

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN İL MERKEZİ VE ÇEVRESİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART
PENETRASYON DENEYİ VERİLERİ KULLANILARAK SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Esra SUBAŞI DUMAN

**ŞUBAT 2013
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN İL MERKEZİ VE ÇEVRESİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART
PENETRASYON DENEYİ VERİLERİ KULLANILARAK SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

İnş. Müh. Esra SUBAŞI DUMAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.02.2013
Tezin Savunma Tarihi : 20.02.2013**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Ana Bilim Dalında

Esra SUBAŞI DUMAN Tarafından Hazırlanan

**ERZİNCAN İL MERKEZİ VE ÇEVRESİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART
PENETRASYON DENEYİ VERİLERİ KULLANILARAK SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

**başlıklı bu çalışmada, Enstitü Yönetim Kurulunun 02/02/2013 gün ve 1492 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER

Üye : Doç. Dr. Aykut İKİZLER

Üye : Yrd. Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Erzincan il merkezi ve çevresindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi konusundaki bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak yazılmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, ilgi duyduğum bir konu üzerinde çalışmamı sağlayan, çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. S. Banu İKİZLER'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tezimin hazırlanması ve çalışmalarımın sürdürülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Orman Müh. Ayşenur KASIMOĞLU'na, Arş. Gör. Ahmet KUVAT'a, Arş. Gör. Y. Selçuk ERBAŞ'a ve Harita Mühendisi Kubilay EKİNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan babam Ahmet SUBAŞI'ya, annem Kezziban SUBAŞI'ya ve kardeşlerime teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca yoğun bir tempo içerisinde yürütülen çalışmalarım süresince büyük özverilerde bulunarak, çalışmalarımı destekleyen ve her zaman yanımda olan değerli eşim Güven DUMAN'a teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesi aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Jeoloji Mühendisi Bahadır SU şahsında SULAR MÜHENDİSLİK ve çalışanlarına teşekkür eder, bu çalışmanın bilim ve uygulama alanlarına faydalı olmasını dilerim.

Esra SUBAŞI DUMAN
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Erzincan il merkezi ve çevresindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. S. Banu İKİZLER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 04/02/2013

Esra SUBAŞI DUMAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Literatür İncelemesi	3
1.4. Deprem	9
1.4.1. Türkiye'nin Depremselliği	10
1.4.2. Depremlerin Yol Açtığı Zemin Problemleri	11
1.5. Zeminlerde Sıvılaşma	12
1.5.1. Sıvılaşma Türleri	13
1.5.1.1. Akma Türü Sıvılaşma	14
1.5.1.2. Devirsel Hareketlilik (Mobilite)	14
1.5.2. Sıvılaşmanın Neden Olduğu Hasarlar	15
1.5.2.1. Kum Kaynaması	15
1.5.2.2. Akma Göçmesi	16
1.5.2.3. Yanal Yayılma	16
1.5.2.4. İstinat Yapısı Yenilmesi	17
1.5.2.5. Taşıma Gücü Kaybı	17
1.5.2.6. Gömülü Hafif Yapıların (boru, tank vb.) Yükselmesi	18
1.5.3. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler	18
1.5.3.1. Sıvılaşmaya Etki Eden Zemin Faktörleri	19

1.5.3.1.1.	Zemin Tipi.....	19
1.5.3.1.2.	Zemini Rölatif Sıklığı (D_r).....	19
1.5.3.1.3.	Tane Boyu Dağılımı.....	20
1.5.3.1.4.	Yerleştirme ve Çökme Ortamı.....	21
1.5.3.1.5.	Drenaj Şartları	21
1.5.3.1.6.	Çevre Basınçları	21
1.5.3.1.7.	Tane Şekli.....	21
1.5.3.1.8.	Yaş ve Çimentolanma	22
1.5.3.1.9.	Sismik Geçmiş.....	22
1.5.3.2.	Sıvılaşmaya Etki Eden Dış Faktörler	22
1.5.3.2.1.	Depremın Büyüklüğü ve Süresi.....	22
1.5.3.2.2.	Bina Yükleri	23
1.5.4.	Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Laboratuar ve Arazi Deneyleri.....	23
1.5.4.1.	Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Laboratuar Deneyleri.....	23
1.5.4.1.1.	Devirsel Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	24
1.5.4.1.2.	Devirsel Basit Kesme Kutusu Deneyi	24
1.5.4.2.	Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Arazi Deneyleri	24
1.5.4.2.1.	Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	25
1.5.4.2.1.1.	Standart Penetrasyon Deneyinin Yapılışı	25
1.5.4.2.1.2.	SPT'nin Sonucunu Etkileyen Faktörler ve SPT- N_{arazi} Değerinin Düzeltilmesi.....	26
1.5.4.2.2.	Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)	29
1.5.4.2.3.	Kayma Dalga Hızı (V_s) Deneyi	30
1.5.4.2.4.	Arazi Deneylerinin Avantaj ve Dezavantajları	30
1.5.5.	Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri	30
1.5.5.1.	SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi.....	32
1.5.5.1.1.	Seed ve Idriss (1971)	33
1.5.5.1.1.1.	Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması	33
1.5.5.1.1.2.	Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması.....	35
1.5.5.1.2.	Tokimatsu ve Yoshimi (1983).....	36
1.5.5.1.2.1.	Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması	36
1.5.5.1.2.2.	Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması.....	37
1.5.5.1.3.	Iwasaki vd. (1981)	38

