttıkça, sıvılaşmaya karşı dirençte artmaktadır. İnce tane oranının sıvılaşmaya karşı olan direncini hesaplamak için (2.19) bağıntısını sunmuşlardır.

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (2.19)$$

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

$(N_1)_{60tk}$ : ince tane oranına göre düzeltilmiş SPT değerleri

$\alpha$  ve  $\beta$  ince tane düzeltme katsayılarıdır, (2.20) ve (2.21)'deki bağıntılarla hesaplanmaktadır.

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

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/IDO^2)] ; \%5 \leq ITO \leq \%35$$

$$\alpha = 5.0 ; ITO \leq \%5$$

(2.20)

$$\beta = 1.0 ; ITO \leq \%5$$

$$\beta = [0.99 + (IDO^{1.5}/1000)] ; \%5 \leq ITO \leq \%35$$

$$\beta = 1.2 ; ITO \leq \%5$$

(2.21)

ITO: ince tane oranı

### **Tokimatsu ve Yoshimi (1983)**

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- $N_{arazi}$  değerleri kullanılarak (2.22) bağıntısıyla hesaplanmaktadır

$$(N)_{80} = (170/\sigma_{vo}^2 + 70) * N \quad (2.22)$$

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde aynı zamanda ince tane oranının etkisi de dikkate alınmıştır.

**Çizelge 2.3:** Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından önerilen ince tane oranı düzeltme katsayıları

İnce Tane Oranı(%)	$\Delta N_f$
0-5	0
5-10	ITO(%)-5
10-	0.1 ITO +4

### Iwasaki vd. (1981)

Iwasaki vd. (1981) arazi direnci olarak da tanımladıkları devirsel direnç oranını, drenajsız devirsel kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanarak elde ettikleri bir yaklaşımla belirlemişlerdir. Devirsel direnç oranını hesaplariken, ince tane oranı yerine ortalama tane çapını dikkate almışlar ve sivilaşmayı ona göre hesaplamışlardır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

$0,04 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0,6 \text{ mm}$  için;

$$DDO = 0,0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo} + 0,7}} + 0,225 \log \frac{0,35}{D_{50}} \quad (2.23)$$

$0,6 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1,5 \text{ mm}$  için;

$$DDO = 0,0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo} + 0,7}} - 0,05 \quad (2.24)$$

DeneySEL yöntemlerle ortalama tane çapının belirlenemediği durumlarda, yardımcı olabilmek amacıyla, Çizelge 2.4 verilmiştir. Bu tablo yardımıyla  $D_{50}$  değerleri zemin sınıfına göre tahmin edilebilmektedir. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

**Çizelge 2.4:** Doğal Birim Hacim Ağırlığı yardımıyla Tane Çapı Tahmini

Zemin Sınıfı	Doğal Birim Hacim Ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ )	Ortalama Tane Çapı $D_{50}$ mm.
Yüzey Zemini	17	0,02
Silt	17,5	0,025
Kumlu Silt	18	0,04
Çok İnce Kum	18,5	0,10
İnce Kum	19,5	0,15
Orta Kum	20	0,35
İri Kum	20	0,6
Çakıl	21	2,0

### İdriss ve Boulanger (2010-2014)

$$DDO_{M, \sigma'v} = DDO_{M=7.5, \sigma'v=1} \times MSF \times K_{\sigma} \quad (2.25)$$

$$DDO_{M=7.5, \sigma'v=1} = \exp.\{(N_1)_{60cs}/14,1 + [(N_1)_{60cs}/126]^2 - [(N_1)_{60cs}/23,6]^3 + [(N_1)_{60cs}/25,4]^4 - 2,8\} \quad (2.26)$$

MSF: Magnitüd düzeltme faktörü

$K_{\sigma}$ : Aşırı Yük Düzeltme Faktörü

$DDO_{M=7.5, \sigma'v=1}$ : Devirsel Direnç Oranı Magnitüd 7,5 ve  $\sigma'v=1$  atm eşlenik temiz kuma göre değerlendirme.

$(N_1)_{60}$ : %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT sayısı

$(N_1)_{60cs}$ : İncelik oranına göre düzeltilmiş SPT sayısı

$$(N_1)_{60cs} = [(N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}] \quad (2.27)$$

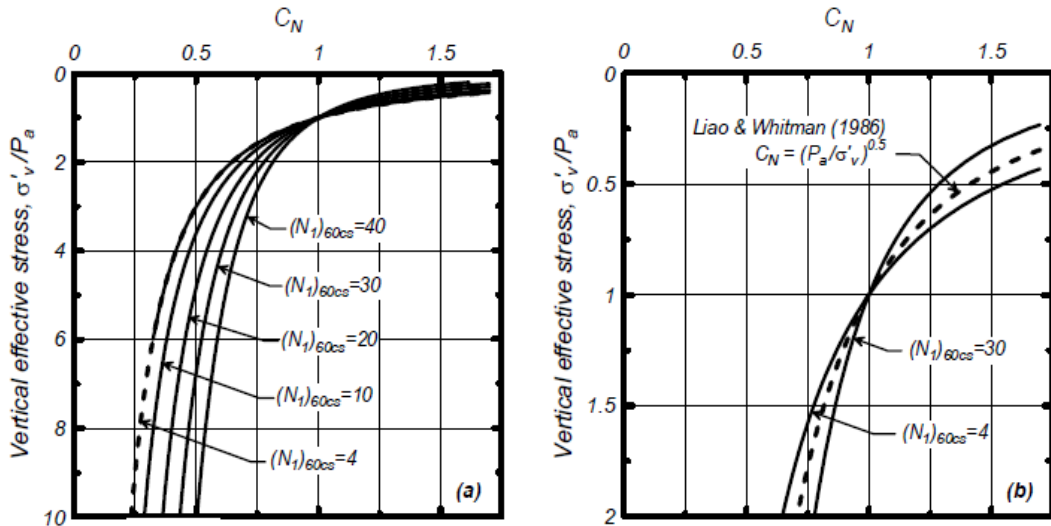
$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_R C_S C_B C_E \quad (2.28)$$

### Üst Tabaka Düzeltme Faktörü ( $C_N$ )

$$C_N = (P_a / \sigma'v) m \leq 1.7 \quad (2.29)$$

$$m = 0,784 - 0,0768 \sqrt{(N_1)_{60cs}} \quad (2.30)$$

$(N_1)_{60}$  ve etkin düşey yük 10 atm basınca kadar olan ilişki Şekil 2.9a'da 2 atm'e kadar olan basınçlarda ise Şekil 2.9b'de gösterilmiştir.



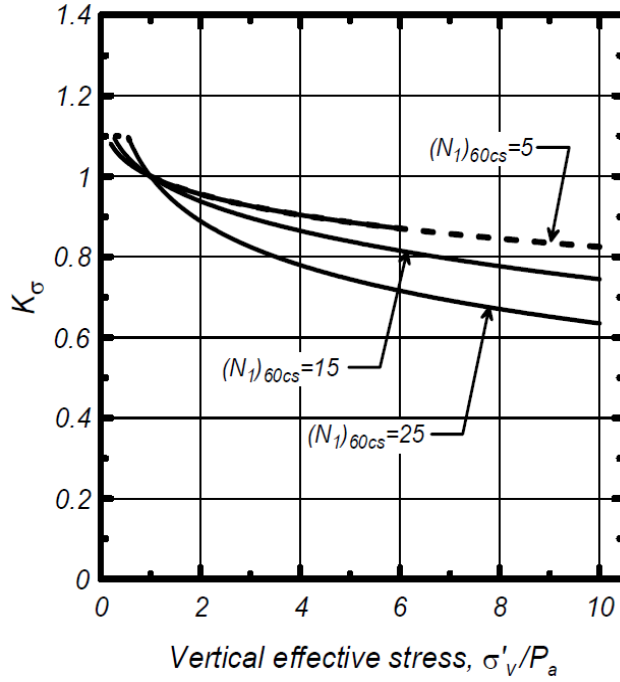
Şekil 2.9:  $(N_1)_{60}$ 'in (a) 10atm basınca kadar (b) 2 atm basınca kadar olan ilişkisi (İdriss&Boulanger 2010)

### Aşırı Yük Düzeltme Faktörü ( $K_\sigma$ )

$K_\sigma$  bağıntısı Boulanger (2003) tarafında türetilmiştir. Laboratuvarda temiz ve yeniden yapılandırılmış kum için DGO'nun kumun görelî durum parametre indeksi  $\varepsilon_r$  ile ilişkili olabileceğini, temiz kumlar için  $K_\sigma$  ilişkisinin DGO- $\varepsilon_r$  ilişkisinin DGO- $(N_1)_{60cs}$  korelasyonlarıyla tutarlı ilişkisi olduğu vurgulanmıştır. Idriss ve Boulanger (2010), elde edilen  $K_\sigma$  değerini (2.31) bağıntısı gibi ifade edilmesini önermiştir. (Şekil 2.10)

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln(\sigma'_v/P_a) \leq 1.1 \quad (2.31)$$

$$C_\sigma = \{1 / [18.9 - (2.55 \sqrt{(N_1)_{60cs}})]\} \leq 0.3 \quad (2.32)$$

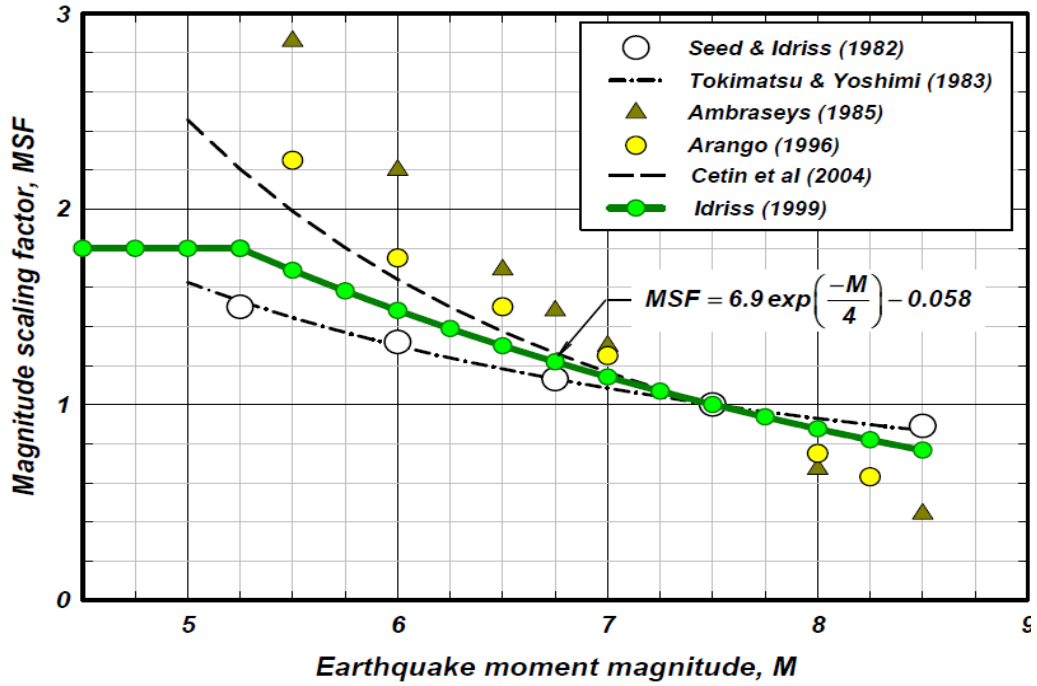


Şekil 2.10: Aşırı Yük Düzeltme Faktörü ( $K_\sigma$ ) (Idriss & Boulanger 2010)

### Magnitüd Düzeltme Faktörü (MSF)

Magnitüd (büyüklük) düzeltme faktörü (MSF), sıvılaşmanın tetiklenmesi üzerindeki etkilerinin (yani, yükleme döngülerinin sayısı) hesaba katılması için kullanılır. MSF ilişkisi, DGO ile eşdeğer üniform yükleme döngüsü sayısı arasındaki laboratuvar temelli ilişkileri ve eşdeğer üniform yükleme döngüsü sayısının deprem büyüklüğü ile olan korelasyonlarını birleştirerek elde edilmiştir. MSF faktörü, her bir vaka tarihinin hesaplanan DDO değerine uygulanır ve ortak bir M değerine dönüştürülür (geleneksel olarak  $M = 7.5$

olarak alınır). Kumlar için MSF, aşağıdaki ilişkiyi tavsiye eden Idriss (1999) tarafından tekrar değerlendirilmiştir.(Bkz. Şekil 2.11)



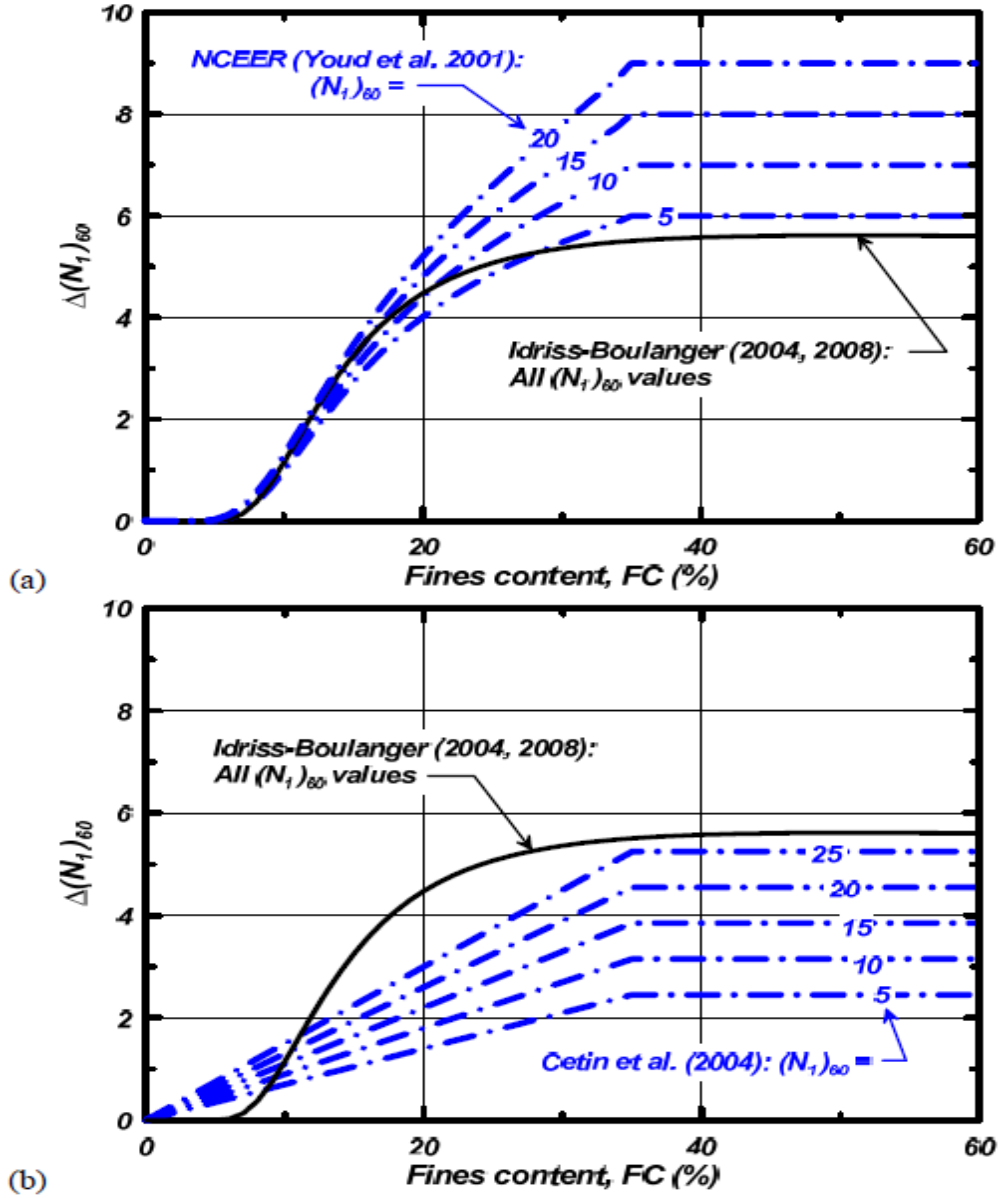
Şekil 2.11: Magnitüd düzeltme faktörü (MSF)(Idriss&Boulanger 2008)

$$MSF = 6.9 \times \exp(-M/4) - 0.058 \leq 1.8 \quad (2.33)$$

#### Eşdeğer Temiz Kum Düzeltmesi:

Eşdeğer temiz kum ayarı  $\Delta(N_1)_{60}$ , ampirik olarak sıvılaşma vaka geçmiş verilerinden türetilir ve içeriği hem DGO hem de SPT darbe sayısı üzerindeki etkilerini açıklar. Sıvılaşma vaka geçmişleri, sıvılaşma tetikleyici korelasyonun ince toz içeriği (FC) arttıkça sola kaydığını ortaya koymaktadır. Bu etki, SPT  $(N_1)_{60}$  değerlerini, eşdeğer temiz kum  $(N_1)_{60cs}$  değerlerini ayarlamak ve daha sonra DGO'nı  $(N_1)_{60cs}$ 'nin bir fonksiyonu olarak ifade etmek suretiyle temsil edilir. Idriss ve Boulanger (2004, 2008) tarafından geliştirilen eşdeğer temiz kum ayarı düzeltmesi;

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right) \quad (2.34)$$



Şekil 2.12:(a): Youd ve diğ. (2001) göre tavsiye edilen eşdeğer temiz kum düzeltmesi b: Çetin ve ark. (2004) göre tavsiye edilen eşdeğer kum düzeltmesi

## 2.2 Genel Bakış

Zeminlerde sıvılaşma konusundaki ilk çalışmayı “kritik boşluk oranı” yaklaşımı ile Casagrande 1936 yılında yapmış ve “Kritik boşluk oranından daha fazla boşluk oranına sahip kum çökelleri, kesme gerilmelerine maruz kalmaları durumunda, hacimsel daralma gösterir. Drenajsız şartlar altında pozitif boşluk suyu basıncı artacağından, boşluk suyu basıncı değerinin toplam gerilmeye ulaşması durumunda da zemin bir sıvı gibi davranabilir. Diğer yandan kritik



boşluk oranından daha az boşluk oranına sahip kum çökellerinin kesme gerilmelerine maruz kalmaları durumunda hacimsel genişleme göstereceğinden, hacimsel genişleme yapan kum numunesinde de boşluk suyu basıncı azalır (negatif olabilir), dolayısıyla da efektif gerilme artar ve numune başlangıç konumuna göre daha stabil hale gelir.” tespitinde bulunmuştur.

Casagrande, 1938 yılındaki diğer çalışmasında ise, kritik boşluk oranının çevre basıncına bağlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Çalışmasının sonucunda çevre basıncının artması sonucu kritik boşluk oranının azaldığını tespit etmiştir. Bu durumda suya doymun kumlar yüksek çevre basınçlarında, düşük çevre basınçlarına göre daha az duyarlı olabilmektedir.