1.5.5.1.3.1. Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması	39
1.5.5.1.3.2. Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması.....	39
1.5.5.2. CPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi	40
1.5.5.2.1. Seed De Alba (1986).....	41
1.5.5.2.2. Suzuki vd. (1997)	42
1.5.5.2.3. Robertson ve Wride (1998).....	44
1.5.5.3. Kayma Dalga Hızı (V_s)'na Göre Sıvılaşma Analizi	47
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	49
2.1. İnceleme Alanının Tanıtılması	49
2.1.1. İnceleme Alanının Coğrafi Konum ve Özellikleri	49
2.1.2. İnceleme Alanının Jeolojisi.....	50
2.1.3. İnceleme Alanının Sismolojik Özellikleri.....	51
2.2. Arazi Çalışmaları	54
2.3. Laboratuar Çalışmaları.....	59
2.4. Sıvılaşma Potansiyel Analiz Yöntemlerinin İnceleme Alanına Uygulanması.....	61
2.4.1. Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Programlarının Hazırlanması	63
2.4.1.1. Seed ve Idriss (1971) Yöntemi'ne Göre Programın Hazırlanması.....	63
2.4.1.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemi'ne Göre Programın Hazırlanması	68
2.4.1.3. Iwasaki vd. (1981) Yöntemi'ne Göre Programın Hazırlanması.....	72
2.4.2. Sıvılaşma Analizlerinin Yapılması	77
2.4.2.1. Seed ve Idriss (1971)	78
2.4.2.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983).....	88
2.4.2.3. Iwasaki vd. (1981)	99
2.5. Sıvılaşma Potansiyeli Haritalarının Hazırlanması	109
3. SONUÇLAR	118
4. ÖNERİLER	125
5. KAYNAKLAR.....	126
6. EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ERZİNCAN İL MERKEZİ VE ÇEVRESİNDEKİ ZEMİNLERİN STANDART
PENETRASYON DENEYİ VERİLERİ KULLANILARAK SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Esra SUBAŞI DUMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. S.Banu İKİZLER
2013, 132 Sayfa, 4 Sayfa Ek

Deprem sonrası meydana gelen hasarların en önemli nedenlerinden biri olan zemin sıvılaşması, kohezyonsuz ve suya doymuş kumlu, siltli zeminlerde tekrarlı ve geçici yükler altında meydana gelmektedir. Bu çalışma Erzincan ili ve çevresinin sıvılaşma potansiyelini değerlendirilmesini içermektedir. Kuzey Anadolu Fay Hattına olan yakınlığı nedeniyle, Erzincan ilinin olası bir depremde etkilenebileceği düşünülmektedir. Bu amaçla çalışmada, ampirik ifadeler kullanılarak deprem senaryoları üretilmiş, 6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyelleri belirlenmiştir. Sıvılaşma potansiyeli standart penetrasyon deneyi (SPT) verileri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, farklı yerlerde 63 sondaj kuyusu açılmış ve standart penetrasyon deneyleri (SPT) yapılmıştır. Sondaj kuyularından örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmış, bu numuneler üzerinde, zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Sıvılaşma potansiyel analizleri Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) ve Iwasaki vd. (1981) olarak anılan üç farklı yöntemle yapılmıştır. Sıvılaşma analizlerinin kısa bir süre içerisinde tamamlanması amacıyla, MATLAB programlama dili kullanılarak, sıvılaşma analiz programları hazırlanmış ve sıvılaşma analizleri bu program üzerinden yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise farklı deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır. Analiz sonuçları, yer altı suyu ve kumlu-siltli zeminlerin varlığında, bölgenin sismik özellikleri nedeniyle sıvılaşma potansiyelinin artacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, Sıvılaşma potansiyeli, Erzincan, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL OF ERZINCAN CITY
CENTER AND ITS VICINITY SOILS BY USING STANDARD PENETRATION TEST
DATA

Esra SUBAŞI DUMAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. S.Banu İKİZLER
2013, 132 Pages, 4 Pages Appendix

One of the most important causes of damages after the earthquakes is the soil liquefaction. Liquefaction can be defined as temporary loss in strength of saturated sandy and silty deposits under transient and cyclic loadings. This study includes determination of liquefaction potential in Erzincan city center and its vicinity. Due to the proximity of the North Anatolian Fault Zone, in a probable earthquake, Erzincan Province is thought to be affected. In this context, the earthquake scenarios were produced using the empirical expressions. Liquefaction potential for different earthquake magnitudes was determined. These earthquake magnitudes were selected as 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, respectively. Liquefaction potential was investigated using Standard Penetration Test (SPT) data. The first stage of the study, 63 boreholes in different locations was drilled and Standard Penetration Test (SPT) was performed. Disturbed and undisturbed soil samples were taken from these boreholes. Laboratory testing was performed to determine physical properties of soil samples. Liquefaction potential analyses were examined using three methods, namely Seed and Idriss (1971), Tokimatsu and Yoshimi (1983), Iwasaki et al. (1981). In order to liquefaction analysis complete within a short time, MATLAB program were prepared. Liquefaction potential analyses were carried out with the Matlab program. At the final stage of this study, liquefaction potential maps were prepared for different earthquake magnitudes. Result of the analyses indicate that the presence of ground water and sandy-silty soils increase the liquefaction potential with the seismic features of the region.

Key Words: Liquefaction, Liquefaction potential, Erzincan, Standard Penetration Test (SPT)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı	1
Şekil 2. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı	9
Şekil 3. Cisim Dalgaları ve Yüzey dalgaları	10
Şekil 4. Türkiye deprem bölgeleri haritası	11
Şekil 5. Sıvılaşmanın fiziksel süreci	13
Şekil 6. Yüzeyde kum konileri oluşma biçimi.....	15
Şekil 7. Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma.....	16
Şekil 8. Yanal yayılma oluşma biçimi	16
Şekil 9. İstinat yapısı yenilmesi	17
Şekil 10. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi	18
Şekil 11. Gömülü hafif yapılarda, sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar ...	18
Şekil 12. Zeminlerde sıvılaşabilir granülometri aralığı.....	20
Şekil 13. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) şeması ve SPT kaşığı	26
Şekil 14. Düz veya kısmen eğimli zemin yüzeylerinde gerilme azaltma katsayısının derinlikle değişimi	34
Şekil 15. $M=7.5$ için devirsel direnç oranı ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişki.....	35
Şekil 16. CPT sıvılaşma eğrileri	42
Şekil 17. Düzeltilmiş uç direncine göre sıvılaşma eğrisi	44
Şekil 18. Kesme dalga hızı tabanlı sıvılaşma değerlendirme çizelgesi.....	48
Şekil 19. Erzincan ili ve çevresi.....	49
Şekil 20. Erzincan ili ve çevresinin jeoloji haritası.....	50
Şekil 21. Kuzey Anadolu Fay Zonu.....	51
Şekil 22. İnceleme Alanının lokasyon haritası	55
Şekil 23. İnceleme alanı içerisindeki sondaj kuyuları.....	56
Şekil 24. Sıvılaşma analizi program akış şeması	62
Şekil 25. Veri girişi bölümü program çıktısı	66
Şekil 26. Senaryo depremlerin oluşturulması bölümü program çıktısı.....	67
Şekil 27. Magnitüd düzeltme faktörünün hesaplanması bölümü program çıktısı	67
Şekil 28. Analiz yapılması bölümü program çıktısı.....	67