Seed (1966), deprem etkisi altında kumun davranışını açıklayabilmek için kum numuneleri üzerinde deneyler yapmıştır. Ulaştığı sonuçlarla sıvılaşma davranışını açıklamak için geliştirilen birçok çalışmaya referans olmuştur. Deprem anında zemini etkileyebilecek gerilme koşullarını dikkate alarak dinamik üç eksenli basınç deneyi yapmıştır. Yapılan bu deneylerde eksenel deviatorik basınç ve çekme uygulayarak sıvılaşma modellenmeye çalışmıştır. Bu durum, asal gerilme düzleminde kayma gerilmelerinin olmadığı düz arazi koşullarını temsil etmektedir. Rölatif sıklığın, çevre basıncının, çevrimsel yükleme genliğinin ve çevrim sayısının kumun sıvılaşma direncine olan etkisini araştırmıştır. Deneylerde yük çevrim sayısının arttıkça, deformasyonlarda ani bir artış ve boşluk suyu basınçlarında da uygulanan çevre gerilmesine ulaşabilecek büyüklükte artışlar meydana geldiğini gözlemiş ve kumda başlangıç sıvılaşması olarak adlandırılan olayın meydana geldiği sonucuna varmıştır.

Seed vd. (1971, 1982, 1983, 1985, 1986), sıvılaşma kavramını açıklayarak sıvılaşma analizlerinin yapılmasına yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir. Arazi deneyleri ile sıvılaşma potansiyelini değerlendirmişlerdir.

Erken vd. (1985), yaptıkları çalışmada, büyüklüğü 6.8 olan 13 Mart 1992 Erzincan depremi sırasında, Erzincan ovasında yer alan Ekşisu bölgesinde suya doymun, killi, siltli zemin tabakalarının sıvılaştığını gözlemlemiş, bu bölgedeki zemin koşullarını ve sıvılaşma potansiyelini belirlemek için sıvılaşma alanı ve çevresinde ayrıntılı bir geoteknik araştırma yapmışlardır. İncelenen alanda SPT

ve CPT (Koni penetrasyon deneyi) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca incelenen alandan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak, laboratuvar deneyleriyle zeminin indeks özellikleri, hareketli yükler altında şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncını incelenmişlerdir. Yapılan arazi araştırmaları ve sondajlar sonucunda zeminin gevşek siltli kum birimi, yumuşak siltli, killi ve organik birimlerden oluştuğunu belirlemişlerdir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda ise yeterli bir seviyede tekrarlı kayma gerilmelerinin uygulanması durumunda zeminin sıvılaşmasına neden olacak boşluk suyu basınçlarının oluşabileceği gözlenmiştir.

Kramer (1996), suya doygun kohezyonsuz zeminlerin drenajsız koşullarda statik, geçici veya kalıcı tekrarlı yüklemelerin etkisi altında oluşan birtakım zemin deformasyonlarını ifade etmek için sıvılaşma terimini kullanmıştır.

Ishihara (1996), zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirleyebilmek amacıyla kumlu zeminlerde tekrarlı üç eksenli deneyler yaparak, zeminlere aksenal gerilme uygulandıkça boşluk suyu basıncında artış meydana geldiğini gözlemlemiştir.

Çelik (2003), Denizli ili yerleşim alanları zeminlerini, jeolojik ve jeoteknik açıdan incelemiş, bölgede meydana gelebilecek bir depremde zeminlerin sıvılaşma duyarlılığını belirlemiştir.

Erken vd. (2003), yaptıkları çalışmada, Türkiye’de ve dünyada son dönemlerde oluşan büyük depremlerin oluşturdukları hasarın azaltılması yönünde zeminlerin deprem etkisindeki hareketlerinin net bir şekilde ortaya konulması gerektiğini vurgulamıştır. Son oluşan depremlerde de düşük plastisiteli siltler ile kumlu zeminler çoğunlukla sıvılaşmış ve killi zeminlerin ise taşıma gücü kaybına uğradıkları göstermişlerdir. Bu sebepten ötürü çalışmalarında öncelikle kum, silt ve killerin deprem etkisinde nasıl davranış göstereceği üzerinde durmuşlar ve düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin yapılması hususunda bilgiler sunmuşlardır ve plastik silt ve killerin deprem yükleri altında taşıma gücünün neden etkilendiği açıklamışlardır.

Atak vd. (2005), 1999 Kocaeli depremi öncesine ve sonrasına ait hava fotoğraflarını kullanarak Sakarya ili şehir merkezinde ve çevresinde oluşan zemin sıvılaşması ve faydan ötürü oluşan yer değişikliklerini tespit etmişlerdir.

Ayrıca farklı tarihlerde alınmış hava fotoğrafları kullanılarak, İstanbul ili Avcılar ilçesinde ve Denizli ili Babadağ ilçesinde, zeminde oluşan yer değişikliklerinin yönleri ve büyüklüklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak da gerekli miktarda ölçüm yapıldığı zaman hassas sonuçların elde edilebileceğini, araştırılan bölgenin tümünü temsil eden sağlıklı yaklaşımlar verebileceğini belirtmişlerdir.

Karanlık (2006), Hatay, Samandağ, Altinköy ve çevresinin zemin sıvılaşma potansiyelini, bölgeye ait Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. SPT sonuçları, sıvılaşma potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan yer ivmesi, derinlik – Standart Penetrasyon deneyi değerleri arasındaki ilişkilerini abaklar yardımıyla değerlendirmiştir. Ayrıca, incelenen bölgeye ait granülometrik analiz sonuçları önceden oluşan depremler sonucu, sıvılaşan zeminlerdeki bilinen granülometri eğri aralıklarıyla karşılaştırmıştır. Sıvılaşma potansiyeline ilişkin elde edilen veriler, çalışma alanının önemli oranda sıvılaşma riski taşıdığını göstermiştir.

Şaylan (2006), Erzincan İli ve çevresinin zemin sıvılaşma potansiyelini, bölgeye ait Kayma Dalga Hızı (Vs) verilerini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışmasında

Erzincan ilinde bazı bölgelerin Vs haritalarını çıkarmış, zeminlerin tabaka kalınlıklarını hesaplanmış, poisson oranı haritasını çizmiş ve sıvılaşma potansiyelinin durumunu ortaya koymuştur. Sonuçlara göre çalışma yapılan bölgelerde yüksek oranda sıvılaşma riski olduğu belirlenmiştir.

Tonaroğlu (2006), zeminlerde sıvılaşmaya yol açan etkenlere ve mekanizmalara açıklık getirmek amacı ile bir seri sayısal analiz gerçekleştirmiştir. Sayısal analizlerde LASS III bilgisayar yazılımını kullanmış, nümerik modelde zemin davranışını modelleyen malzeme parametrelerinin değerlerini parametrik çalışmalar ile belirledikten sonra, sıvılaşmayı etkilediği bilinen faktörlerden en önemlilerinin değişken değerleri ile arazi davranış analizlerini gerçekleştirmiştir. Nümerik analizlerde 20 m kalınlığında üniform bir kum tabakasının davranışını, 1999 Kocaeli depremi Arçelik kaydı taban kayasında etkileyen bir yer hareketi olarak incelemiştir.

Yılmaz (2006), değişik gradasyonlu kumların, devirsel üç eksenli deneyden elde edilen sıvılaşma dirençleri ile geleneksel direkt kesme deney bulguları ve hidrolik iletkenlik deney bulgularının ilişkilendirilebilirliğini araştırmıştır. Çalışma için Paşabahçe silis kumunun değişik gradasyonlu ve değişik ince malzeme içerikli numuneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan numunelerin devirsel yükler altındaki sıvılaşma direnci devirsel üç eksenli deney düzeneğinde, gerilme kontrollü olarak elde edilmiştir. Devirsel üç eksenli deney numuneleri üzerinden aynı zamanda numunelerin hidrolik iletkenliği de belirlenmiştir. Özdeş numunelerin mukavemet karakteristikleri ise geleneksel direkt kesme deney düzeneğinde, deformasyon kontrollü olarak elde edilmiştir. Numunelerin 10 çevrim sonunda, boşluk basıncı oranının 0,95 değerine ulaşması için gereken devirsel gerilme oranı (DGO) ile gradasyon karakteristikleri, maksimum ve rezidüel içsel sürtünme açıları ve hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Şişman (2006), Birinci derece deprem bölgesinde olan Muğla ili, Fethiye ilçesi yerleşim alanında, senaryo bir deprem neticesinde sıvılaşma potansiyelini araştırmıştır. İnceleme alanında Standart Penetrasyon Testi darbe sayıları ve kayma dalga hızı ölçülerek sıvılaşma analizi yapılmış, sıvılaşma şiddetine göre sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır.

Taylan vd. (2007), 1999 depremi sonrasında Adapazarı ve çevresindeki gözlenen oturma, dönme, ötelenme ve göçme gibi hasarlara örnek olacak şekilde vaka analizi gerçekleştirmişlerdir. Depremın odak noktasına 35 km uzaklıktaki Adapazarı Erenler Bölgesi içerisinde olan konut alanındaki zemin koşullarının deprem etkisi altındaki davranışlarını incelenmişler, bölgede yapılan arazi deneyleri ve sondajlar verileri kullanılarak zemin koşulları belirlemişler ve sıvılaşmanın etkisini analizlerle ortaya koymuşlardır. Sonuçları inceleyerek, yapılan çalışmalarla ve deprem sonrası gözlemlenen gerçek değerlerle kıyaslayarak bölgedeki zeminin sıvılaşma potansiyelini ve taşıma gücü problemlerini açıklamışlardır.

Toprak ve Jinguuji (2007), yaptıkları çalışmada sıvılaşma tahminlerinde kullanılabilir yeni bir arazi testi ve yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Konik vibrasyon penetrasyon testi (VPT) olarak adlandırdıkları bu deney esnasında konik VPT aleti arzu edilen derinliklere batırılmakta ve vibrasyon

uygulanmaktadır. Bu sırada ivme, boşluk suyu basıncı ve elektrik özdirenci ölçülmektedir. Cihazın geliştirilmesi, kalibrasyonu ve arazide doğrulama çalışmaları için bu cihazın prototip modeli ile Japonya'da laboratuvar deneyleri, gerçek ölçütlerdeki alet ile de Adapazarı kıyısında, Antalya'da ve İzmit Körfezi civarında arazi deneyleri gerçekleştirilmişlerdir. Deney alanında, zeminin özelliklerinin tespitinde ve VPT deneyleri ile kıyaslamak için CPT ve SPT deneyleri de yapılmıştır.

Ulamış (2007), Ankara kenti batısında Ankara ve Ova çayları tarafından depolanan Kuvaterner yaşlı alüvyon, Üst Pliyosen yaşlı gölsel çökeller ve Miyosen yaşlı killerin jeolojik, jeoteknik ve jeofizik özelliklerini inceleyerek, zeminlerin olası depremdeki dinamik tepkilerini araştırmıştır.

Güngör (2007), İzmir-Mavişehir kuzey üst bölgesi için sıvılaşma analizi yapmıştır. SPT, CPT, sismik kırılma, elektrik özdirenç, mikrotremor vasıtasıyla elde edilen ham veriler ve bölgeden alınan örnekler üzerindeki çeşitli laboratuvar deneyleri ışığında geoteknik zemin profilleri oluşturmuş, analizleri bu zemin kesitleri için yapmıştır.

Koç (2007), Gölcük ve çevresinin deprem kaynaklı sıvılaşma potansiyelini değerlendirmiştir. Kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşma potansiyeli analizleri için Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen Standart Sıvılaşma Yöntemi uygulanmıştır. Sıvılaşma analizleri, Standart Sıvılaşma Analiz yöntemini esas alan LiquefyPro (CivilTech 2002) yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri sonuçları ArcGIS ortamına aktarılmış, Gölcük için sıvılaşma potansiyeli haritası hazırlanmıştır.

Sağlam (2008), Manisa İli Saruhanlı ilçesi için (CPT) verileri ile sıvılaşma analizi yapılmış, sıvılaşma şiddeti indeksine göre sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır.

Yalçın vd. (2008), Aksaray İli şehir merkezi için (SPT) verilerini kullanarak sıvılaşma analizi yapmış, çalışma alanı için sıvılaşma şiddet haritalarını hazırlamışlardır.

Sen ve Akyol (2010), kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Sıvılaşma analizleri için (CPT) arazi deneyi sonuçlarından yararlanmışlardır.

Orhan ve Ateş (2011), yaptıkları çalışmada Manisa'da, alüvyonel zeminlerin sıvılaşma sonucu oluşan taşıma gücü kayıplarını belirlemişlerdir. İlçenin 33 km güneyinde ve 150 km uzunluğundaki "Gediz Grabeni Fay Zonu'nun, inceleme alanını etkileyebileceği varsaymışlardır. Bu fayın, muhtemel bir depremde 1/3'nün kırılacağı tahmin edilerek, büyüklüğü 7.1 olan bir depremde, en büyük yatay deprem ivmesinin 0.28g olarak oluşabileceği hesaplanmışlardır ve sıvılaşma risk haritası hazırlamışlardır. Yüksek riskli bölgelerden alınan numuneler laboratuvarında arazi koşullarına hale getirilerek (arazide maruz kaldıkları efektif jeolojik yüke eşit oranda konsolide edilerek) deprem yükleri gibi devirsel yükleri sinüzoidal olarak uygulanmışlardır.

Tosun vd. (2011), Eskişehir ili şehir merkezi için Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak sıvılaşma analizi yapmış, çalışma alanı için sıvılaşma potansiyel haritalarını hazırlamışlardır.

Dixit (2012), Standart Penetrasyon Testine (SPT) dayanan basitleştirilmiş prosedürü kullanarak, Mumbai şehir merkezi için sıvılaşma indekslerini belirlemiş ve sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda inceleme alanı içerisinde birçok yerde sıvılaşma gözlenmiştir.

### 3 ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE YÖNTEM

Bu bölümde inceleme alanında yapılan arazi çalışmaları, inceleme alanın jeolojisi, bölgenin tektonizması, kullanılan sınıvlaşma programı ve sınıvlaşma oluşabilecek lokasyonların tespiti hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1 İnceleme Alanının Tanıtılması

##### 3.1.1 İnceleme Alanının Coğrafi Konum ve Özellikleri

İncelemenin yapıldığı yer olan Edirne ili;  $40^{\circ} 30''$  ve  $42^{\circ} 00''$  kuzey enlemleri ile  $26^{\circ} 00''$  ve  $27^{\circ} 00''$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Doğusunda Kırklareli, Tekirdağ ve Çanakkale, batısında Yunanistan, kuzeybatısında Bulgaristan, güneyinde ise Ege Denizi yer alır. Yüzölçümü  $6276 \text{ km}^2$  ve deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 41 metredir.(Bkz. Şekil 3.1)



Şekil 3.1: Edirne ve Çevresi

Edirne ili, Trakya yarımadasında; kuzeyde Istranca Dağları, güneyinde Kuru Dağları ve Ege Denizi-Saros Körfezi, batısında Meriç Nehri ve Meriç Ovası, doğusunda da Ergene Ovasını içine almakta olup, topraklarının %80'i tarıma elverişlidir.

Türkiye'nin batı sınırında yer alan ilin Bulgaristan'la 88 km'lik bir sınırı vardır. Bulgaristan'la olan sınır, Kırklareli başlayarak, Tunca Irmağı'nı kesip, güneybatı yönünde devam ederek Meriç Irmağı'nda son bulur. Burada, Türkiye,Bulgaristan ve Yunanistan sınırları birleşmektedir. Meriç Irmağı, Edirne ilinin Yunanistan'la sınırını çizmektedir. Irmağın doğu tarafı Edirne, batı tarafı ise Yunanistan'dır. Edirne-Yunanistan'ın sınır uzunluğu 204 km'dir. Bu sınır Enez'de son bulmaktadır.

Edirne, Akdeniz ikliminin ve Orta Avrupa'ya özgü kara ikliminin etkisindeki geçiş bölgesidir. Bölge Karadeniz, Ege ve Marmara denizlerin de etkileriyle farklı iklim özellikleri gösterir. İlin bitkisel üretimin fazla olduğu Ergene Havzası'nda ise sert kara iklimi hakimdir. Bunun başlıca sebebi ise çevresinin dağlarla sınırlı olması ve bu yöreye denizlerden yumuşatıcı etkilere sahip havanın ulaşamamasıdır.

Yıllık ortalama sıcaklık 13,4 °C, en yüksek sıcaklık 41,5 °C Temmuz ayında, en düşük sıcaklık -22,2 °C Ocak ayında gerçekleşmiştir. Yıllık ortalama yağış miktarı 585,9 mm ve yıllık ortalama nispi nem % 70'dir.

### **3.1.2 Bölgenin Jeolojisi**

Trakya Genel Jeoloji Kesiti (Güneybatı-Kuzeydoğu) Şekil 2.2-2.3'de verilmektedir. Yörenin genel jeolojik yapısını Tersiyer Kuvaterner yaşlı birimler oluşturmaktadır. Yaşlıdan gence doğru şöyle sıralanırlar;

Tersiyere ait Oligosen devrini Yenimuhacir Formasyonu, Üst Oligosen devrine ait Danişment Formasyonu, Pliyosene ait Ergene Formasyonu ve Kuvaternere ait Genç Çökeller yani Alüvyonlar oluşturmaktadır.

Yenimuhacir Formasyonu: Keşan İlçesi'nin Kuzey kesiminde Yenimuhacir Köyü yakınlarında yüzlek verirler. Genellikle ince tanelilerden (kil, silt, az kum taşı) oluşmuş sarı-kızıl kahve renktedir. Yer yer karbonatlı seviyelere rastlanır. Kil ağırlıklı olduğundan yörede yapılan su yapılarında (baraj, gölet vs.)



geçirimsiz doğal yapı gereci olarak kullanılmaktadır. Ayrıca inşaat sektöründe tuğla-kiremit ham maddesi olarak kullanılmakta olup, formasyonun kalınlığı yaklaşık 600 m'dir.

Danişment Formasyonu: Yenimuhacir Formasyonu üzerinde geçişli olarak yer almaktadır. Kil- silt- kum ve çakıllı olan birim içerisinde, yer yer linyit oluşumlarına rastlanılmaktadır. Yer altı suyu bakımından zayıf akifer olarak bilinen bu formasyonun kalınlığı 300- 600 metre arasında değişmektedir.

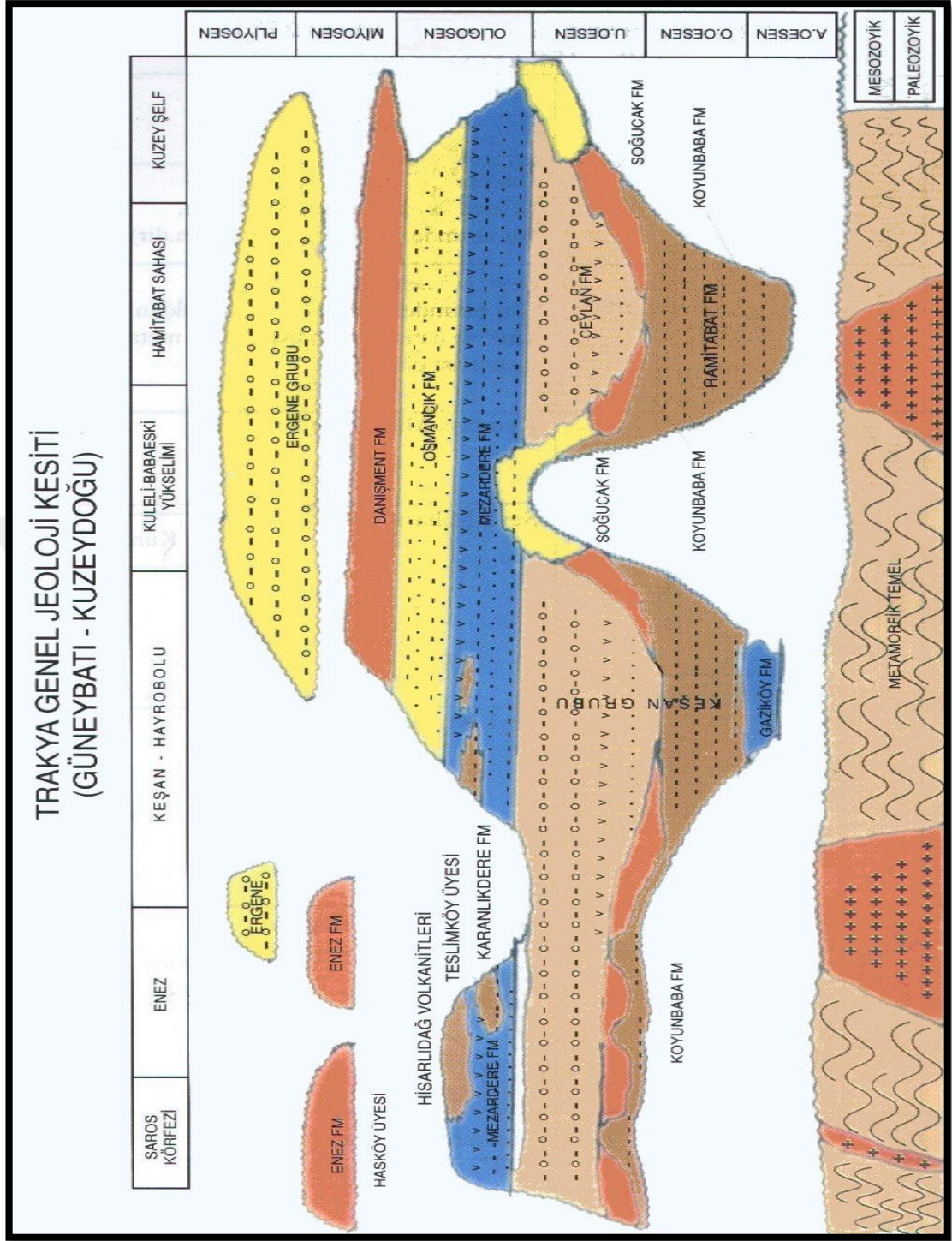
Süloğlu Üyesi: Sarı, kahve renkli kum taşı, kil taşı, silt taşı ile yer yer kömür bantlarından oluşan birim Danişment Formasyonunun üyesi olarak kabul edilmiştir.

Ergene Formasyonu: Bu formasyon siltli, kumlu, çakıllı yer yer killi birimlerden oluşmaktadır. Formasyonun kalınlığı 100-500 metre arasında değişken olup, yapısı itibariyle Trakya'nın akifer özelliğindeki en önemli yer altı suyu bulunduran birimidir.

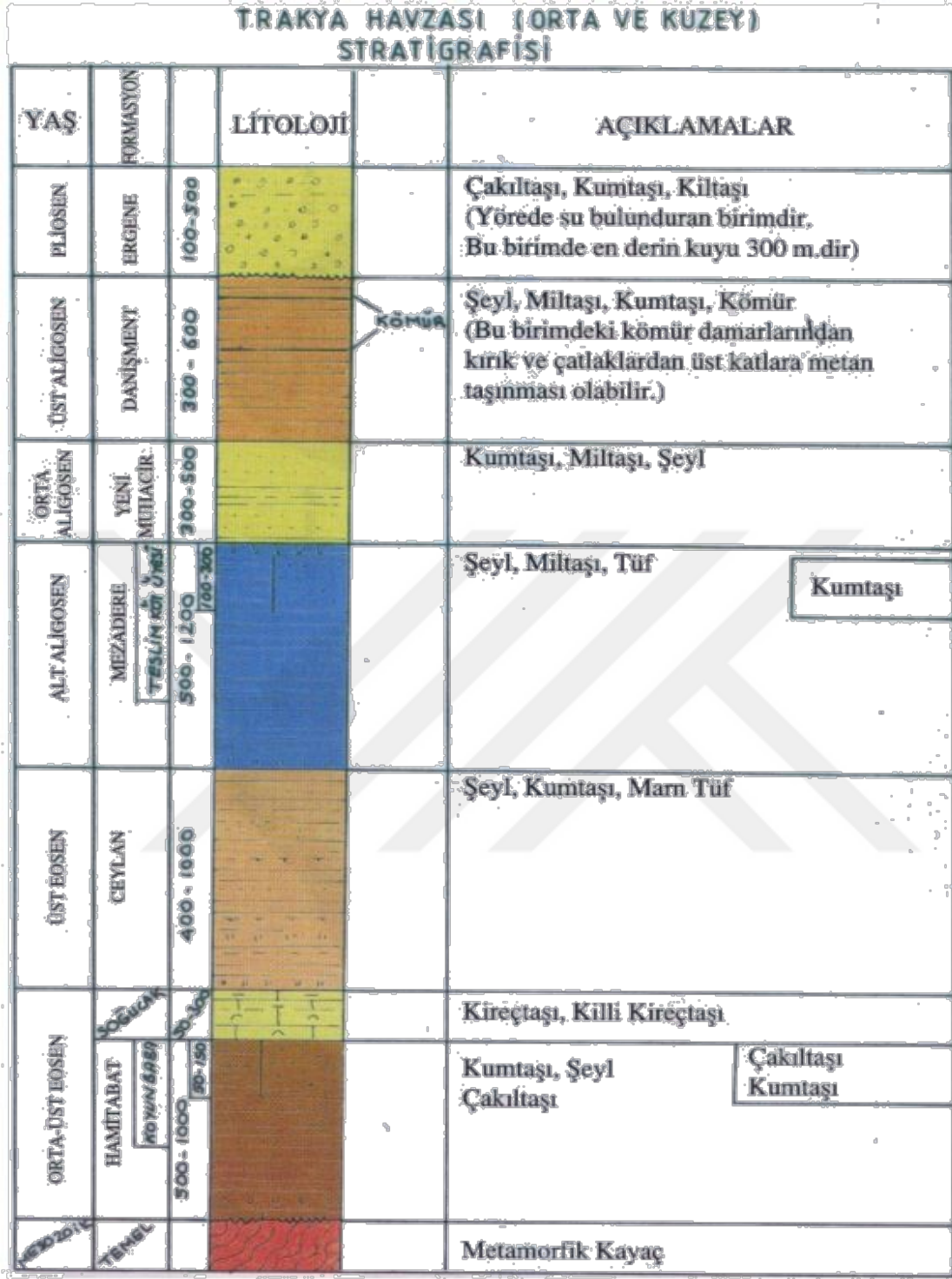
Alüvyon: Trakya yöresinde vadilerde oluşmuş genç çökeller olup, kalınlıkları akarsu yatağının konumuna bağlı olarak değişir. 2 - 20 metre arasında kalınlık arz eden alüvyonlarda killi, siltli kum ve çakıl birimleri gözlenir.

Çalışma alanında ise hâkim olan litoloji bölgenin jeolojisi haritasından da görüldüğü üzere güncel çökel olan Qal ve Pliyosen yaşlı Ergene formasyonu olmasından dolayı SPT yöntemiyle sınıflama analizine uygundur.





**Şekil 3.3:** Trakya Bölgesinin Genel Jeolojik Kesiti (DSİ, XI. Bölge Müdürlüğü.1996)



Şekil 3.4: Trakya Bölgesinin Genel Stratigrafik Kesiti (MTA Genel Md. 2011)

### 3.1.3 Bölgesel Tektonik

Türkiye Anadolu levhası üzerinde olup, Arap, Avrasya ve Afrika levha hareketlerinin etkisindedir. Arap ve Afrika levhaları Avrasya levhasına göre kuzey yönünde sırasıyla 25mm/yıl ve 10mm/yıl hızla ilerlemektedir. Anadolu levhasını ile Arap levhasını ayıran sistem Doğu Anadolu Fayıdır. (DAF) Avrasya levhasının hareketi Anadolu levhasına göre doğuya doğrudur.

Trakya Bölgesinin Kuzeyinde, genel anlamda masifin yapısını normal fay sistemleri belirlemektedir (Çağlayan vd. 1988, 1992). Birbirine dik yönde uzanan bu fay sistemlerinden ilki ve en etkili olanı, Bulgaristan sınırından başlayıp Çatalcadan Marmara denizine kadar uzanan, KB – GD uzanımlı normal faylardır. İkinci sistem ise, bu faylara dik gelişmiş, onları kesen ve öteleyen KD – GB yönlü faylardır.

KB – GD uzanımlı normal faylar; Bulgaristan sınırından başlayıp, Çatalca dolaylarına kadar masifi yaklaşık boydan boya kat eden basamak fay niteliğinde, birbirine paralel beş uzanım gösteren fay demeti şeklinde, Paleozoik temelin parçalanmasına ve denizin kuzey – kuzeydoğuya doğru derinleşmesine neden olmuştur. Bu fayların doğrultu bileşenleri çalışmacılarca arazide saptanamamıştır. Ancak kinematik açıdan, ikinci fay sistemi olan KD – GB uzanımlı doğrultu atımlı fayların hareketinin doğal sonucu olarak ötelenmeleri ve sağ yönlü doğrultu bileşenlerinin gelişmesi beklenmektedir. KB – GD uzanımlı normal fayların en önemlisi, Sergen fayıdır. Bulgaristan sınırları içerisinde başlayıp Malkoçlar köyü civarlarında Türkiye sınırları içerisine giren fay Kocayazı köyü kuzeyinde izini kaybettirir ve yer yer küçük parçalar halinde izlenerek kapaklı dolaylarında tekrar ortaya çıkar. Kömürköy civarlarında ise Tersiyer birimleri altında kaybolur. Sınırdan Kömürköye kadar 66,6 km. uzunluğunda olan fay normal fay olup doğrultu bileşeni çalışmacılarca saptanamamıştır. Sergen fayı Istanca masifini stratigrafik, yapısal ve morfolojik olarak iki bölüme ayırmaktadır.

Sergen fayının yaklaşık 8 km. güney batısında, Devletliğaç, Koruköy arasında Sergen fayına paralel ikinci bir fay demeti uzanmaktadır. Yer yer kesilip

ötelenen fay demeti, Erikler – Koruköy arasında yüksek açılı bindirme karakteri kazanır.

Bu iki faya koşut ve Sergen fayı kuzeyinde masifi biçimlendiren üç uzanımına daha rastlanır. Masifin en güneyinde ise Çatalca dolaylarında birbirine paralel uzanan iki fay yer alır. Bu faylardan kuzeyde yer alanı, Büyükçekmece Gölünün gelişmesini yönlendirmiş ve kontrol etmiştir.

Masifi etkileyen ikinci fay sistemi ise, KB – GD uzanımlı basamak fay sistemine dik, KD – GB uzanımlı faylardır. Masifin bugünkü şeklini almasına neden olan ve gerek Karadeniz'in şekillenmesinin öncülüğünü yapan, gerekse Trakya havzasının gelişimini sağlayan faylardır. (Çağlayan vd., 1988 – 1992; Çağlayan 1996). Bu faylardan en önemlileri Işıranca masifini kesen Kırklareli fayı (Çağlayan ve diğ. 1988; 1992) ve Çatalca fayıdır. (Karagjuleva vd., 1980; Çağlayan, 1966). Kırklareli fayı Bulgaristan sınırından başlar Kırklareli'nde Tersiyer kayaları altında kaybolur. Arazide tek bir çizgi şeklinde değil, Kulaköy, Erikler köyü doğusu, Dereköy ve Kadıköy arasında kalan alana yayılmış bir fay demeti şeklindedir. Sürekli kesilme ve atlamalar gösterir. Sünek fay karakterindedir. Bu fay demetinde egemen olan atım sağ yönlüdür.

KD – GB uzanımlı normal fay sisteminin en önemli ikinci fayı Çatalca masifini Işıranca masifinden koparıp güneybatıya öteleyen Çatalca fayıdır. Karadeniz ile Trakya havzasını bağlayan kanalları doğuran Çatalca fayı ve buna paralel uzanan faylar Karadenizin ve Trakya havzasının genel anlamda şekillenmesine neden olmuştur.

Jura'da, sağ yönlü doğrultu atımlı faylar olan KD – GB uzanımlı, Doğu Trakya ve Çatalca fayları arasında kalan alanlarda sol yönlü rotasyonel hareketler de gözlenmiştir. Sağ yönlü bu kuvvet çifti sonucu Işıranca masifinin batı ve güneybatı kesiminde temele ait birimler kuzeydoğuya, masifin doğu kesiminde yer alan örtü kayaları ise güneybatıya doğru bindirmiştir.

İnceleme alanına en yakın aktif sismik kaynak yaklaşık GD'dan Marmara Denizi içerisinden geçen Kuzey Anadolu Fay Hattıdır. Deprem risk analizi çalışmalarında incelenen bölgenin tektonik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bilindiği gibi Kuzey Anadolu Fay zonu ülkemizin en aktif fay zonudur.

Uzunluğu 1000 km yi geçmekte olup, doğrultu atımlı ve sağ yönlüdür. ( Ketin 1976 )

KAF plaka tektoniği modeline göre Anadolu ve Karadeniz plakalarının arasındaki sınırı belirlemektedir. KAF Bolu'nun batısından itibaren kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayrılır. Güney kolu Doburcun – Geyve – Gemlik zerinden Bandırmaya kadar uzanır. Kuzey kolu ise, Adapazarı – Sapanca Gölü zerinden İzmit Körfezine uzanır. Bu kuzey kol Yalova'dan itibaren batıya doğru Marmara Denizinin derin çukurluklarını takip ederek Gelibolu Yarımadası kuzeyinden Saros Körfezine ulaşır.

Marmara Denizinin kuzey yarısında yer alan yaklaşık 1200 m derinlikteki  çukurluk Kuzey Anadolu Fayının kuzey kolunun İzmit Körfezi ve Gaziköy – Saros körfezi arasındaki büyük bir pull – Apart yapının parçaları olarak açılmaktadır (Barka 1981 ).

Avrasya ve Afrika levhalarının kuzey – güney yönlü yaklaşması Oligosen ve Erken Miyosen de sürmektedir. Levhaların bu yaklaşımı Eosen ve Oligosen yaştaki kayaçların yayvan bir şekilde kıvrımlanmasına yol açmıştır. Orta Miyosende Anadolu Levhasının Batıya hareketi sonucu Kuzey Anadolu Fayının batı uzantılarından birisi Saros Körfezi – Gaziköy arasında gelişmiştir. Bu gelişen fayın Anadolu Levhasını batıya doğru hareket ettirmesi sırasında yörede doğu – batı yönlü havzalar gelişmiştir (şentürk ve Karaköse, 1987).

st Pliyosende Gelibolu ilçesi ve Marmara Denizini de kapsayarak Karadenize uzanan bir i deniz gelişmiş ve bunun sonucunda denizel sekiler knelmiştir. Pleyistosen sonunda özellikle Tireniyende günümüzdeki Çanakkale Boğazu kesiminde Akdeniz – Karadeniz bağlantısı ile yörede Akdeniz kökenli sekiler gelişmiştir. Tireniyen ve Nomastriyenden sonra bölge yükselmiştir. Holosen başından başlayarak su düzeyi yükselmiş ve günümüzdeki Ege denizi ile Marmara Denizi bağlantısı gerçekleşmiştir.

Saros Körfezi ve dolayında 5 ana yapısal unsur tespit edilmiştir (Saner, 1985). (şekil 3.4)

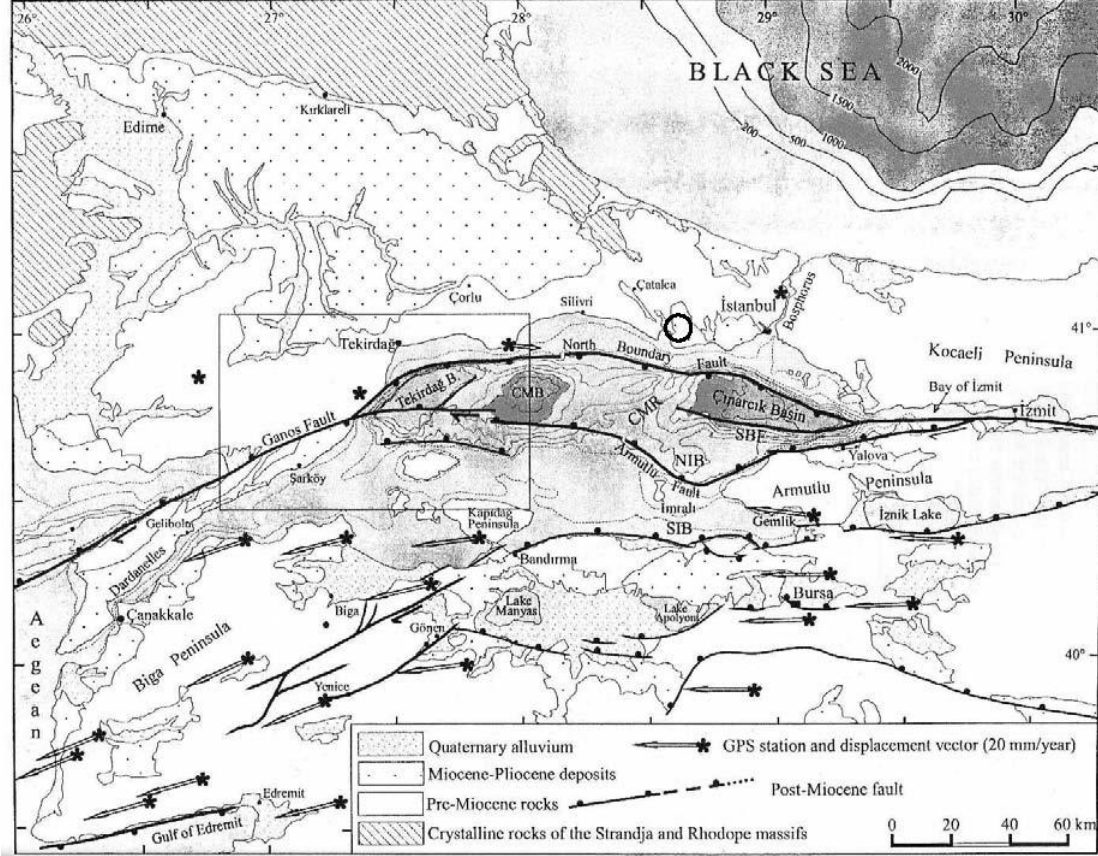
1) Hisarlıdağ Yükselimi

2) Enez Grabeni

3) Semadirek Yükselimi

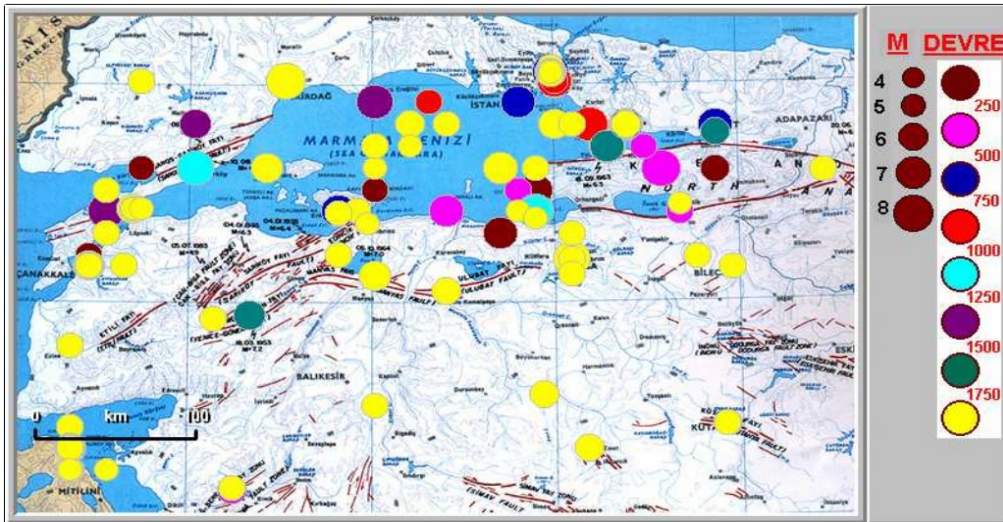
4) Saros Grabeni

5) Gelibolu Bloğu



Şekil 3.5: Marmara Bölgesi Aktif Tektonik Haritası (Okay vd., 1999)