Şekil 29. Analiz yapılması bölümü(devamı) program çıktısı.....	68
Şekil 30. Veri girişi bölümü program çıktısı	71
Şekil 31. Senaryo depremlerin oluşturulması bölümü program çıktısı.....	71
Şekil 32. Analizin yapılması bölümü program çıktısı.....	71
Şekil 33. Analizin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı.....	72
Şekil 34. Analizin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı.....	72
Şekil 35. Veri girişi bölümü program çıktısı	75
Şekil 36. Senaryo depremlerin oluşturulması bölümü program çıktısı.....	75
Şekil 37. Magnitüd düzeltme faktörünün hesaplanması bölümü program çıktısı	76
Şekil 38. Analizlerin yapılması bölümü program çıktısı.....	76
Şekil 39. Analizlerin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı.....	76
Şekil 40. Analizlerin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı.....	77
Şekil 41. M=6.0 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	110
Şekil 42. M=6.5 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	111
Şekil 43. M=7.0 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	111
Şekil 44. M=7.5 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	112
Şekil 45. M=6.0 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	113
Şekil 46. M=6.5 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	113
Şekil 47. M=7.0 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	114
Şekil 48. M=7.5 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	114
Şekil 49. M=6.0 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	115
Şekil 50. M=6.5 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	116
Şekil 51. M=7.0 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	116
Şekil 52. M=7.5 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası	117

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Rölatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması	20
Tablo 2. Tij boyu düzeltme katsayıları	28
Tablo 3. Kuyu boyu düzeltme katsayıları	28
Tablo 4. Enerji oranı düzeltmesi.....	29
Tablo 5. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan arazi deneylerinin avantaj ve dezavantajları	30
Tablo 6. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından önerilen ince tane oranı düzeltme katsayıları	38
Tablo 7. Iwasaki vd. (1981)'e göre farklı zemin sınıflarının birim hacim ağırlıkları ve ortalama tane çapı	40
Tablo 8. I_z 'nin fonksiyonu olan $f(I_z)$ değerleri	44
Tablo 9. Tarihi Erzincan depremleri.....	52
Tablo 10. Erzincan havzası ve çevresinde 1939'dan sonra meydana gelen depremler	53
Tablo 11. İnceleme alanı zeminlerinin SPT- N_{arazi} değerleri	57
Tablo 12. İnceleme alanının yer altı su seviyesi durumu.....	59
Tablo 13. İnceleme alanındaki zemin türleri.....	60
Tablo 14. İnceleme alanı zeminleri fiziksel özelliklerin ortalama değerleri.....	61
Tablo 15. SPT- N_{arazi} değerlerinin düzeltilmesinde kullanılan katsayılar	66
Tablo 16. a_{maks} (zeminde en büyük yatay yer ivmesi) ve MDF (Magnitüd düzeltme faktörü) değerleri	78
Tablo 17. İl Özel İdare zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	78
Tablo 18. Özel Neon Hastanesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	79
Tablo 19. Devlet Hastanesi B Blok zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	80
Tablo 20. Karayolları 164. Şube Şefliği zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	81
Tablo 21. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	82
Tablo 22. Arıtma tesisi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	83
Tablo 23. Organize sanayi bölgesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	84
Tablo 24. Üzümlü zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	84
Tablo 25. Yalnızbağ zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	86
Tablo 26. Akyazı zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	87

Tablo 27. Altınbaşak zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	88
Tablo 28. r_n (deprem büyüklüğü düzeltme faktörü) değerleri	89
Tablo 29. İl Özel İdare zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	89
Tablo 30. Özel Neon Hastanesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	90
Tablo 31. Devlet Hastanesi B-Blok zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	91
Tablo 32. Karayolları 164.Şube Şefliği zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	92
Tablo 33. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	93
Tablo 34. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	94
Tablo 35. Organize Sanayi Bölgesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	95
Tablo 36. Üzümlü zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	95
Tablo 37. Yalnızbağ zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	97
Tablo 38. Akyazı zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	98
Tablo 39. Altınbaşak zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	99
Tablo 40. İl Özel İdare zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	100
Tablo 41. Özel Neon Hastanesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	101
Tablo 42. Devlet Hastanesi B Blok zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	101
Tablo 43. Karayolları 164. Şube Şefliği zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	102
Tablo 44. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	103
Tablo 45. Arıtma Tesisi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	104
Tablo 46. Organize Sanayi Bölgesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	105
Tablo 47. Üzümlü zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	106
Tablo 48. Yalnızbağ zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	107
Tablo 49. Akyazı zemininin sıvılaşma analiz sonuçları	108
Tablo 50. Altınbaşak zemininin sıvılaşma analiz sonuçları.....	109

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Devirsel direnç oranının hesaplanmasında kullanılan düzeltme katsayısı
a_{maks}	: Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi
C_B	: Kuyu boyu düzeltme katsayısı
C_E	: Enerji oranı düzeltme katsayısı
CL	: İnorganik killer
C_N	: Üst tabaka yükü düzeltme sayısı
C_Q	: Üst tabaka yükü düzeltme sayısı
C_R	: Tij boyu düzeltme katsayısı
C_r	: Devirsel direnç oranının hesaplanmasında kullanılan düzeltme katsayısı
C_s	: Devirsel direnç oranının hesaplanmasında kullanılan düzeltme katsayısı
C_S	: Numune alma metodu katsayısı
C_U	: Üniförlük katsayısı
C_v	: Üst tabaka düzeltme katsayısı
CPT	: Koni penetrasyon testi
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
D_{50}	: Ortalama tane çapı
D_r	: Rölatif Sıkılık
EF	: Emniyet faktörü
f_s	: Ölçülen çeper sürtünmesi
F	: Normalize edilmiş sürtünme oranı
$f(I_z)$: Zemin indeksi I_z ' nin bir fonksiyonu
DDO	: Devirsel direnç oranı
DGO	: Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı
GM	: Siltli çakıllar
GC	: Killi Çakıllar
g	: Yerçekimi ivmesi
ITO	: İnce tane oranı
I_z	: Zemin indeksi
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
K_c	: Granüler karakter için düzeltme katsayısı