Marmara bölgesinde oluşan depremler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Türkiye Diri Fay haritasından (Şaroğlu vd. 1992)



### 3.2 Arazi Çalışmaları

Bu tez kapsamında Edirne ili ve çevresi inceleme alanı seçilmiştir. İnceleme alanında; sondajlar, arazi deneyleri ve laboratuvar deneylerinden oluşan bir çalışma yapılmıştır. Proje sahasında farklı lokasyonlarda Merkez 17, Uzunköprü 29, İpsala 9, Keşan 11, Havsa 2, Lalapaşa 2, Meriç 2, ve Enez 5 adet olmak üzere toplam 77 sondaj çalışması yapılmış ve bu noktalara ait sıvılaştırma analizleri yapılmıştır.

İnceleme alanına ait sondaj logları Ek 1.'de, inceleme alanı içerisinde açılan sondaj kuyularını gösteren harita ise Ek 2'de verilmiştir. Sondaj çalışmaları esnasında zeminlerin yer altı su seviyeleri belirlenmiş, ayrıca zeminlerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır. Bu çalışmalar sırasında inceleme alanlarında farklı zemin türleri gözlenmiştir ve yapılan Standart penetrasyon değerleri kayıt edilmiştir.( Çizelge 3.1)

**Çizelge 3.1: SPT sayıları ve YASS seviyesi**

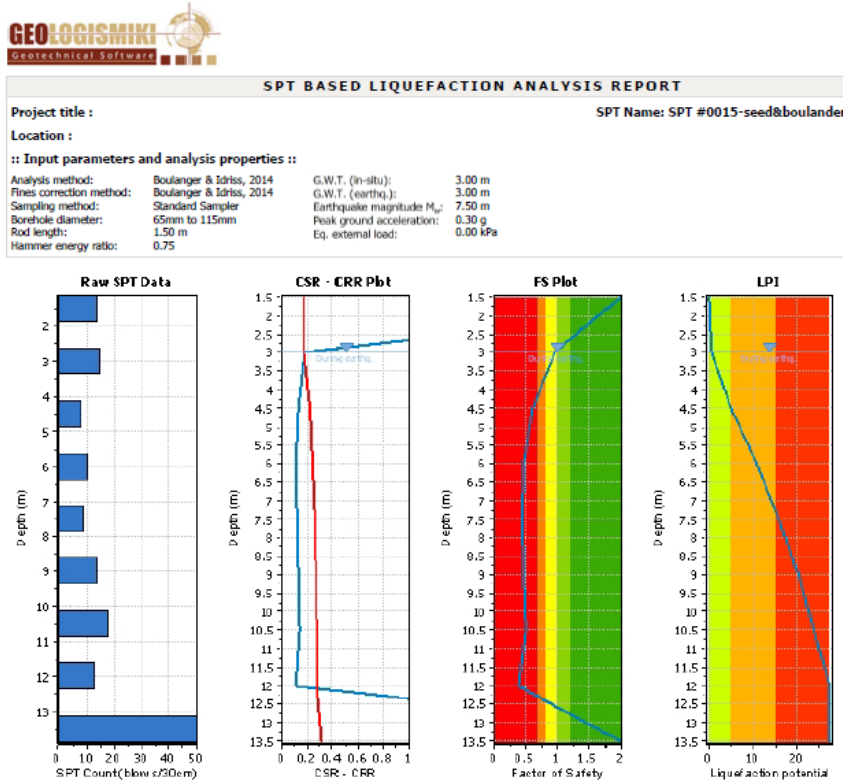
Proje No	Sondaj Kuyu No	Derinliklerdeki Spt sayısı										YASS
		1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00	
0002	SK-1	19	26	19	25	21	20	20	35	53R		8,70
0002	SK-2	14	16	21	17	22	20	23	R	R		8,70
0003	SK-1	16	15	20	20	25	9	18	56R	R		8,70
0008	SK-1	8	47	31	53R	50R	50R	35	40	50R		-
0008	SK-2	7	16	38	38	32	40	29	35	41		-
0011	SK-1	20	24	11	43	36	21	33	42	32		-
0011	SK-2	23	-	26	23	8	44	57R	45	42		-
0012	SK-1	16	30	R	R	R	R	R	R	R		-
0013	SK-1											-
0014	SK-1											-
0015	SK-1	14	15	8	10	9	14	18	13	R		3,00
0017	SK-1	24	44	43	40	R	48	R	R	R		-
0018	SK-1	17	14	6	48	44	R	R	R	R		-
0019	SK-1	R	21	R	30	82R	50R	48	43R	43		-
0020	SK-1	9	19	4	15	13	6	18	53R	36		1,80
0022	SK-1											-
0023	SK-1											-
0024	SK-1		14	28	30	36	34	67R	38	72R		-
0025	SK-1	18	44	41	28	39	43	55R	R	R		-
0026	SK-1		9	15	11	7	9	12	19	79R		6,20
0027	SK-1	5	7	16	11	21	6	13	24	16		1,70
0028	SK-1	17	20	14	33	12	41	19	13	33		2,00
0029	SK-1	17	19	26	-	33	25	R	R	R		-
0026-0030	SK-1		9	15	11	7	9	12	19	79R		6,20
0025-0031	SK-1	18	44	41	28	39	43	55R	R	R		-
0033	SK-1											-
0034	SK-1/SK-2											-
0020-0035	SK-1	9	19	4	15	13	6	18	53R	36		1,80
0037	SK-1	24	33	31	23	25	37	43	44	49		-
0038	SK-1	16	13	5	7	15	13	49	R	R		5,60
0039	SK-1	11	16	11	6	23	-	67R	R	R		3,80
0040	SK-1	31	16	30	23	20	37	R	-	22		4,50
0040	SK-2	30	20	27	20	27	44	39				4,00
0041	SK-1	17	25	15	21	27	24	26	32	R		-
0042	SK-1	15	25	28	49	R	R	R	R	R		-
0043	SK-1	23	30	31	R	R	R	R	R	R		-
0043	SK-2	33	37	R	R	R	R	R	R	R		-
0044	SK-1	25	25	37	24	25	41	45	48	51R		-
0045	SK-1	17	20	18	16	30	R	R	R	R		-
0046	SK-1											-
0047	SK-1	15	27	40	35	52R	R	R	R	R		-
0050	SK-1	35	23	28	30	46	30	R	28	43		4,00
0051	SK-1	-	40	36	41	44	49	38	R	R		-
0052	SK-1	17	26	43	21	23	56R	42	34	53R		-
0053	SK-1	18	33	32	30	18	25	R	R	R		5,80
0054	SK-1	6	10	15	R	R	31	47	R	R		5,80
0055	SK-1	-	65R	19	18	30	47	45	19	30		-
0056	SK-1	16	24	27	28	39	48	49	63R	-		-
0057	SK-1	14	11	8	3	9	5	10	12	22		3,00
0058	SK-1	-	-	28	30	36	51R	R	67R	R		6,70
0059	SK-1											-
0060	SK-1	30	60R	R	74R	59R	R	R	R	R		-
0061	SK-1											-
0062	SK-1											-
0063	SK-1											-
0064	SK-1	26	28	35	10	19	-	15	43	-		7,00
0065	SK-1	34	45	38	R	76R	30	26	26	70R		2,70
0066	SK-1											-
0067	SK-1	20	12	11	11	12	13	25	50R	-		9,00
0068	SK-1	18	17	18	21	23	29	53R	28	-		10,60
0069	SK-1	30	26	38	43	49	24	38	61R	-		6,40
0070	SK-1	30	65R	30	41	38	70R	R	-	-		-
0071	SK-1											-
0072	SK-1		8	13	16	31	R	R	R	R		-
0073	SK-1	26	21	13	22	47	R	R	R	R		4,60
0074	SK-1	30	39	73R	40	59R	63R	R	R	R		4,60
0076	SK-1		14	18	32	48	R	R	R	R		-
0078	SK-1	21	44	R	R	R	R	R	R	R		-
0079	SK-1	21	17	23	22	31	29	26	32	20		-
0081	SK-1	9	6	10	14	15	17	19	34	46		2,00
0086	SK-1	-	9	19	13	45	R	R	R	R		3,00
0087	SK-1	-	10	35	-	-	R	R	R	R		4,00
0088	SK-1											-
0090	SK-1	-	32	48	42	43	45	49	44	42		-
0093	SK-1	-	32	R	R	R	7	22	R	R		8,50
0096	SK-1	19	15	19	29	35	30	29	45	53R		-
0099	SK-1	-	25	39	56R	63R	49	31	30	R		10,00
0100	SK-1		11	11	-	35	33	38	27	R		6,00
0101	SK-1	18	17	18	21	23	29	53R	28	-		10,60
0102	SK-1	4	-	-	36	R	32	21	39	R		4,10
0103	SK-1		50	14	R	53R	54R	R	R	R	R	-
0103	SK-2		12	10	10	45	45	33	R	R	R	-
0103	SK-3		13	14	17	44	R	R	24	R	R	-
0105	SK-1		14	13	17	15	65R	R	R	R		-
0106	SK-1		12	17	15	14	21	42	60	46	55R	2,00

### 3.3 Laboratuvar Çalışmaları

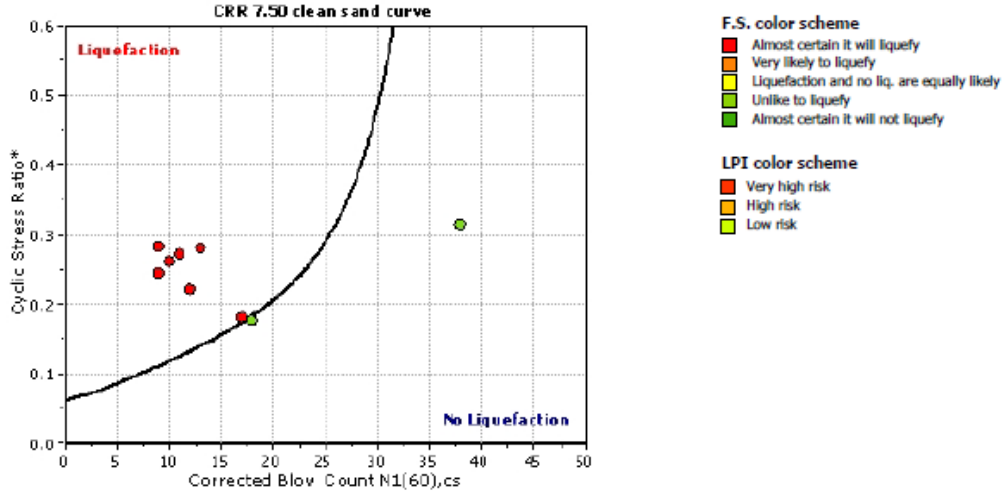
Sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde, zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla uygun deneyler yapılmıştır. Bunlar fiziksel deney olarak; doğal birim ağırlık ( $\gamma_n$ ), su muhtevası (w), plastik limit (PL), likit limit (LL) ve elek analizi, tane birim hacim ağırlık deneyleri, mekanik deney olarak ise tek eksenli basınç ya da üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

### 3.4 Sıvılaşma Potansiyel Analiz Yöntemlerinin İnceleme Alanına Uygulanması

Bu tez çalışması kapsamında sıvılaşma analizleri, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri kullanılarak yapılmıştır. SPT verileri kullanılarak Idriss ve Boulanger'ın güncelleştirdiği (2008-2010) sıvılaşma yöntemi kullanılarak inceleme alanının sıvılaşma potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Analizlerin karmaşıklığı ve de çokluğu nedeniyle bu güncelleştirmeyi baz alan LiqSVs programı kullanılarak çözümlenmiştir. Programın rapor detayları Şekil 3.7 ve 3.8 de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: LiqSVs program çıktısı



Şekil 3.8: LiqSVs program çıktısı

Edirne il ve çevresinin sıvılaşma analizleri yapılırken 2 farklı sistematik yaklaşım kullanılmıştır.

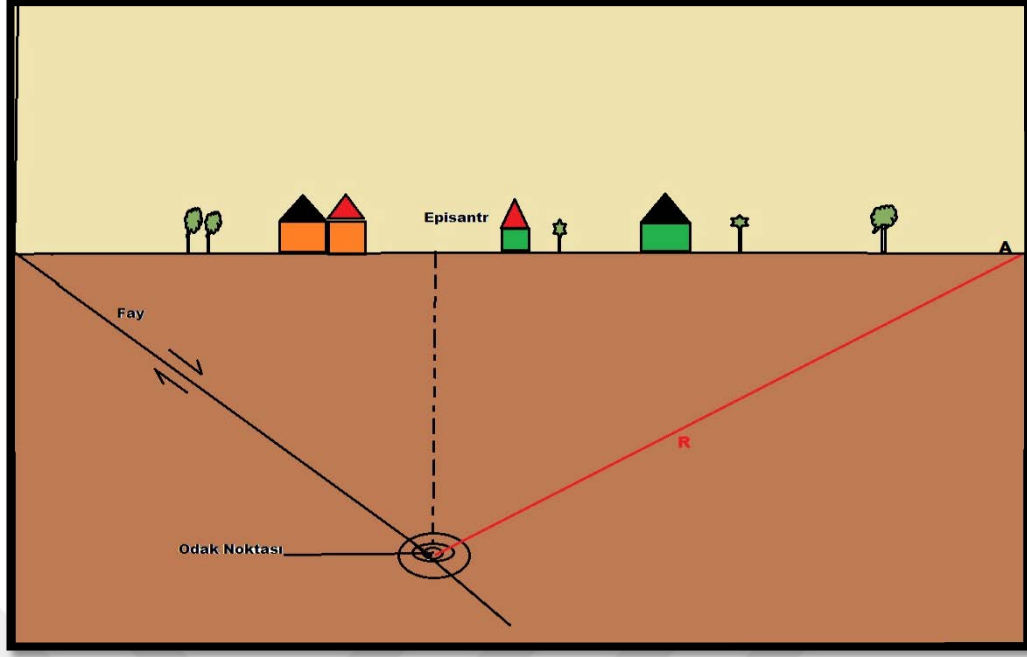
### 3.4.1 Yaklaşım-1

İnceleme bölgesi için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikçe (DBYBHY) tanımlanan etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ) ve/veya son 100 yıllık dönemde gerçekleşen depremlerden elde edilen etkin yer ivmelerinden büyük olanı esas alınarak, bölgede  $M=7,5$  olan bir deprem etkisi için sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Son yüz yıllık deprem kayıtlarını ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün deprem sorgulama sisteminden elde edilmiştir. Bu kayıtlar Ek-2'de verilmiştir. Bu kayıtların yardımıyla etkin maksimum yer ivmesi Seed ve Idriss (1971), Aydan vd., (1996) önerisi ile (3.1) bağıntısı yardımıyla belirlenmiştir.

$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} \times e^{-0.025R} - 1) \quad (3.1)$$

M: Depremin büyüklüğü

R: Depremin odağından olan uzaklık (Şekil 3.9)



**Şekil 3.9:** A noktasının odak noktasına olan uzaklığı.(R)

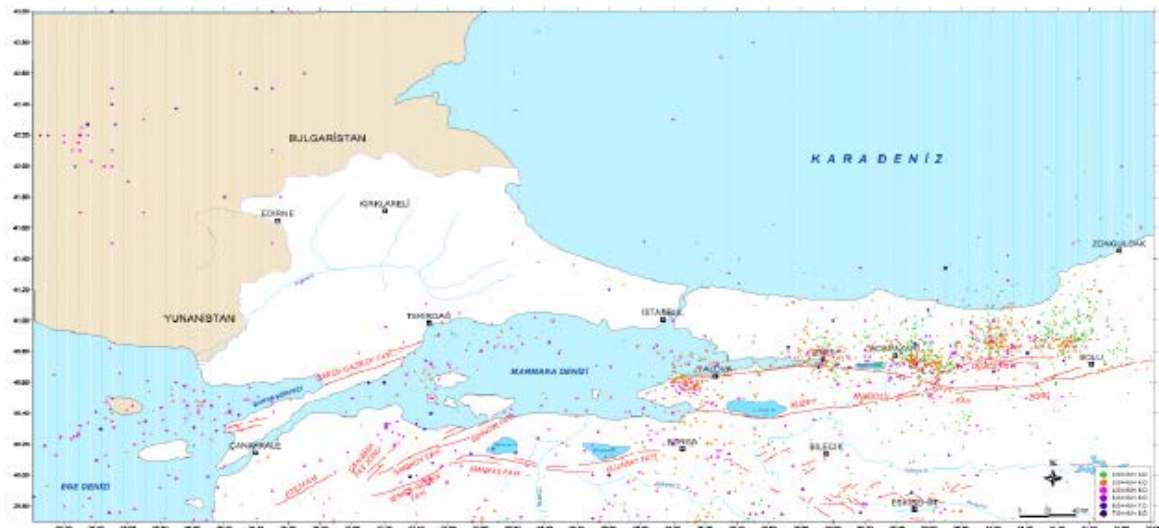
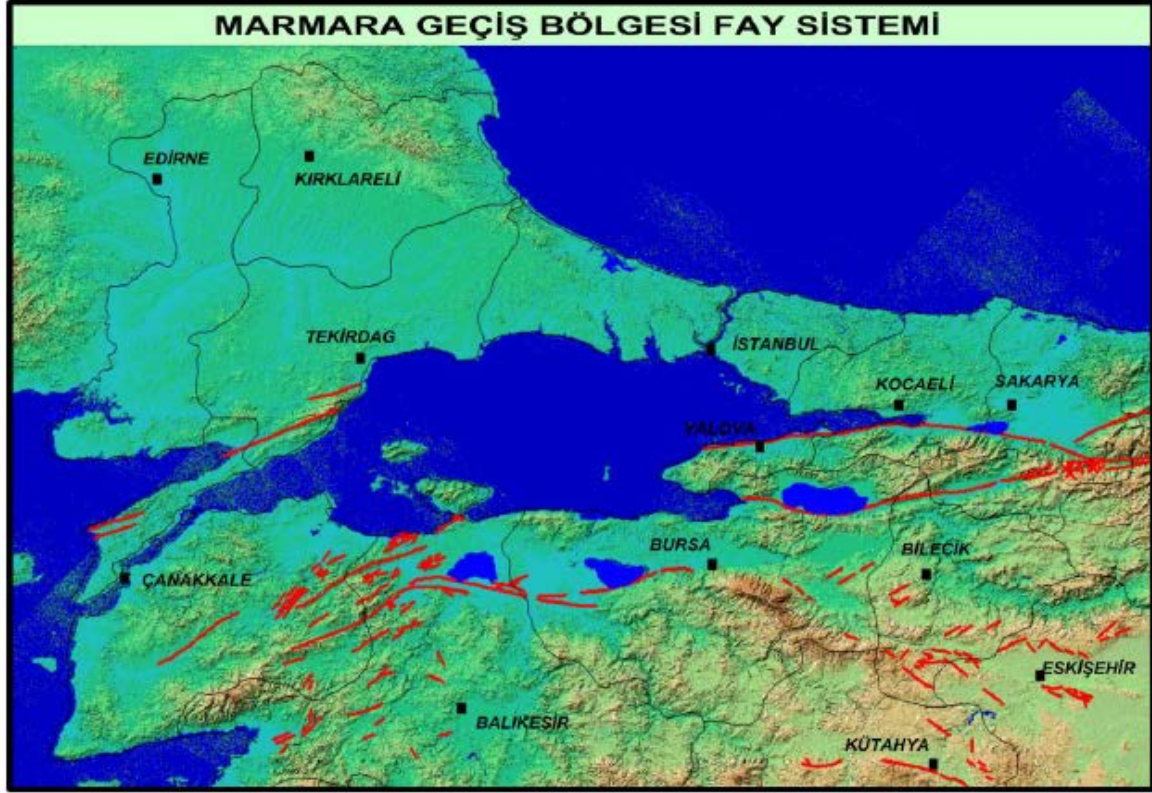
Hesaplamalar sonucunda Edirne merkez ve ilçelerindeki maksimum yer ivmeleri ve deprem şartnamesinde belirtilen  $A_0$  değerleri ve son yüz yıl içerisinde meydana gelmiş olan depremlerden hesaplanan  $a_{maks}$  değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Kullanılan  $A_0$  değerleri ise koyu renkle gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Edirne Merkez ve ilçelerindeki  $A_0$  ve  $a_{maks}$  değerleri

İlçeler	$A_0$	$a_{maks}$
Uzunköprü	0.10	<b><u>0.21</u></b>
Merkez	0.10	<b><u>0.15</u></b>
Keşan	0.30	<b><u>0.42</u></b>
Enez	<b><u>0.30</u></b>	0.16
Havsa	0.10	0.10
Meriç	0.10	<b><u>0.20</u></b>
Lalapaşa	0.10	<b><u>0.15</u></b>
İpsala	0.20	<b><u>0.28</u></b>

### 3.4.2 Yaklaşım-2

Bölgede halen aktif halde bulunan KAF'nın uzantısı durumunda olan Saros-Gaziköy fayı Gelibolu yarımadasının doğusunda, Gaziköy-Saros körfezi arasında, yaklaşık 45 km uzunlukta K64D gidişli faydır.( Kamil ve Şentürk 1983, Şaroğlu vd. 1987)(Bkz. Şekil 3.10)

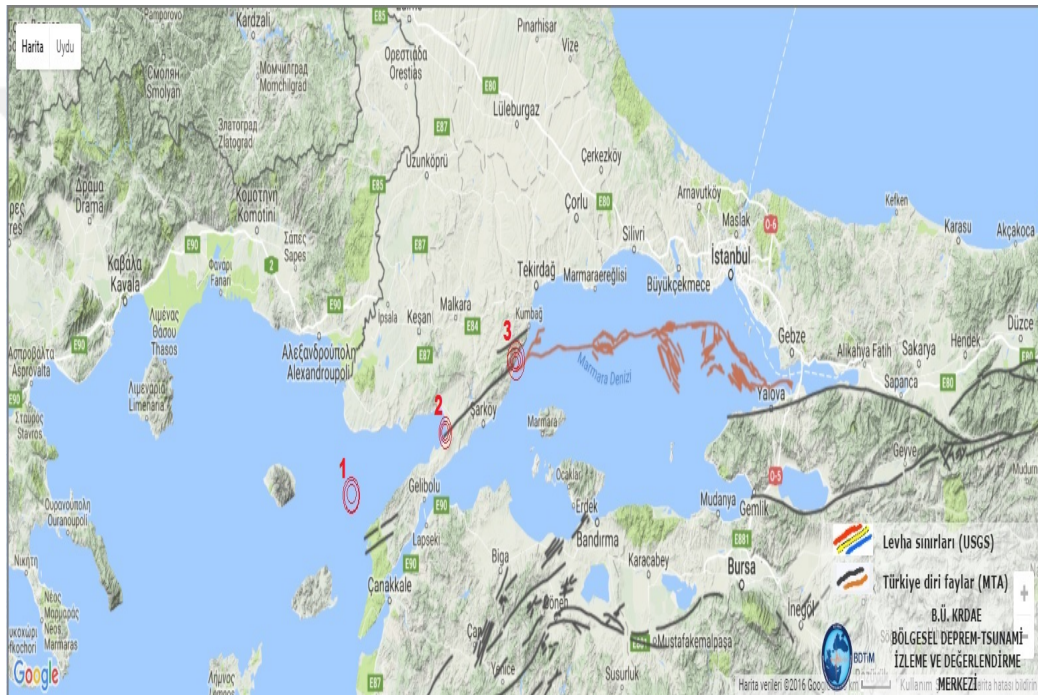


Şekil 3.10: Marmara Bölgesi Diri Fay Sistemi Haritası( Demirtaş R. 2000)

Bu fay sistemi tarihte bazı depremler üretmiştir. Bunlar :

08.11.1905’de 7.4 büyüklüğünde, 09.08.1912 yılında 7.3 büyüklüğünde, 10.08.1912 yılında 6.3 büyüklüğünde 27.03.1975’de 6.5 büyüklüğünde depremler üretmiştir. Bu bilgiler ışığında bölgede bir deprem olma olasılığı mevcuttur.

2. yaklaşımda ise bu fay hattı üzerinde 3 ayrı noktada, 3 farklı derinlikte ve 4 farklı büyüklükteki yapay deprem senaryoları için Edirne bölgesinin Sıvılaşma Potansiyelinin nasıl etkileneceğini ortaya konulmaya çalışılmıştır. Fay sistemi üzerinde esas alınan odak noktalarının harita üzerindeki konumları Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.11:** Saros-Gaziköy Fayı üzerindeki Tasarlanan Senaryo Depremler

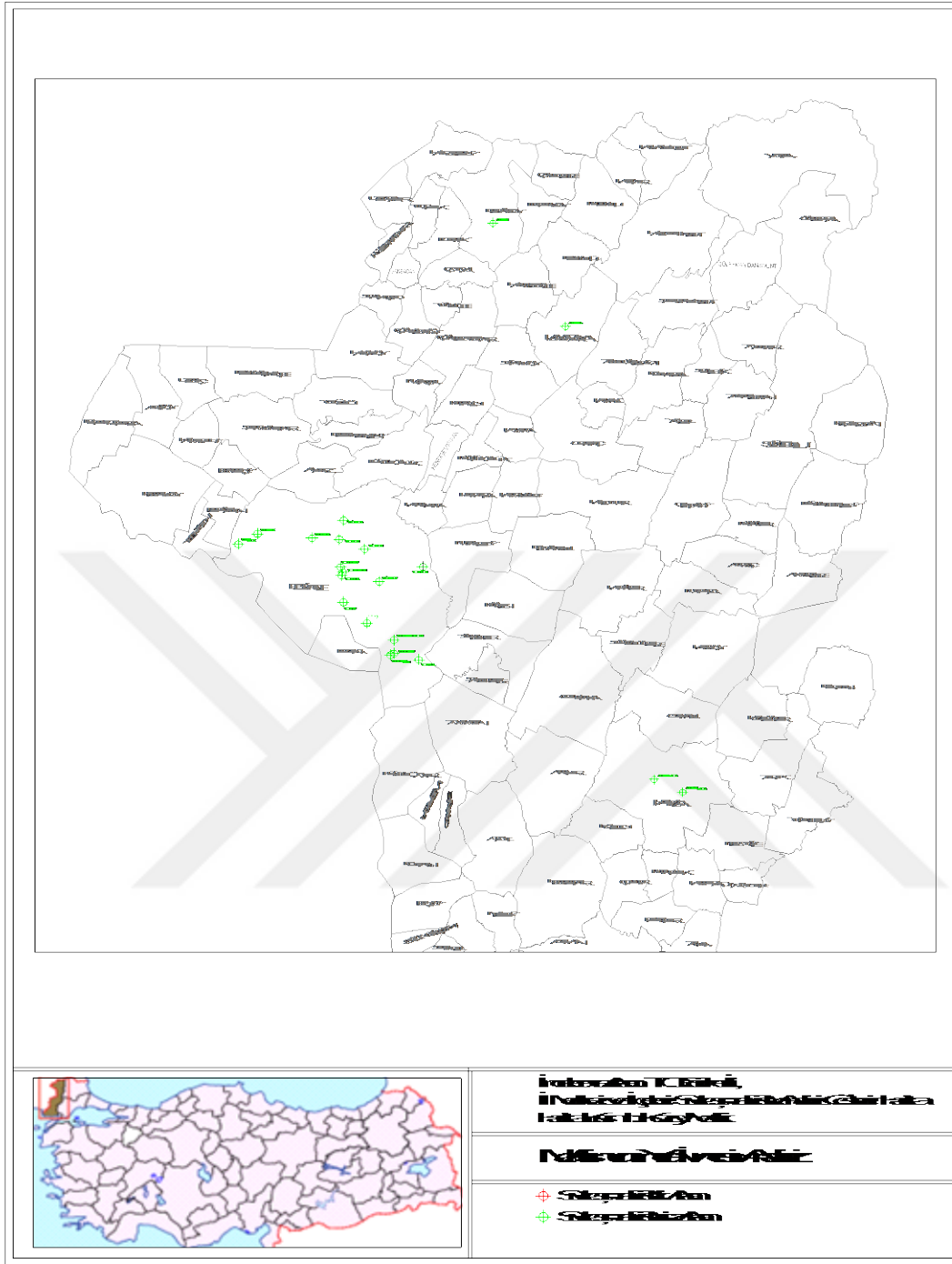




## 4 BULGULAR

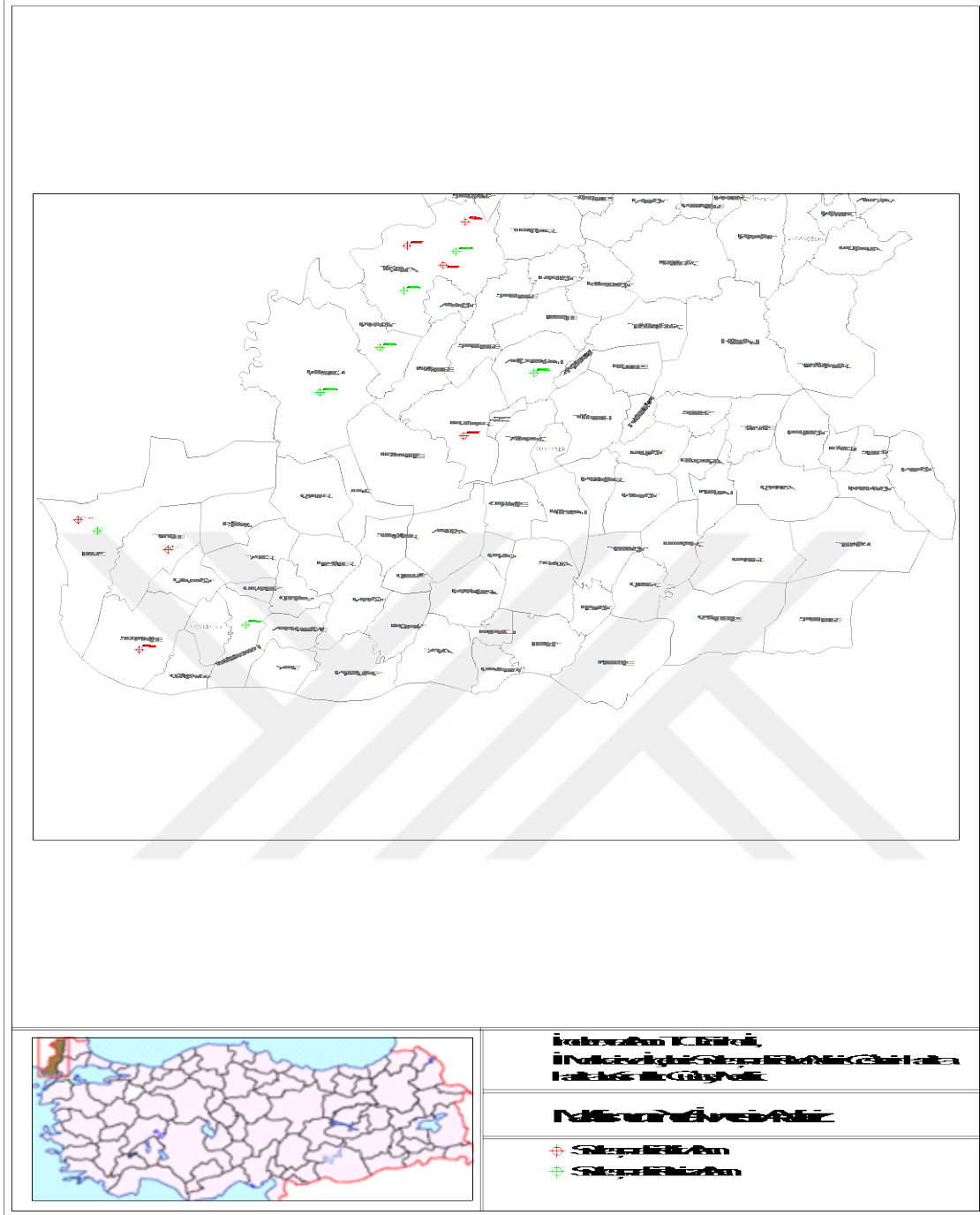
### 4.1 Yaklaşım-1 ile Elde Edilen Bulgular

Edirne merkez ve ilçelerinde yapılan toplam 77 adet sondaj bölgesinde arazi sonuçları yardımıyla Yaklaşım-1 ile elde edilen sonuçlar, Şekil 4.1~Şekil4.3'de verilen haritalar üzerinde gösterilmiştir. Harita gösterimlerinde Edirne ili Kuzey ilçeleri, Orta ilçeler ve Güney ilçeleri olmak üzere üç ayrı bölgeye ayrılmıştır. Edirne ili kuzeyindeki ilçelerin gösterildiği Şekil 4.1'de verilen haritadan da görüleceği üzere bölgede sıvılaşma beklenmemektedir. Şekil 4.2'de verilen haritadan incelendiğinde; Edirne ilinin orta bölgesinde yer alan Uzunköprü Merkez'de 3, Kavacık Köyünde 1 ve Meriç İlçesinin Küplü Köyünde 1 adet olmak üzere 5 noktada sıvılaşma potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.3'den de görüleceği üzere, Edirne bölgesinin güney kısmında İpsala merkezde 3, İpsala Kocahıdır Köyünde 1, Enez merkezde 1, Enez Sultaniçe ve Yenice köylerinde 1'er adet olmak üzere toplam 7 inceleme alanında sıvılaşma potansiyeli yüksek çıktığı söylenebilir. Özetle **Yaklaşım-1** ile Edirne İlçelerinde yapılan sıvılaşma potansiyeli analizlerinde; Enez'de 3, İpsala'da 4, Meriç'te 1, Uzunköprü'de 4 tane olmak üzere toplam 12 inceleme bölgesinde sıvılaşma potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1: Edirne ili Kuzey Bölgesi Sıvılaşma Potansiyeli Haritası





Şekil 4.3: Edirne ili Güney Bölgesi Sıvılaşma Potansiyeli Haritası

#### 4.2 Yaklaşım-2 ile Elde Edilen Bulgular

Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 adet ayrı noktada (Odak-1, Odak-2 ve odak-3), 3 farklı derinlikte ( $d=10\text{km}$ ,  $d=30\text{km}$  ve  $d=70\text{km}$ ) ve 4 farklı deprem büyüklüğü ( $M=5$ ,  $M=6$ ,  $M=7$  ve  $M=8$ ) için oluşturulan deprem senaryoları esas alınarak, inceleme bölgesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1~Çizelge 4.3'de özetlenmiştir. Çizelgelerin hazırlanmasında Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3