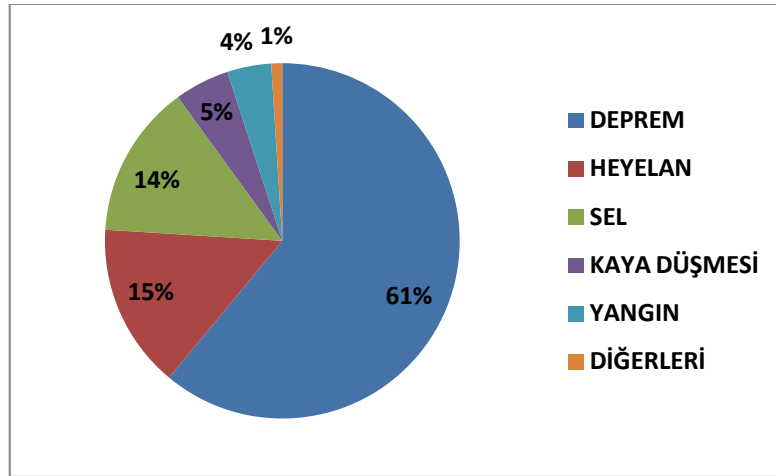
LL	: Likit limit
M	: Deprem büyüklüğü
MDF	: Magnitüd düzeltme faktörü
n	: Devirsel direnç oranının hesaplanmasında kullanılan düzeltme katsayısı
n	: Zemin sınıfını gösteren katsayısı
N	: Ölçülen SPT darbe sayısı
$(N_1)_{60}$: Düzeltilmiş SPT-N değerleri
$(N_1)_{60tk}$: İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT değerleri
$(N_1)_{80}$: %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değeri
NP	: Non-plastik
P_a	: Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi
PL	: Plastik limit
Q	: Normalize edilmiş uç direnç
q_c	: MPa cinsinden uç direnci
q_{ca}	: Zemin indeksine göre düzeltilmiş uç direnci
q_{c1}	: Düzeltilmiş uç direnç
q_{c1tk}	: İnce tane oranına göre düzeltilmiş uç direnç
$(q_c)_{tk}$: İnce tane oranına göre düzeltilmiş uç direnci
R	: Deprem odağından olan uzaklık
r_d	: Gerilme azaltma katsayısı
r_n	: Deprem büyüklüğü düzeltme faktörü
SPT	: Standart penetrasyon Deneyi
$SPT-N_{arazi}$: Ölçülen SPT darbe sayısı
SK	: Sondaj kuyusu
SM	: Siltli kumlar
SC	: Killi kumlar
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi
V_s	: Kayma dalga hızı
V_{s1}	: Düzeltilmiş kayma dalga hızı (Üst tabaka yüküne göre)
VPT	: Koni vibrasyon penetrasyon testi
w	: Su muhtevası
z	: Derinlik
α	: İnce tane düzeltme katsayısı

β	: İnce tane düzeltme katsayısı
Δ_f	: İnce tane oranı düzeltme katsayısı
Δ_{qc1}	: İnce tane düzeltme katsayısı
γ_n	: Doğal Birim Ağırlığı
σ'_c	: Çevre basıncı
σ_d	: Düşey basınç
σ_{vo}	: Düşey toplam gerilme
σ'_{vo}	: Düşey efektif gerilme

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanların hayat ve çevresel koşullarını olumsuz etkileyen, can ve mal kaybına yol açan doğal olaylar “doğal afet” olarak adlandırılmaktadır. Dünyamız, oluşumundan bugüne kadar doğal olayların etkisi altında kalmıştır. 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 iklim özellikleri nedeniyle, can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara neden olan doğal afetlerle sık sık karşılaşmaktadır. Büyük can ve mal kayıplarına neden olan ve yaşamı etkileyen bu doğal afetler arasında depremler ilk sırada yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı (Aksoy, 2011)

Deprem, yapılar üzerinde neden olduğu hasarın, yerel zemin koşulları ile önemli ölçüde etkilendiği artık kaçınılmaz bir gerçektir. Deprem karakteristikleri, ya yerel zemin koşulları ile değişmektedir ya da deprem, yerel zeminlerin özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Suyu doygun kumlar, olumsuz yönde en çok etkilenen zemin türüdür. Bu tür zeminler deprem anında sıvılaşarak, dayanımlarını kaybetmekte ve önemli hasarlara yol

açmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006). Bu nedenle Geoteknik Deprem Mühendisliğinde, zeminlerde sıvılaşma durumunun ortaya çıkmasına neden olan faktörlerin ve sıvılaşma tehlikesinin belirlenebilmesi ve olası zararlı etkilerinin tahmin edilebilmesi önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Literatürde sıvılaşmanın bazı özel durumlarda statik şartlarda da meydana gelebileceğinden bahsedilse de bu çalışmada sadece sismik koşullardaki sıvılaşma üzerinde durulacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Suya doygun kohezyonsuz zeminlerde, deprem sırasında gelişen tekrarlı gerilmelerin etkisiyle meydana gelen zemin sıvılaşması ve sıvılaşmaya bağlı deformasyonlar, Geoteknik Mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerdendir. Geçmişten günümüze kadar 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 1. derece deprem bölgesinde yer alan Erzincan ili, sıvılaşma olayının sıklıkla görüldüğü yerlerdendir. Konunun hassasiyetine rağmen, literatürde Erzincan ilinde sıvılaşma olayına dair çalışmalara çok fazla rastlanılamamaktadır. Erzincan iline dair çalışmalar, genellikle bölgenin depremselliğine dayanmaktadır.

Bu çalışma, Erzincan ili şehir merkezi ve çevresi için sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerin belirlenebilmesini amaçlamaktadır. 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, ilk olarak inceleme alanına ait SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilere dayanılarak sıvılaşma analizi yöntemi belirlenmiş ve hesaplamaların hızlı bir şekilde yapılabilmesi için MATLAB programlama dili ile analiz programları hazırlanmıştır. Program kullanılarak yapılan sıvılaşma analizlerine ait sonuçlar, tablolar halinde oluşturulmuştur. Analizler sonucunda elde edilen veriler ArcGIS programında kullanılarak inceleme alanına ait sıvılaşma potansiyel haritaları oluşturulmuştur.

1.3. Literatür İncelemesi

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, dolayısıyla da efektif gerilme artar ve numune başlangıç konumuna göre daha stabil hale gelir.” tespitini belirtmiştir.

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 doygun kumlar yüksek çevre basınçlarında, düşük çevre basınçlarına göre daha az duyarlı olabilmektedir.

Mogomi ve Kubo (1953) tarafından sıvılaşma terimi ilk defa kohezyonsuz zeminlerde drenajsız dengesiz ve tekrarlı örselenmeden kaynaklanan zemin deformasyonlarını nitelemek üzere kullanılmıştır.

Seed (1966), deprem etkisi altında kumun davranışını açıklayabilmek için kum numuneleri üzerinde deneyler yapmıştır. Ulaştığı sonuçlar sıvılaşma davranışını açıklamak için geliştirilen birçok çalışmaya referans olmuştur. Deprem anında zemini etkileyebilecek gerilme koşullarını dikkate alarak dinamik üç eksenli basınç deneyi yapmıştır. Deneylerde eksenel deviatorik basınç ve çekme uygulayarak modellenmeye çalışmıştır. Bu durum, asal gerilme düzleminde kayma gerilmelerinin olmadığı düz arazi koşullarını temsil etmektedir. Rölatif sıkılığın, 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 yapmışlardır. 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 doymuş, 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 deneyleri yapılmıştır. Ayrıca incelenen alandan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak, laboratuvar deneyleriyle zeminin indeks özellikleri, dinamik yükler altında gerilme şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı davranışları incelenmiştir. Yapılan sondaj ve arazi araştırmaları sonucunda zemin tabakalarının gevşek siltli kum tabakaları ile yumuşak siltli, killi ve organik zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda ise yeterli bir seviyede tekrarlı kayma gerilmelerinin uygulanması durumunda zeminin sıvılaşmasına neden olacak boşluk suyu basınçlarının oluşabileceği gözlenmiştir.

Kramer (1996), suya doymuş kohezyonsuz zeminlerin drenajsız koşullarda statik, geçici veya 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 eksenel gerilme uygulandıkça boşluk suyu basıncında artış meydana geldiğini gözlemlemiştir.

Youd vd. (2001), NCEER/NSF toplantıları sonucunda aldıkları kararları yayınlamışlardır. Yayımlanan kararda sıvılaşma potansiyelini incelemek için ilgili çalışmaları detaylı olarak açıklayarak, arazi deneylerine dayalı yöntemler ile yeni önerilen düzeltmeler hakkında bilgi vermişlerdir.

Aksu ve Toz (2002), 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremden sonra, Sapanca Bölgesinde oluşan konumsal değişikliklerin ve Gölcük Bölgesinde çöken binaların, hava fotoğrafları ve Landsat 7 uydu görüntülerinden sıvılaşma oluşan bölgeleri gösteren bir çalışma yapmışlardır.

Seed vd. (2003), sıvılaşma kavramıyla ilgili bilgiler ve hesap yöntemlerindeki gelişmeleri özetlemişlerdir.

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 10 yıl içerisinde meydana gelen büyük depremlerin yapısal hasar oluşumunun azaltılması yönünde zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışlarının iyi tanımlanmasının gerekliliğini bir kez daha vurgulamıştır. Bu depremler sırasında, düşük plastisiteli siltler ile kumlu zeminler yaygın olarak sıvılaşmış ve killi zeminler taşıma gücü kaybına uğramıştır. Bu nedenle bu çalışma çerçevesinde öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durulmuş ve düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma gücünün nasıl etkilendiği açıklanmıştır.

Çavuş (2004), gevşek kum depozitlerin sıvılaşma potansiyelini bulanık mantık modelleme yöntemi ile birkaç arazi verisine dayanarak tespit etmiştir.

Atak vd. (2005), 1999 Kocaeli depremi öncesine ve sonrasına ait hava fotoğraflarını kullanarak Sapanca Gölü çevresinde, İzmit Körfezi güney kıyılarında ve Sakarya ili şehir merkezinde zemin sıvılaşması ve faylanma nedeni ile meydana gelen konum değişikliklerini tespit etmişlerdir. Ayrıca farklı tarihlerde alınmış hava fotoğrafları kullanılarak yapılan benzer çalışmalarla da, İstanbul ili Avcılar ilçesinde ve Denizli ili Babadağ ilçesinde, zeminde meydana gelen yer değiştirmelerin yönleri ve büyüklüklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak da yeterli sayıda noktada ölçüm yapıldığı takdirde hassas sonuçların elde edilebileceği ve fotogrametrik yöntemin, araştırılan bölgenin tümünü temsil eden sağlıklı yaklaşımlar verebileceği görmüşlerdir.