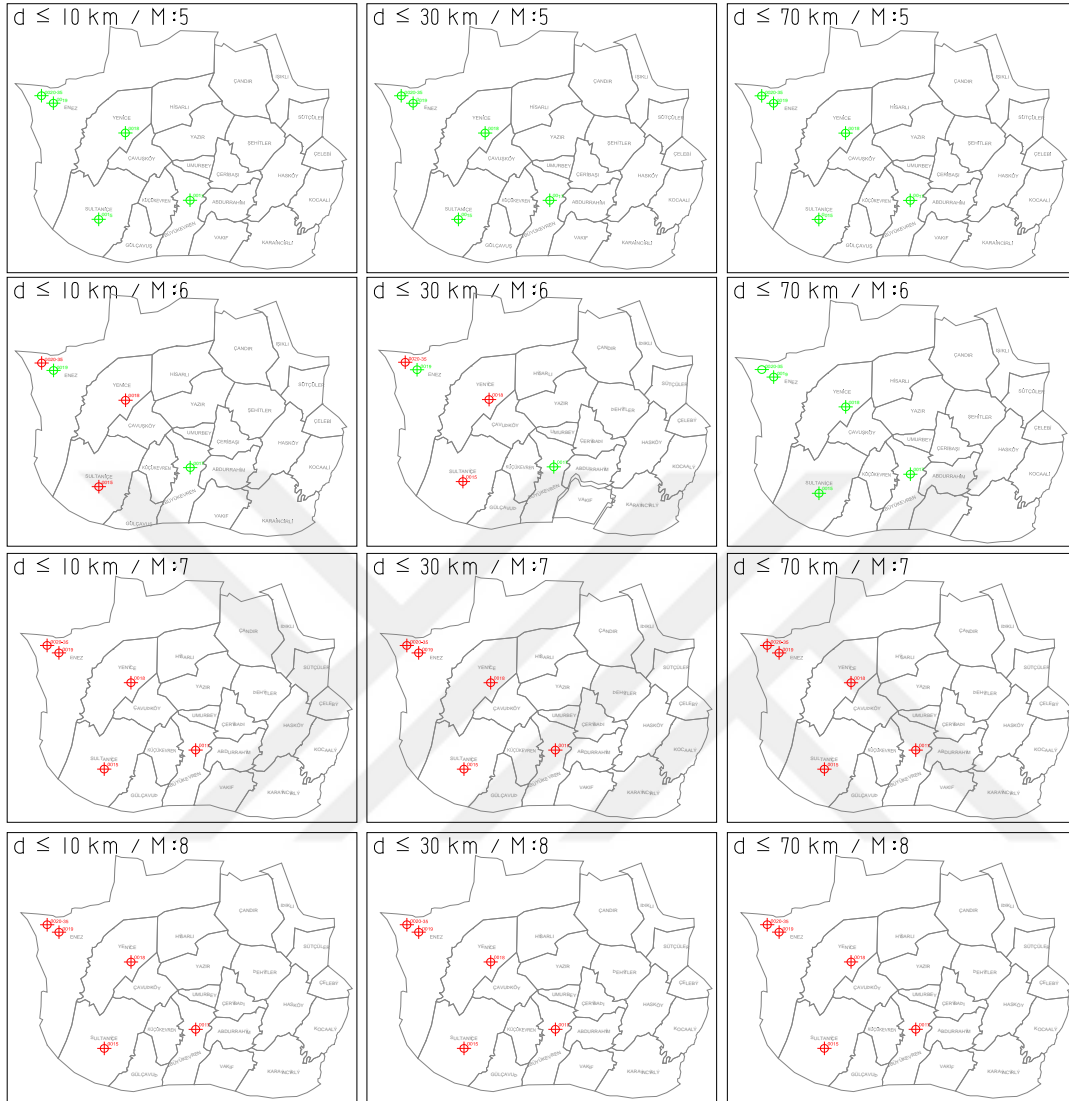
farklı odak noktası ve üç farklı odak derinliği için çeşitli büyüklükteki depremlerin inceleme alanında oluşturacağı maksimum yer ivmeleri hesaplanarak sınıflama analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.1: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin inceleme bölgesindeki sınıflama potansiyeli

<b>Odak noktası: 1 (Bkz. Şekil 3.11)</b>				
<b>Büyüklik, M</b>	<b>Derinlik, d (km)</b>	<b>İlçede gözlenen sınıflama sayısı</b>		
		<b>Enez</b>	<b>İpsala</b>	<b>Uzunköprü</b>
5	10km	-	-	-
6		3	2	-
7		5	7	-
8		5	9	22
5	30km	-	-	-
6		3	-	-
7		5	5	-
8		5	9	14
5	70km	-	-	-
6		-	-	-
7		3	2	-
8		5	8	4

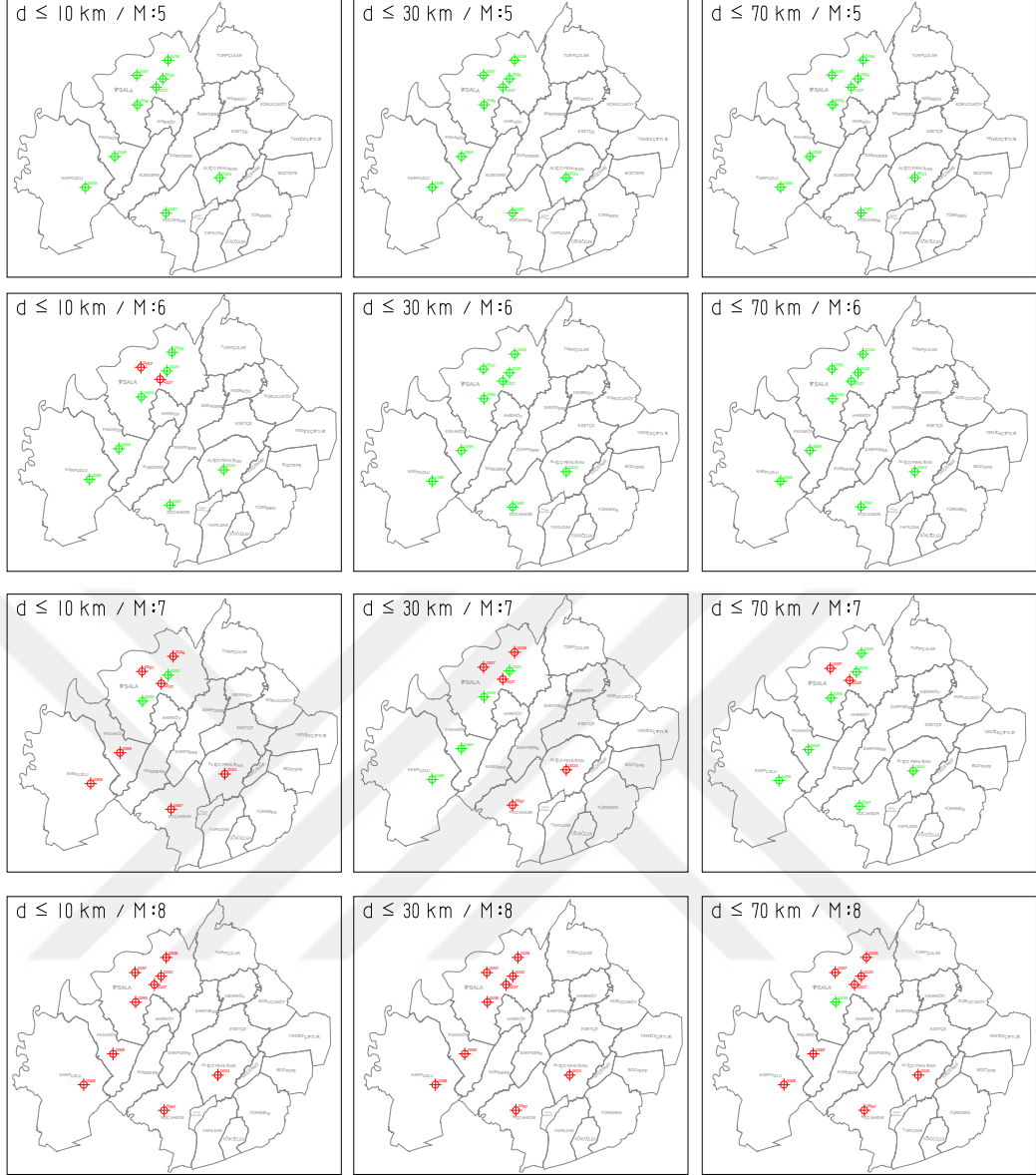
Çizelge 4.1’de verilen ve Saros-Gaziköy fayı üzerindeki 1 numarasıyla işaretlenen odak noktasında 4 farklı büyüklük ve 3 farklı derinlikte oluşması muhtemel sismik etki senaryolarının inceleme bölgesinde meydana getireceği maksimum yer ivmeleri ve sınıflama potansiyeli değerlendirildiğinde, depremin büyüklüğü ve odak derinliği azaldıkça sınıflama potansiyeli saptanan nokta sayısının arttığı söylenebilir. Çizelgedeki sonuçlar ilçe bazında değerlendirilse, Saros-Gaziköy fayı üzerindeki 1 numarasıyla işaretlenen odak noktasındaki 7 ve

altındaki bir büyüklükteki muhtemel sismik etkinin sıvılaşma potansiyeli bakımından en sınırlı etkilediği ilçenin Uzunköprü ilçesi olduğu söylenebilir.



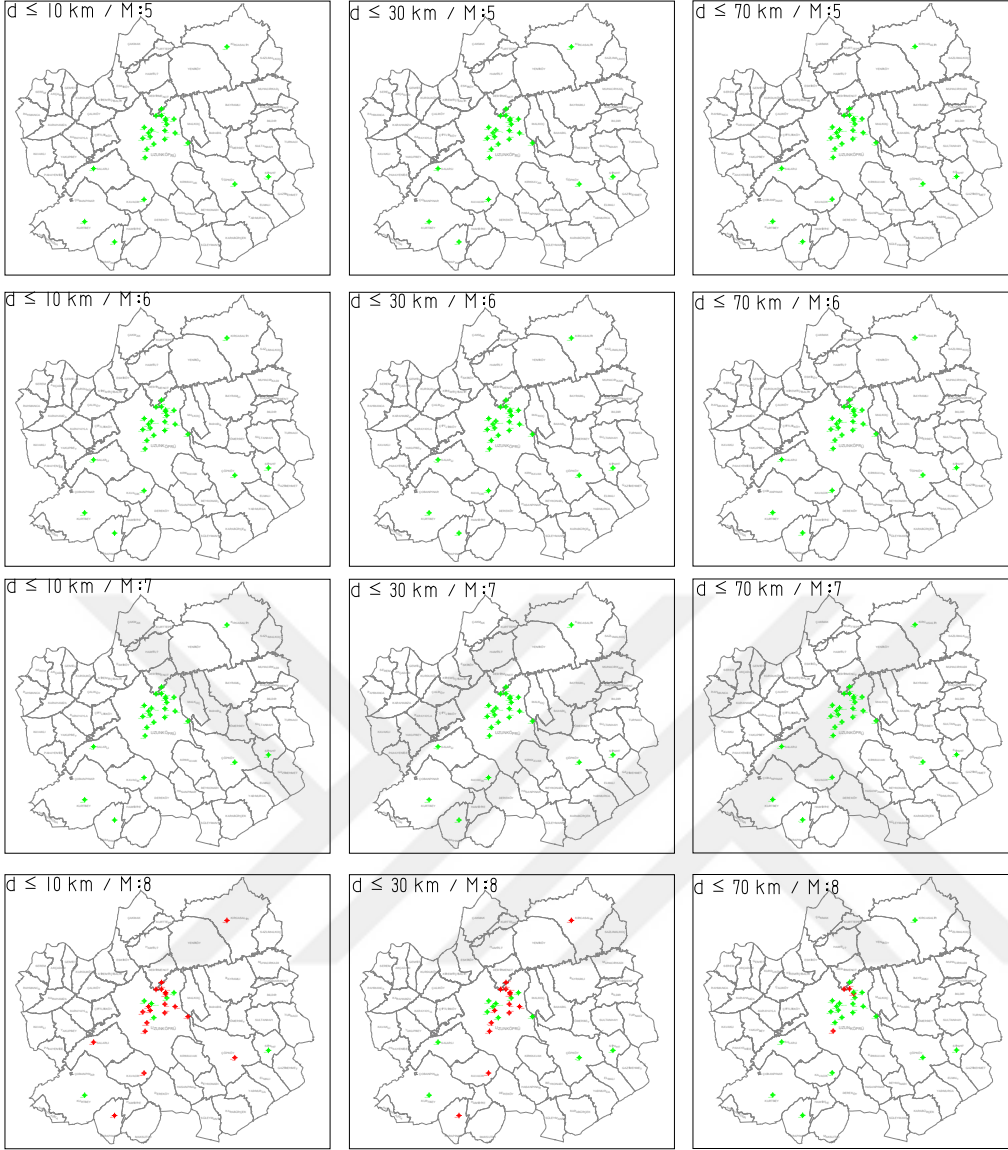
**Şekil 4.4:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Enez İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 1 numaralı odak noktasında 6 ve üzerindeki büyüklükte oluşabilecek depremlerde Enez bölgesinde sıvılaşma riski görülmüştür. Bu risk, büyüklük arttıkça derinliğe bağlı olmaksızın artmaktadır. Bölgede yapılacak sıvılaşma analizlerinde minimum 6 büyüklüğündeki depremler dikkate alınarak hesaplanmasında yarar vardır.



**Şekil 4.5:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin İpsala İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

İpsala ilçesi için, Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 1 numaralı odak noktasında oluşacak 6 ve üzerindeki büyüklüklerdeki –özellikle yüzeysel-deprem durumları için sıvılaşma riski meydana söz konusudur. Bu risk depremin büyüklüğünün artması ve odak derinliğinin azalmasıyla daha da belirginleşmektedir. Deprem büyüklüğünün azalmasıyla sıklığının arttığı bilgisiyle, bölgede sıvılaşma analizi kontrollerinde minimum 6 büyüklüğünde bir sismik etkiye sıvılaşma potansiyelinin araştırılması gerektiği söylenebilir.



**Şekil 4.6:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 1 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Uzunköprü İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

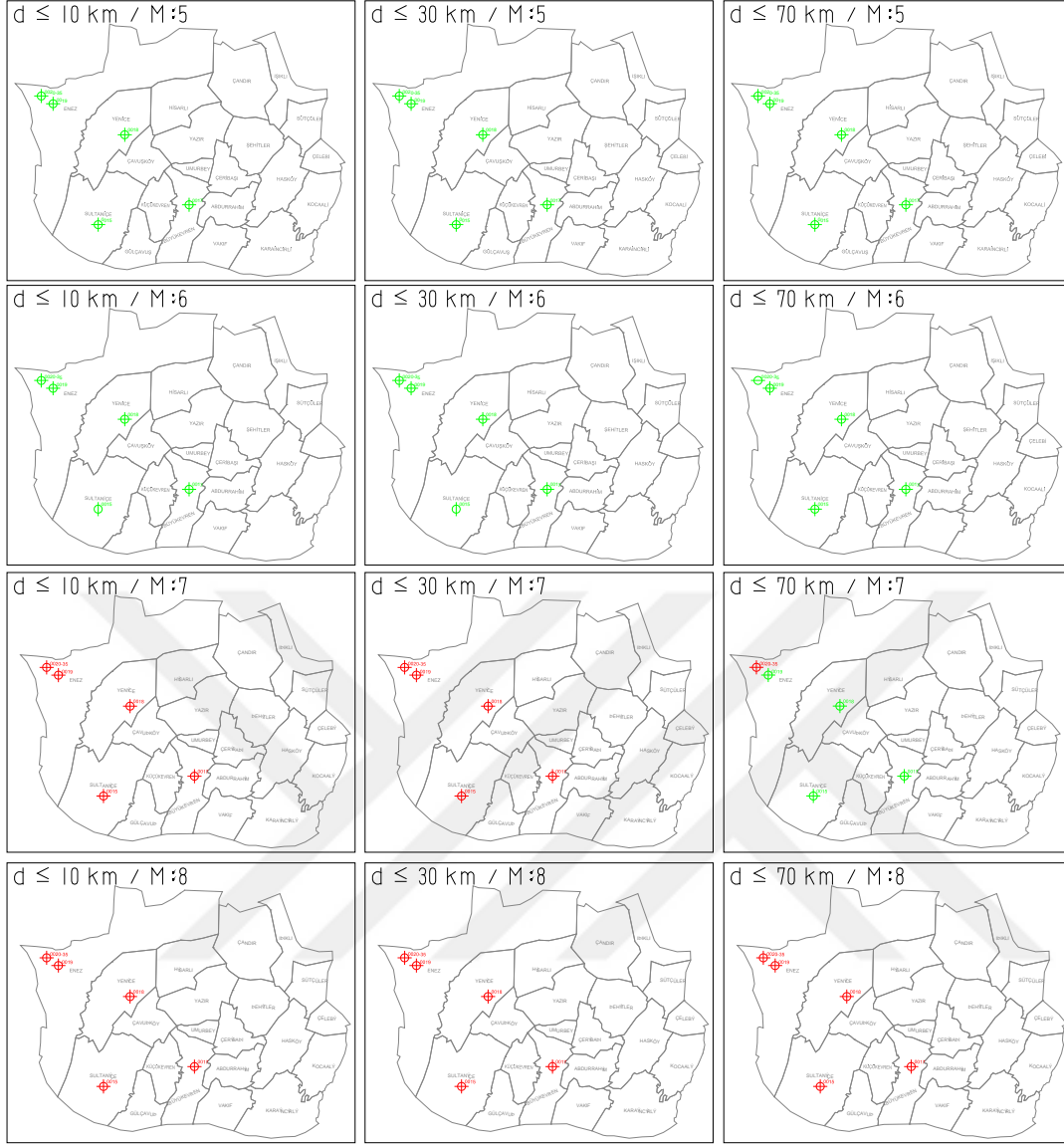
Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 1 numaralı odak noktasında oluşacak depremlerin Uzunköprü ilçesindeki sıvılaşma potansiyeli 7.5 ve üzerinde büyüklüklerdeki depremler için söz konudur. Deprem odak derinliğinin azalması bu etkinin daha belirgin gözlenmesine neden olmaktadır.