Karanlık (2006), Hatay, Samandağ, Altinköy ve çevresinin zemin sıvılaşma potansiyelini, bölgeye ait Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Elde edilen SPT sonuçları, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan yer ivmesi, derinlik - SPT değerleri arasındaki ilişkileri veren abaklar yardımıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca, inceleme alanı zeminlerine ilişkin granülometrik analiz sonuçları daha önce farklı depremler sonucu, farklı bölgelerde sıvılaşan zeminlerdeki bilinen granülometri aralıklarıyla karşılaştırılmıştır. 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. Bu çalışmada Erzincan Altınbaşak Köyü, Erzincan Merkez Afet evleri, Erzincan Geçitköy Afet evleri, Erzincan Emniyet Lojmanları Yanı, 4 nolu Gecekondu Önleme Bölgesi, Çukurkuyu Afet evleri bölgelerinin Vs veri haritaları çıkarılmış, tabaka kalınlıkları hesaplanmış, poisson oran haritası çizilmiş ve sıvılaşma potansiyellerinin olup olmadığı saptanmıştır. Elde edilen 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 etkiyen 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), Türkiye’de birinci derecede deprem bölgesinde yer alan Muğla ili, Fethiye ilçesi yerleşim alanında, senaryo bir deprem sonucundaki sıvılaşma potansiyelini araştırmıştır. İnceleme alanında Standart Penetrasyon Testi darbe sayıları ve kayma dalga hızı ölçülerek sıvılaşma analizi yapılmış, sıvılaşma şiddeti indeksine göre sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır.

Taylan vd. (2007), 1999 depremi sonrasında Adapazarı ve çevresindeki birçok yapıda gözlenen ileri derecede oturma, dönme, ötelenme ve göçme gibi yapı hasarlarına örnek teşkil edecek şekilde vaka analizi gerçekleştirmişlerdir. Depremin odak noktasına yaklaşık 35 km mesafedeki Adapazarı'na bağlı Erenler Bölgesi içerisinde ele alınan konut alanındaki mevcut zemin koşullarının deprem yükü altındaki dinamik davranışları incelenmiş, bölgede yapılmış olan arazi deneyleri ve sondajlar kullanılarak yerel zemin koşulları belirlenmiş ve ciddi hasarların kaynağı olduğu bilinen sıvılaşma etkisi analizlerle ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar kendi içlerinde, yapılan çalışmalarla ve deprem sonrası gözlenen gerçek değerlerle karşılaştırılarak bölgedeki zemine ait sıvılaşma potansiyeli ve taşıma gücü problemleri açıklanmıştır.

Toprak ve Jinguuji (2007), yaptıkları çalışmada sıvılaşma tahminlerinde kullanılmak üzere yeni bir arazi testi ve yöntemi üzerinde çalışmıştır. Konik vibrasyon penetrasyon testi (VPT) olarak isimlendirdikleri bu test esnasında konik VPT aleti arzu edilen derinliklere ittirilmekte ve vibrasyon uygulanmakta, bu esnada da ivme, boşluk suyu basıncı ve zemindeki elektrik özdirenci ölçülmektedir. Aletin geliştirilmesi, kalibrasyonu ve arazide doğrulanma çalışmaları için bu aletin prototip modeli ile Japonya'da laboratuvar deneyleri, gerçek ölçütlerdeki alet ile de Sapanca Gölü, Adapazarı kıyısında, Antalya'da ve İzmit Körfezi civarında Yalova'da arazi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sahasında, gerek zemin özelliklerinin tespitinde gerekse VPT deneyleri ile kıyaslamalar amacıyla 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 özdirenci, 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) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri sonuçları ArcGIS

ortamına aktarılmış, Gölcük için ArcGIS ortamında sıvılaşma potansiyeli haritası hazırlanmıştır.

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

Yalçın vd. (2008), Aksaray İli şehir merkezi için Standart Penetrasyon Test (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 Koni Penetrasyon Test (CPT) arazi deneyi sonuçlarından yararlanmışlardır.

Orhan ve Ateş (2011), yaptıkları çalışmada Manisa (Saruhanlı) ilçesinde, alüvyal zeminlerin sıvılaşmadan kaynaklanan taşıma gücü kayıplarını belirlemişlerdir. İlçenin yaklaşık 33 km güneyinde ve 150 km uzunluğundaki “Gediz Grabeni Fay Zonu”nun, bölgeyi etkileyebileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3’nün kırılacağı tahmin edilerek, büyüklüğü 7.1 olan bir depremde, en büyük yatay deprem ivmesinin 0.28g oluşabileceği hesaplanmış, devamında sıvılaşma risk haritası hazırlanmıştır. Risk haritasına göre sıvılaşan lokasyonlardan, numuneler alınmış, laboratuarda arazi şartlarına uygun deney numuneleri hazırlanarak arazide maruz kaldıkları efektif jeolojik yüke eşit oranda konsolide edilmiş ve gerilme kontrollü devirsel yükler sinüzoidal olarak uygulanmıştır. Bu çalışma çerçevesinde öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durulmuş, düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Çalışmanın son aşamada ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma gücünün nasıl etkilendiği incelenmiştir.

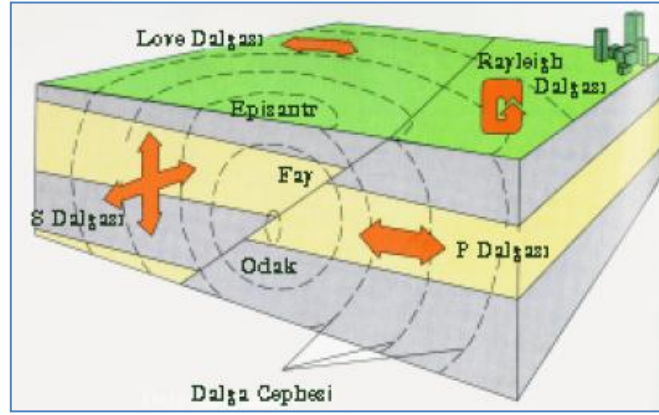
Tosun vd. (2011), Eskişehir ili şehir merkezi için Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak sıvılaşma analizi yapmış, çalışma alanı için sıvılaşma potansiyel haritalarını hazırlamışlardır.

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.

1.4. Deprem

Deprem bir enerji boşalımının takip ettiği yer kabuğunun titreşim hareketidir. Bu enerjiyi genellikle bir fay hattı boyunca oluşan ani hareket üretir. Tektonik gerilmeye maruz kaldığında, fay boyunca kayalar önce bükülür, daha sonra gerilme fay zonundaki sürtünme dayanımını aştığında, kayalar aniden yeni pozisyonlara hareket eder (Rahn, 2006). Bir kalem iki ucundan tutulup bükülürse ortasından eğilmeye başlar. Yeterli miktarda kuvvet uygulandığında kalem kırılır ve biriken enerji serbest kalır. Yerkabuğu da buna benzer davranış sergiler. Plakalar hareket ettikçe üzerlerine kuvvet birikir. Eğer bu kuvvet yeterince büyükse kabuğu kırılmaya zorlar. Kırılma oluştuğunda biriken gerilmeler enerji olarak açığa çıkar. Bu enerji yerkürede dalgalar halinde yayılmaya başlar. Bu olaya deprem denir (Canbey vd., 2008).

Bir deprem meydana geldiğinde, bu depremi anlayabilmek için deprem parametreleri denilen birkaç kavramın bilinmesi gerekmektedir (Şekil 2).



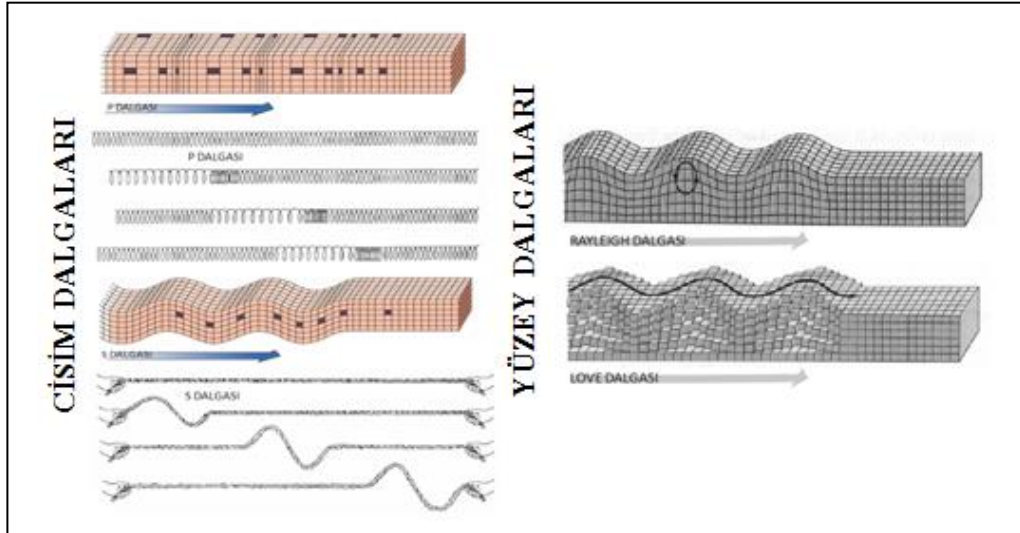
Şekil 2. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı (Onur, 2007)

Deprem olduğunda sismik dalgalar iç merkez (odak, hiposantr) noktasından tüm yönlere yayılır. İç merkez, deprem enerjisinin başladığı bölgedir. Bir depremin dış merkezi (episantr) ise, iç merkez noktasının tam üzerinde yeryüzündeki noktadır.

Enerjini deprem kaynağından yeryüzüne doğru yayıldığı yol, dalga hareketi olarak tanımlanır. Deprem kaynağındaki enerji, dalga hareketi olarak yüzeye ulaşır. Bir dalga bir ortamdan geçen bir çeşit örselenmedir; fakat ortam bir bütün olarak dalga hareketi yönünde ilerlemez. Bir su birikintisine düşen taş tarafından üretilen dalga haizlerine benzerlik

gösterir. Taş düştükten sonra suda hareketlenme olur ve düşme noktasından dışa doğru dalga yayılır; su birikintisinin kenarına ulaşır (Yeats vd., 2006).

Deprem meydana geldiğinde oluşan sismik dalgalar, cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere 2 grupta incelenir (Şekil 3). Yerkürenin içinde hareket edebilen cisim dalgaları P dalgası ve S dalgası olmak üzere ikiye ayrılır. P dalgaları içinden geçtikleri ortamın art arda sıkışmasına veya genişlemesine, S dalgaları ise geçtikleri ortamların kayma deformasyonuna uğramalarına sebep olurlar. Yüzey dalgaları, cisim dalgalarının yeryüzü veya yeryüzü tabakalarıyla olan etkileşimlerinden meydana gelirler. Mühendislik açısından en önemli yüzey dalgaları Rayleigh ve Love dalgalarıdır (Canbey vd., 2008).

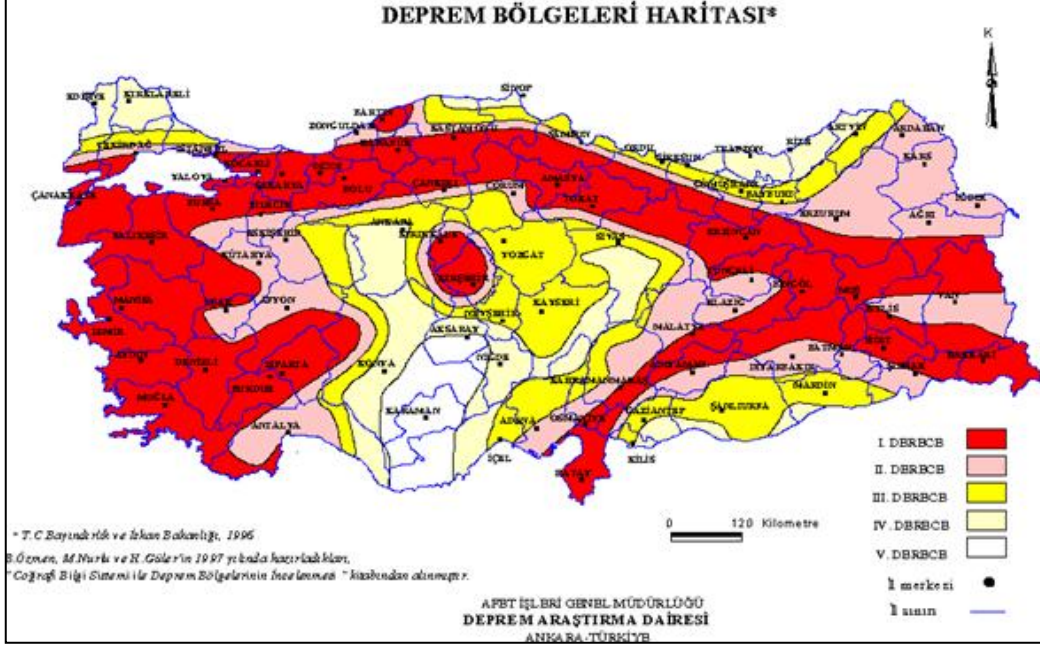


Şekil 3. Cisim Dalgaları ve Yüzey dalgaları (Kutaniş, 2005)