**Çizelge 4.2:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin inceleme bölgesindeki sıvılaşma potansiyeli

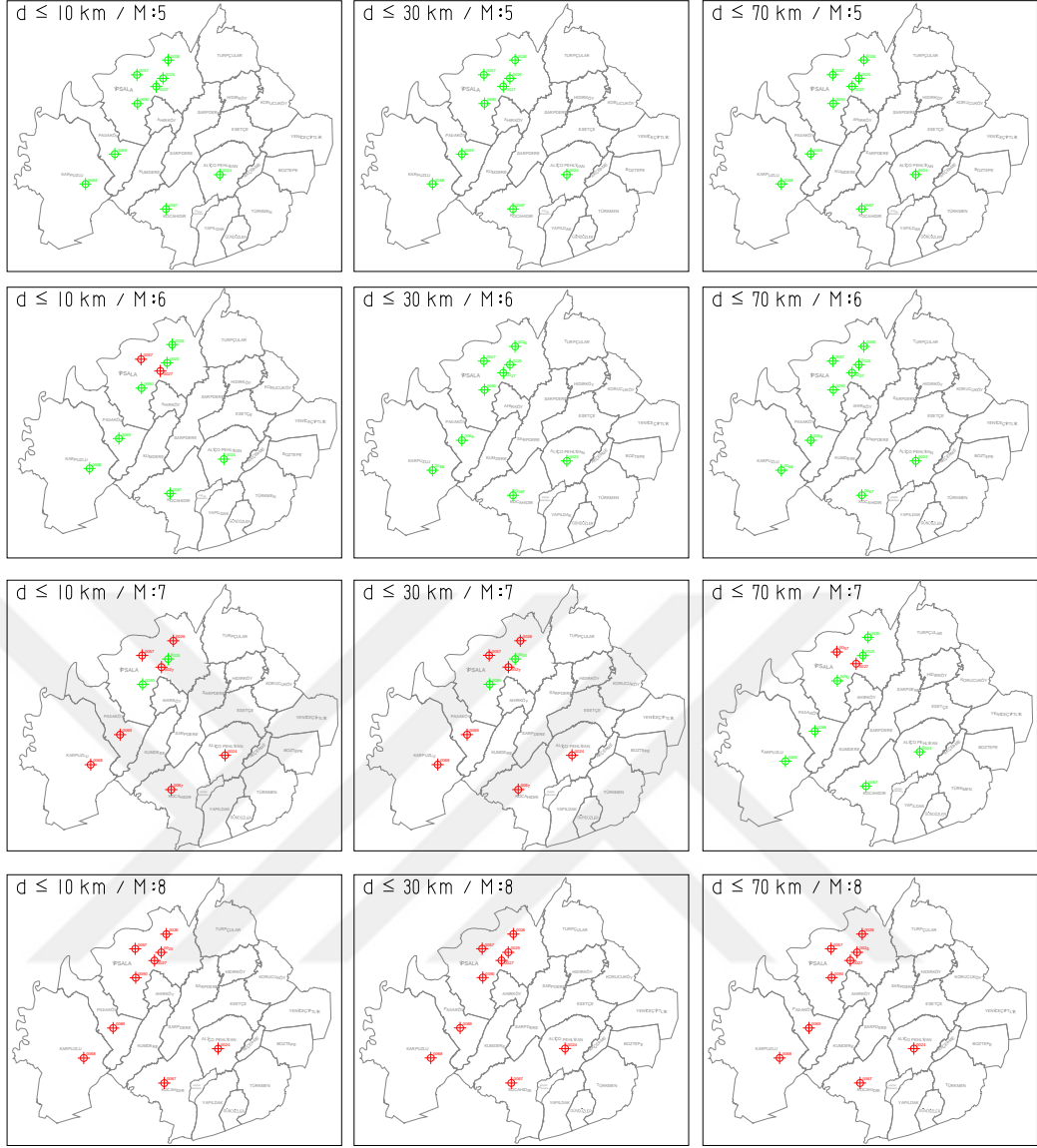
<b>Odak noktası: 2 (Bkz. Şekil 3.11)</b>				
<b>Büyüklik, M</b>	<b>Derinlik, d (km)</b>	<b>İlçede gözlenen sıvılaşma sayısı</b>		
		<b>Enez</b>	<b>İpsala</b>	<b>Uzunköprü</b>
5	10km	-	-	-
6		-	2	-
7		5	7	5
8		5	9	29
5	70km	-	-	-
6		-	-	-
7		5	7	3
8		5	9	28
5	10km	-	-	-
6		-	-	-
7		1	2	-
8		5	9	14

Çizelge 4.2’de verilen ve Saros-Gaziköy fayı üzerindeki 2 numarasıyla işaretlenen odak noktasında 4 ayrı büyüklükte ve 3 farklı derinlikte oluşması muhtemel sismik etki senaryolarının inceleme bölgesinde meydana getireceği maksimum yer ivmeleri ve sıvılaşma potansiyeli değerlendirildiğinde, 1 numarasıyla işaretlenen odak noktasındaki sismik etkiye göre İpsala ve Uzunköprü ilçelerinde sıvılaşma potansiyelinde artış olduğu, Enez ilçesinde ise sınırlı bir azalma olduğu söylenebilir.



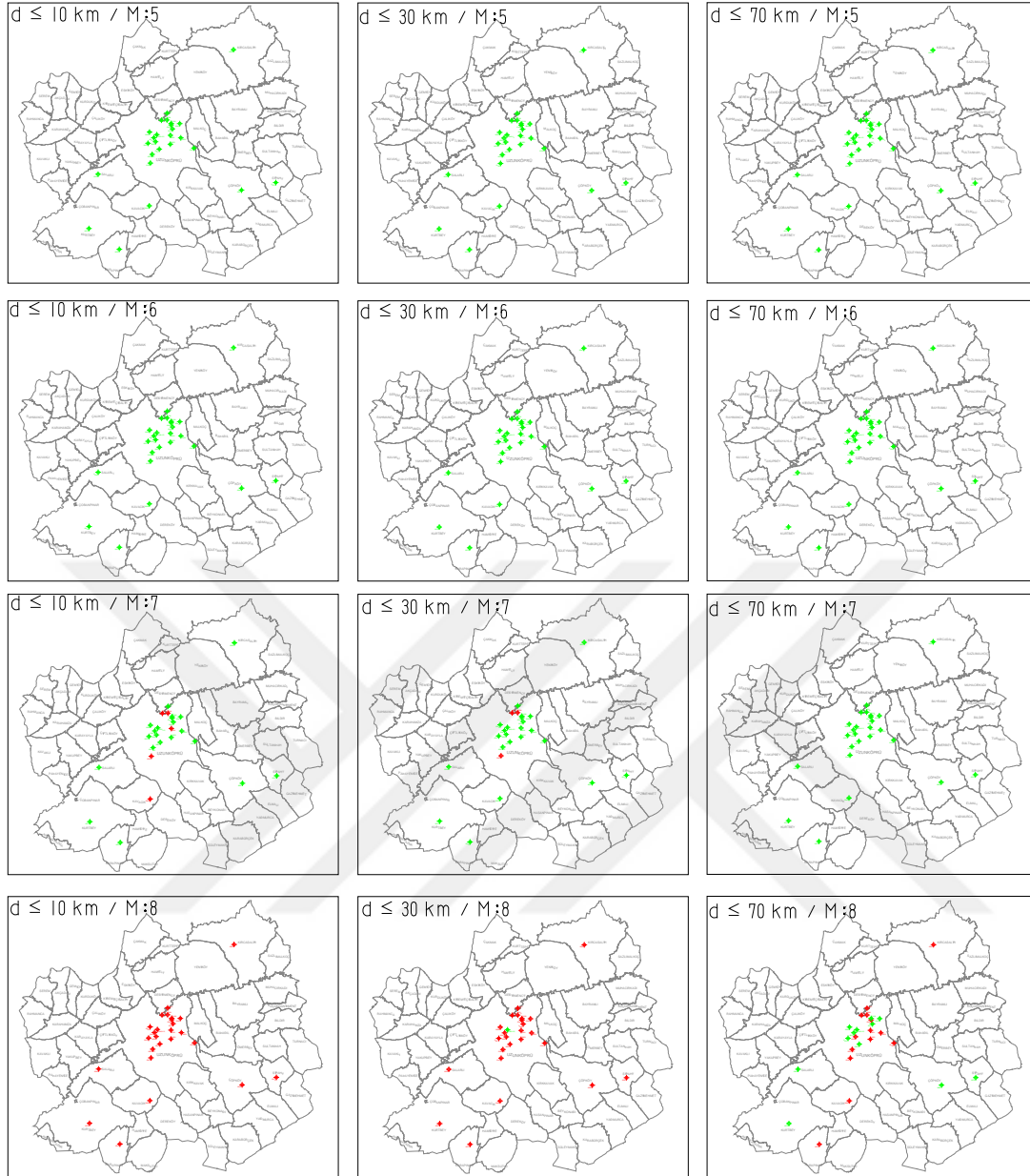
**Şekil 4.7:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Enez İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 2 numaralı odak noktasında 7 büyüklüğündeki ve de daha yüzeysel oluşabilecek depremlerde Enez bölgesinde sıvılaşma riskleri söz konusudur. 7 büyüklüğündeki bir deprem etkisi için depremin odak derinliği arttıkça sıvılaşma riski azaldığı söylenebilir. 2 numaralı odak noktasında oluşması muhtemel 6 ve daha küçük büyüklükteki deprem durumlarında bölgede sıvılaşma tespit edilmemiştir.



**Şekil 4.8:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin İpsala İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

İpsala ilçesi için, Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 2 numaralı odak noktasında ise 6 büyüklüğünde yüzeysel depremlerde sıvılaşma potansiyeli yüksek olmakla birlikte odak deriliği arttıkça sıvılaşma riski azalmaktadır. 2 numaralı odak noktasında 7 ve üzerindeki bir deprem etkisinin söz konusu olması durumunda, odak derinliğinin artan değerleri için de sıvılaşma potansiyelinin olduğu söylenebilir.



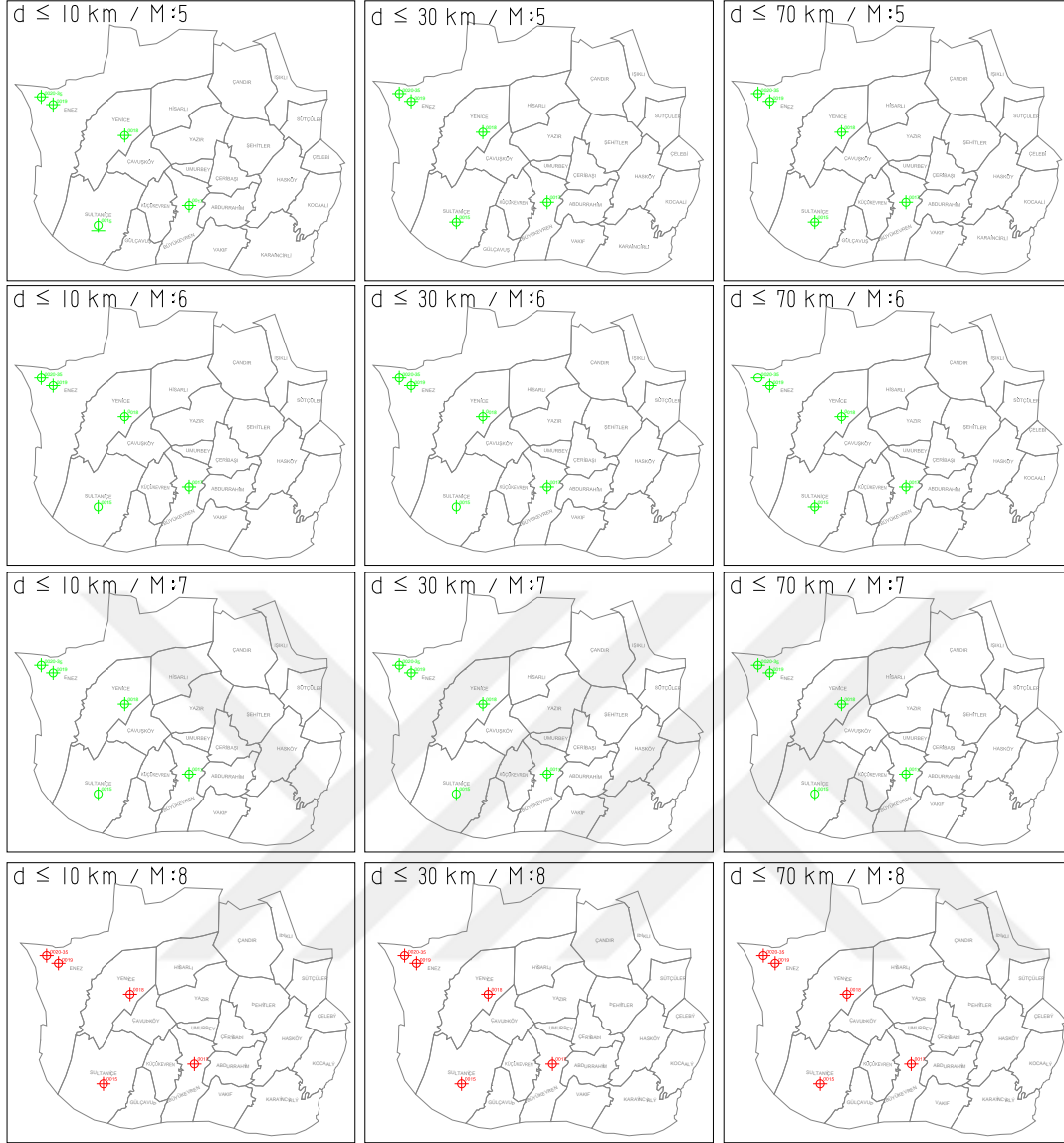
**Şekil 4.9:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 2 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Uzunköprü İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 2 numaralı odak noktasında depremlerden büyüklüğü 7 ve üstündeki depremlerde sıvılaşma potansiyeli mevcut çalışma alanları vardır. Fakat odak derinliği 70km den sonraki depremler için sıvılaşma riski daha az olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.3:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin inceleme bölgesindeki sıvılaşma potansiyeli

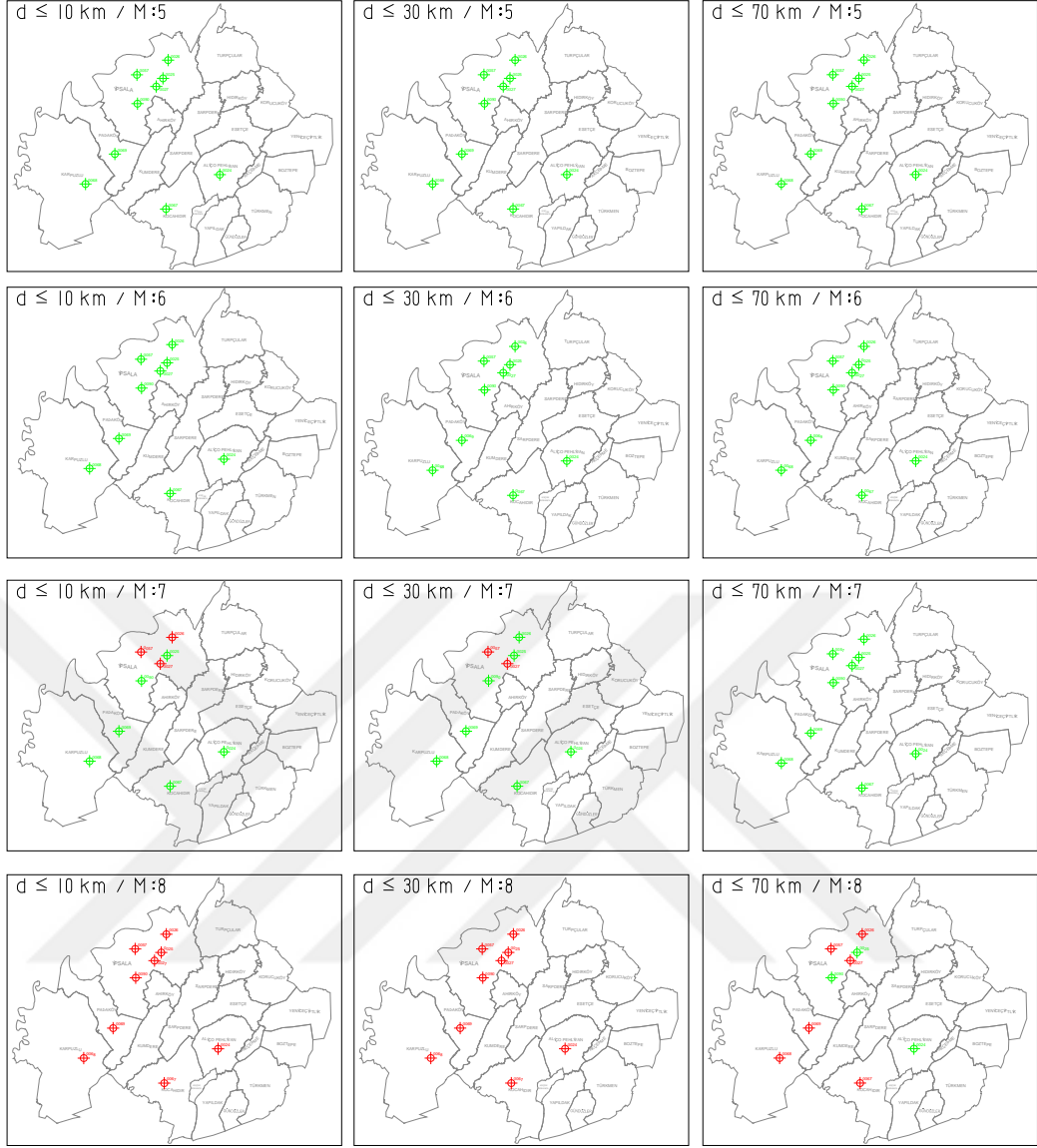
<b>Odak noktası: 3 (Bkz. Şekil 3.11)</b>				
<b>Büyüklik, M</b>	<b>Derinlik, d (km)</b>	<b>İlçede gözlenen sıvılaşma sayısı</b>		
		<b>Enez</b>	<b>İpsala</b>	<b>Uzunköprü</b>
5	10km	-	-	-
6		-	-	-
7		-	3	3
8		5	9	28
5	70km	-	-	-
6		-	-	-
7		-	2	-
8		5	9	15
5	10km	-	-	-
6		-	-	-
7		-	-	-
8		5	6	14

Çizelge 4.3’de verilen ve Saros-Gaziköy fayı üzerindeki 3 numarasıyla işaretlenen oluşması muhtemel sismik etki senaryolarının inceleme bölgesinde meydana getireceği maksimum yer ivmeleri ve sıvılaşma potansiyeli değerlendirildiğinde, genelde 7 ve altındaki büyüklükteki bir deprem etkisinde sıvılaşma potansiyelinin düşük olduğu söylenebilir.



**Şekil 4.10:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Enez İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 3 numaralı odak noktasında oluşabilecek depremler de ise 7,5 ve üzerindeki büyüklüklerde Enez bölgesinde sıvılaşma riski mevcuttur. Buna karşın 3 numaralı odak noktasında 7 ve altındaki bir büyüklükteki deprem durumunda Enez ilçesinde sıvılaşma tespit edilmemiştir.

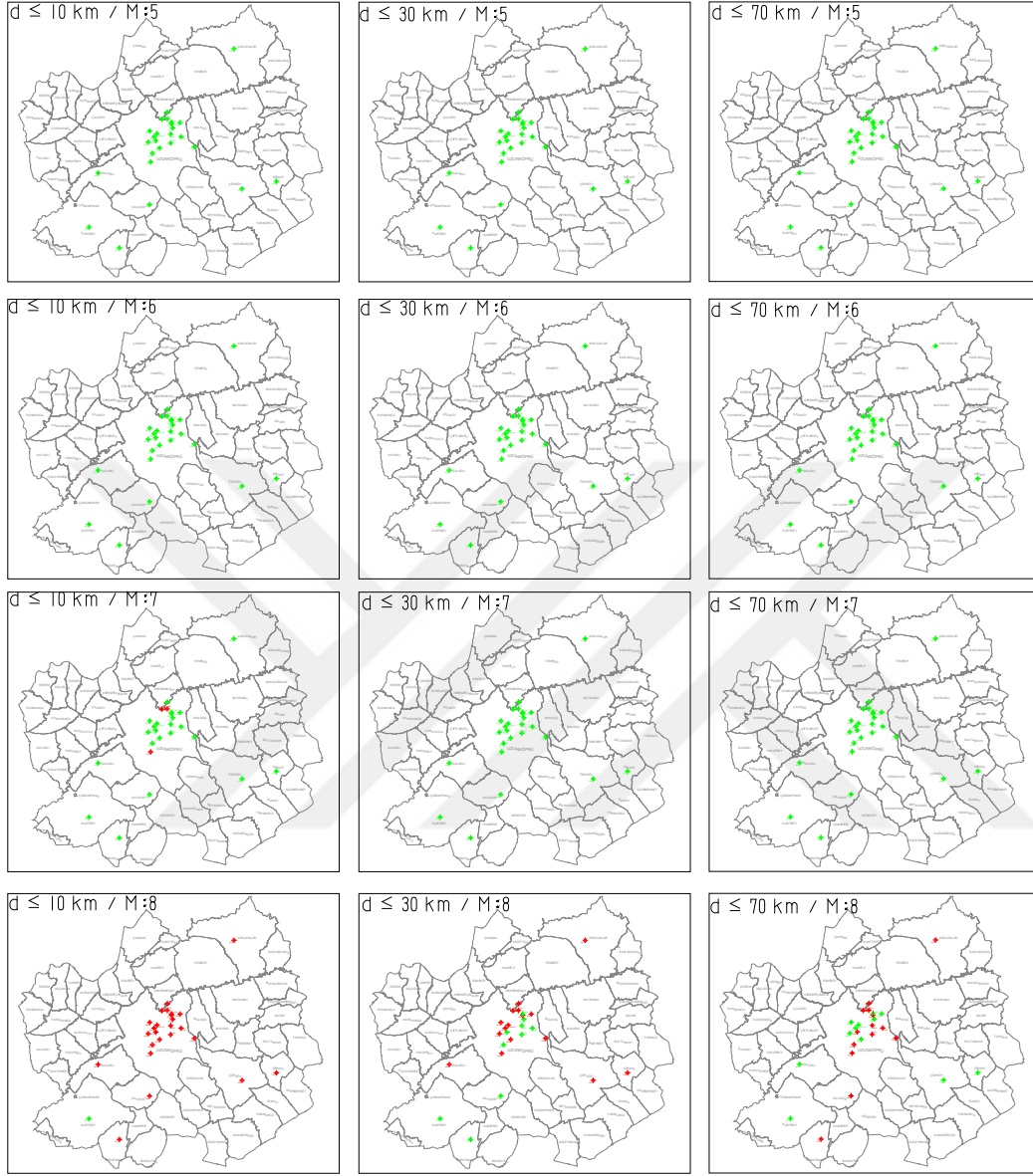


**Şekil 4.11:** Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin İpsala İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

İpsala ilçesi için, Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında 7 büyüklüğündeki depremlerden itibaren sıvılaşma potansiyeli ön görülmektedir. Bu büyüklükteki depremin odak derinliğine bağlı olarak sıvılaşma potansiyeli düşmektedir.

Saros-Gaziköy fayı üzerinde esas alınan üç ayrı odak noktası için Enez, İpsala ve Uzunköprü ilçelerindeki sıvılaşma potansiyeli Şekil 4.4~Şekil 4.12’de verilen haritalar üzerinde gösterilmiştir. Haritalar üzerinde işaretlenmiş (Sondaj çalışması ve arazi deneyleri yapılan noktalar) yeşil noktalar sıvılaşma

olmadığını, kırmızı noktalar ise sıvılaşma potansiyelinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12: Saros-Gaziköy fayı üzerinde 3 numaralı odak noktasında muhtemel sismik etkinin Uzunköprü İlçesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi

Saros-Gaziköy fayı üzerinde depremlerde 3 numaralı odak noktasında Uzunköprü'ye olan etkisi hesaplandığında ise büyüklüğü 7 ve 10 km'lik odak derinliğine sahip bir depremin bazı bölgeleri etkilediği görülmüştür.



## 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ülkenin aktif tektonik levhalar içerisinde bulunması ve depremselliğin yüksek olması sebebiyle, her türlü yapının tasarım ve inşa aşamalarında bu olgunun dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışma da Edirne ili ve ilçesi sıvılaşma potansiyeli iki farklı yaklaşımla incelenerek açıklanmaya çalışılmıştır.

İlk yaklaşımda 2007 deprem yönetmeliğinde de yer alan etkin yer ivmesi ( $A_0$ ) ya da son yüzyıl içerisinde bölge de oluşmuş olan depremlerden hesaplanan  $a_{max}$  değerlerinden büyük olan değeri alıp  $M=7,5$  büyüklüğünde olabilecek olan bir depremde bölgenin sıvılaşma potansiyeli ortaya konulmuştur. Buna göre  $M=7,5$  büyüklüğünde olup Enez için  $0,3g$ 'lik  $a_{max}$ , İpsala için  $0,28g$ 'lik  $a_{max}$  ve Uzunköprü için de  $0,21g$ 'lik bir  $a_{max}$ 'lık bir deprem oluşması durumunda sıvılaşma potansiyeli yüksek olacaktır.(Bknz Çizelge 3.2) Bu bölgelerde bu veriler ışığında gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

İkinci yaklaşımda ise; KAF fay hattının devamı niteliğinde olabilecek olan Saros-Gaziköy fayı üzerinde meydana gelebilecek olan depremlerin Edirne bölgesindeki sıvılaşma potansiyeline etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu senaryo depremlerin de üç farklı derinliklere (10km-30km-70km) ve 4 farklı büyüklüğe göre değişimini de incelenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımda sıvılaşma potansiyelinin daha yüksek olma ihtimali olan 3 ilçe alınmıştır. (Enez-İpsala- Uzunköprü). Oluşturulan bu senaryo deprem noktalarının ilçe merkezlerine olan uzaklıkları alınarak maksimum etkin yer ivmesi hesaplanmış ve de artan deprem büyüklüğü değerlerine göre sonuçlar tartışılmıştır.  $M=5$  büyüklüğünde oluşacak bir depremde herhangi sıvılaşma tehlikesi beklenmemektedir. 1. senaryo depreminde  $M=5,5$  büyüklüğünden itibaren başta Enez ilçesi olmak üzere sıvılaşma riski mevcuttur. Odak derinliğinin de sıvılaşmaya etkisinin büyük olduğu bu çalışmalar neticesinde sunulmuştur.(Bknz Çizelge 4.1) 2. senaryo depremine gelindiğinde ise bu sefer İpsala da  $M=6$  büyüklüğünden başlayarak sıvılaşma söz konusu (Bknz Çizelge

4.2) İken 3.senaryo depreminde ise  $M=7$  büyüklüğünden itibaren söz konusudur.(Bknz Çizelge 4.3)

İki yaklaşım da göz önüne alındığında bölgede bulunan aktif faylardan yararlanılarak yapılan sıvılaşma hesabının daha iyi sonuçlar verdiği ve farklı bölgelerde yapılacak sıvılaşma analizlerinde de bu şekilde bir yaklaşım kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin net bir şekilde ortaya konulması gerekliliği mevcuttur.



## KAYNAKLAR:

- Akkaş, Ü.**, 2006. Sıvılaşma Potansiyeli ve Etkilerinin Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Aksoy, G.**, 2011. Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aksu, O. ve Toz, G.**, 2002. Zemin Sıvılaşmasına Yönelik Fotogrametrik Uygulamalar, İTÜ Dergisi, 1, 2, 7-13.
- Akyıldırım, A.K.**, 1993. Mühendislik Jeolojisi Açısından Erzincan Şehir Alanının Yerleşime Uygunluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arıoğlu, E. ve Girgin, C.**, 2002. Türkiye'nin Sismotektonik Yapısı ve Depremlerin Manevi/Ekonomik Boyutunun Belirlenmesi, Ar-Ge.
- Atak, V.O., Aksu, O., Bircan, Ö., Aydan, Ö., Koca, H. ve Karakaya, M.**, 2005. Zemin Sıvılaşması ve Faylanmaya Bağlı Yer Değişimlerinin Hava Fotoğrafları Yardımıyla Tespiti, Harita Dergisi, 134, 44-60.
- Aydan, Ö., Sezaki, M. and Yarar, R.**, 1996. The Seismic Characteristic of Turkish Earthquakes, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Mexico, 1025 p.
- Bayrak, Ö.**, 2011. Binaların Deprem Risklerinin Birinci Kademe Değerlendirme Yöntemiyle Belirlenmesi Üzerine Bir Saha Çalışması: Erzincan İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Canbey, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T.**, 2008. Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Casagrande, A.**, 1936. Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Earth Fills, Journal of Boston Society of Civil Engineers, Reprinted in Contributions the Soil Mechanics, Journal of Boston Society of Civil Engineers, 1925-1960.
- Casagrande, A.**, 1938. Notes on Soil Mechanics - First Semester, Harvard University (unpublished), 129 p.
- Çakmak, B.**, 2009. Kayseri İli Depremselliği ve Özel bir Mikrobölgeleme Çalışma Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Çavuş U. Ş.**, 2004. Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling) ile Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- 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.
- Demir, G.**, 2011. Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Dere, A.**, 2009. Yapay Sınır Ağları Yöntemi ile Sıvılaşma Analizi ve Adapazarı için Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Dixit, J., Dewaikar, D.M. and Jangid, R.S.**, 2012. Assessment of Liquefaction Potential Index for Mumbai City, Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,12, 2759-2768.
- EEFIT** (Earthquake Engineering Field Investigation Team), 1992. The Erzincan, Turkey earthquake of 13 March 1992.
- Erken, A., Yıldırım, H., Savar, T., Kılıç, C. ve Ansal, A.**, 1985. Erzincan Ekşisu'da Siltli Zeminlerin Dinamik Davranışı, Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 85-89.
- Erken, A., Özay, R., Kaya, Z., Ülker, M.C. ve Elibol, B.**, 2003. Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları, Türkiye Mühendislik Haberleri, 431.
- Fukushima Y., Tamaka, T. and Kataoka, S.**, 1998. A New Attenuation Relationship for Peak Ground Acceleration Derived from Strong Motion Accelerograms, 9th WCEE, Tokyo.
- Güngör, L.**, 2007. İzmir-Mavişehir Kuzey Üst Bölgesi Kapsamındaki Sıvılaşma Riskinin Teorik ve Uygulamalı Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gürsoy, H., Akpınar, Z., Tatar, O., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Mesci, B.L., Polat, A., Kavak, K.Ş., Tunçer, D. ve Yaman, S.**, 2006. 1939 Erzincan Depremi Yüzey Kırığı Haritalama Çalışmaları (Reşadiye Batısı-Koyulhisar Arası): İlk Gözlemlere ait Bulgular, ATAG10-Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı.
- Idriss I.M. Boulanger R.W.** SPT- based liquefaction triggering Procedures. University of California. 2010-2014
- İnan, E., Çolakoğlu, Z., Koç, N., Bayülke, N. ve Çoruh E.**, 1996. 1976-1996 yılları arası ivme kayıtları olan deprem kataloğu. T.C. Bayındırlık ve İskan Bak. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, 98 s.
- Ishihara, K.**, 1985. Stability of Natural Deposits During Earthquakes, Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 11, 321-376.
- Ishihara, K.**, 1996. Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics, The Oxford Engineering Science Series, Oxford, England.
- Iwasaki, T., Tokida, K. and Tatsuoka, F.**, 1981. Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of The Simplified Procedure, International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, 209-214.
- Joyner, W. B. and Boore, D. M.**, 1981. Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California Earthquake, Bull. Seis. Soc. Am. 71, 6, 2011-2038.
- Karanlık, S.**, 2006. Hatay Altinköy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kayen, R. E., Mitchell, J.K., Seed, R. B., Lodge, A., Nishio, S. and Coutinho, R.**, 1992. Evaluation of SPT, CPT and Shear Wave-Based Methods for Liquefaction Potential Assessment Using Loma Prieta Data, Proceedings, 4th US-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, 1, 177-204.

- Kaypak, B.**, 1996. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Artsarsıntıları Kaynak Parametreleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, R.**, 2009. Zemin ve Kaya Mekanik Uygulama Notları.
- Koç, G.**, 2007. Gölcük ve Çevresinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kovacs, W. D. and Salomone, L.A.**, 1982. SPT Hammer Energy Measurement, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 108, 599-620.
- Kramer, S.L.**, 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- Kutanis, M.**, 2005. Lecturer Notes.
- Liao, S.S.C. and Whitman, R. V.**, 1986. Overburden Correction Factor for SPT in Sand, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112, 3, 373-377.
- Mogami, T. and Kubo, K.** 1953. The Behaviour of Soil During Vibration Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 152-153.
- Mollamahmutoğlu, M. ve Babuçcu, F.** 2006. Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme
- Onur, M. İ.**, 2007. Dinamik Etkiler Altında Zemin Deformasyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Orhan, M. ve Ateş, A.**, 2011, Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları: Manisa (Saruhanlı) Örneği, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7, 1, 52-70.
- Orhan, M. ve Ateş, A.**, 2011. Koni Penetrasyon Testi (CPT) Verileri ile Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Manisa-Saruhanlı Örneği ile Araştırılması, Politeknik Dergisi, 14, 1, 15-23.
- Orhan, M., ve Ulusu, H.**, 2001. Erzincan Şehir Merkezi Kuzey-Batı Bölümü Zeminlerinin Bazı Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 1, 21-34.
- Rahn, P. H.**, 2006. Mühendislik Jeolojisi (Çevresel Bir Yaklaşım), Akyol, E. ve Kayabalı, K., Gazi Kitabevi, Ankara.
- Robertson, P, K, and Fear, C. E.**,1995. Liquefaction of Sands and Its Evaluation proceedings, 1st Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.
- Robertson, P. K. and Wride, C. E.**, 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test, Canadian Geotechnical Journal, 35, 3, 442-459.
- Saatcioglu, M. and Bruneau, R.**, 1993. Performance of Structures During the 1992 Erzincan Earthquake, Can. J. Civ. Eng. 20, 305-325.
- Sağlam, M.**, 2008. Saruhanlı (Manisa) Belediyesi İmar Planına Esas Alanların Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Seed, H. B.**, 1966. A Method for Earthquake Resistant Design of Earth Dams, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 92, 13-41.
- Seed, H. B. and Idriss, I. M.**, 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9, 1249-1273.

- Seed, H. B., and Idriss, I. M.,** 1982. Ground Motions And Soil Liquefaction During Earthquakes, EERI Monograph, Berkeley, Calif.
- Seed H.B., Idriss I.M. and Arango I.,** 1983. Evaluation of Liquefaction Potential Using Filed Performance Data, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 109, 3, 458-482.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R.,** 1985. Influence Of Spt Procedures İn Soil Liquefaction Resistance Evaluations, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111, 12, 1425-1445. Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Seed, H. B. and De Alba, P.** 1986. Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils, Proceedings, Insitu, ASCE.
- Seed, R. B., et al.** 2003. Recent advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework, EERC, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, Calif.
- Sen, G. ve Akyol, E.,** 2010. Genetic Algorithm Approach for Liquefaction Potential Assessment of Sandy Soils, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 4, 685-698.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E.,** 2009. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E.,** 2003. İnce Daneli Zeminlerde SPT Sonuçlarının Düzeltilmesi Üzerine Bir Çalışma, İTÜ Dergisi, 2, 6, 59-67.
- Sönmez, B.,** 2006. Kocaeli Körfezi Güney Kıyısında Sıvılaşma Potansiyelinin ve Kapak Zemini Kalınlığını Yüzey Deformasyonlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şaylan, F. S.,** 2006. Erzincan Ovasının Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şişman, E.,** 2006. Fethiye Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Kayma Dalga Hızı Verileri ile Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Suzuki, Y., Koyamada, K. and Tokimatsu, K.,** 1997. Prediction of Liquefaction Resistance Based on CPT Tip Resistance and Sleeve Friction, Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Germany, 603-606.
- Taylan, Z.N., Uysal H., Lav, M.A. ve Erken, A.,** 2007. Sıvılaşma ve Taşıma Gücü Kaybı Sonucu Oluşan Oturmaları Kapsayan Vaka Analizi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 471-482.
- Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.,** 1983. Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content, Soil and Foundations, 23, 4, 56-74.
- Tonaroğlu, M.,** 2006. Sıvılaşmanın Nümerik Yöntemlerle Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toprak, S. ve Jinguuji, M.,** 2007. Sıvılaşma Tahmini İçin Yeni Bir Test: Vibrasyon Penetrasyon Testi (VPT), Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 483-494.
- Tosun, H., Seyrek E., Orhan A., Savaş, H. and Türköz, M.,** 2011. Soil Liquefaction Potential in Eskişehir, NW Turkey, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1071-1082

- Ulamış, K.**, 2007. Ankara Kenti Batısındaki Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri ve Alüvyonun Sıvılaşma Potansiyeli, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Unutmaz, B.**, 2008. Assessment of Soil-Structure-Earthquake Interaction Induced Soil Liquefaction Triggering, Ph. Thesis , Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Uyanık, O.**, 2002. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Uyar, O.**, 2006. Kayma Dalga Hızı ve Basitleştirilmiş Prosedüre Bağlı Karşılaştırılmalı Olarak Sıvılaşma Direnç Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uzuner, B.A.**, 2007. Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Uzuner, B.A.**, 2007. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Yalçın, A., Gokceoglu, C. and Sönmez, H.**, 2008. Liquefaction Severity Map for Aksaray City Center (Central Anatolia, Turkey), Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 8, 641-649.
- Yatman, Z. Ö.**, 2006. Sıvılaşma Sonucu Oluşan Zemin Yetersizliklerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Yeats, R.S., Allen, C.R. ve Sich, K.**, 2006. Deprem Jeolojisi, Demirtaş, R. ve Kayabalı, K., 567, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Yeşiloğlu N.**, 2006, Eğirdir (Isparta) Yerleşim Merkezi İçin Heyelan Olası Tehlike Değerlendirmesi ve Haritalaması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Liam Finn, W. D., Harder, L. F., Jr., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Laio, S. S. C., Marcuson, W. F., III, Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B. and Stokoe, K. H., 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127, 10, 817-833.**
- Youd, T., L. and Gilstrap, S.D.**, 1999. Liquefaction and Deformation of Silty and Fine-Grained Soils, Earthquake Geotechnical Engineering, 2nd-3rd, Balkema, Rotterdam, 1013-1020

### **İnternet Kaynakları**

- URL-1, [www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx](http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx), 15/09/2012.
- URL-2, <http://deivil.comu.edu.tr> ( 18.01.2013)
- URL-3 [http://www2.cedgm.gov.tr/icd\\_raporlari/canakkaleicd2007.pdf](http://www2.cedgm.gov.tr/icd_raporlari/canakkaleicd2007.pdf) (15.10.2016)
- URL-4 [http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni\\_diri\\_fay\\_haritalari-goruntule](http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari-goruntule)
- URL-5 <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/>(15.10.2016)
- URL-6 [http://www.ibb.gov.tr/sites/akom/documents/gelibolu\\_saroz\\_dep.html](http://www.ibb.gov.tr/sites/akom/documents/gelibolu_saroz_dep.html)(15.10.2016)





## **ÖZGEÇMİŞ**

1983 yılında Frankfurt/Almanya’da doğdum. İlköğretimimi Akşehir Yıldırım İlkokulunda, Akşehir Orta Okulu Atatürk Orta Okulunda ve liseyi Akşehir Lisesinde okudum. Üniversiteyi Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde tamamladım. Üniversiteden mezun olduğum 2007 yılından itibaren aktif olarak mesleğimi icra etmekteyim. 2013 yılı Ocak ayından itibaren İstanbul Aydın Üniversitesi’nde görev yapmaktayım.