1.4.1. Türkiye'nin Depremselliği

Tektonik açıdan Türkiye, Afrika, Arap, Anadolu ve Avrasya plakalarının üstünde yer alıp, Afrika ve Avrasya levhalarının çarpışmaları sonucu oluşan karmaşık deformasyonların meydana getirdiği yanal ve düşey atımlı fay formasyonlarını içeren Akdeniz Deprem Kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Bu tektonik levha yapılıması çerçevesinde Türkiye'de meydana gelen sismik aktivite üç temel oluşum tarafından kontrol edilir: (1) Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), (2) Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), (3) Batı Anadolu Gerilme Yapısı (Canbey vd., 2008). Türkiye'yi kuzeyden, güneyden ve

batıdan sarkan bu kuşak nedeniyle Türkiye topraklarının büyük bir bölümü deprem tehlikesi altında bulunmaktadır (Şekil 4). Haritadan da anlaşılacağı üzere, deprem riskinin yüksek olması nedeniyle Türkiye’de her yıl ortalama bir yıkıcı deprem meydana gelmektedir. Türkiye’nin yaşadığı 1939 Erzincan depremi ile 1999 Marmara depremi, geçtiğimiz yüzyılda meydana gelen büyük depremler arasında yer almaktadır.



Şekil 4. Türkiye deprem bölgeleri haritası (URL-1, 2012)

1.4.2. Depremlerin Yol Açtığı Zemin Problemleri

Deprem sırasında yer titreşim etkisi altına girdiği zaman depremden etkilenen bölgede, yapı tiplerine, zemin cinsine, bölgenin bir su kütesine yakın olup olmamasına, yer altı su seviyesinin derinliği gibi faktörlere bağlı olarak bir takım problemler meydana gelmektedir (Tonaroğlu, 2006).

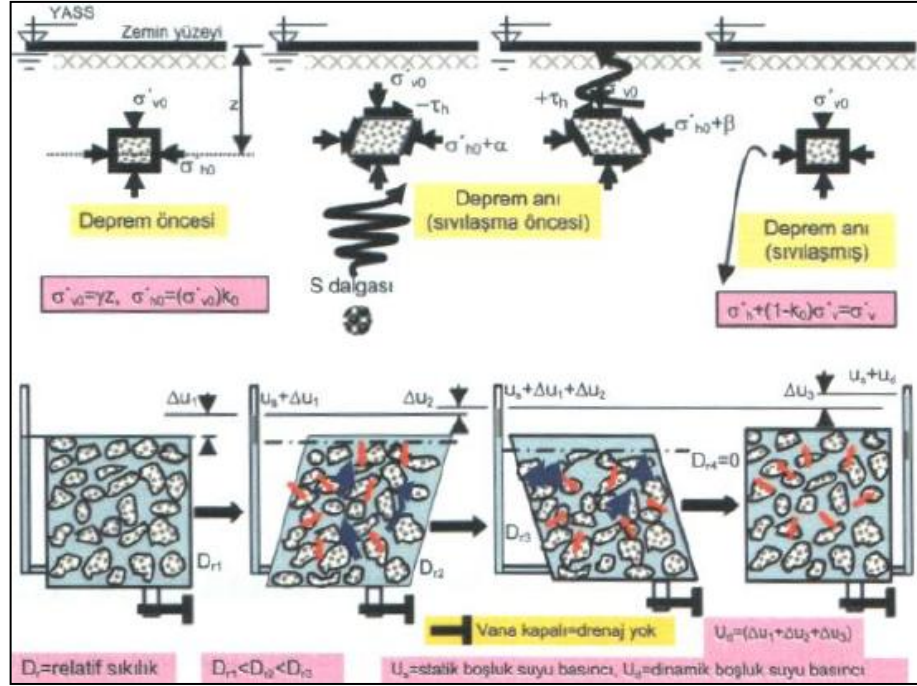
İri taneli zeminler, deprem nedeniyle oluşan titreşimli yüklerin etkisiyle, daha sıkı bir yerleşime geçme eğilimi gösterir, bu da aşırı veya farklı oturmaların meydana gelmesine sebep olabilir. Deprem etkisiyle oluşacak tekrarlı yükler, zeminde boşluk suyu basıncı artmasına, buna bağlı olarak oluşacak mukavemet ve rijitlik kaybı, yapılarda taşıma gücü kayıplarına ve şev kaymalarına sebep olabilir.

Deprem sırasında, kaynaktan yola çıkan sismik dalgalar, yeryüzüne yakın yumuşak zemin tabakalarından geçerken, zemin tabakalarının genliklerinin artmasına sebep olabilir. Deprem nedeniyle oluşacak dinamik etkenler, kohezyonsuz zeminlerin mukavemetlerini kaybetmesine, zeminin katı yerine bir viskoz sıvı gibi davranmasına sebep olabilir. Zemin sıvılaşması olarak adlandırılan bu olay, aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

1.5. Zeminlerde Sıvılaşma

Depremler sırasında meydana gelen, mühendislik yapılarının önemli derecede hasar görmelerine ya da yıkılmasına neden olan sıvılaşma olayı, karmaşık ve üzerinde çok tartışılan konulardan biridir. İnsan hayatı ve yapılar üzerine olan olumsuz etkileri nedeniyle bu konuda yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır. Ülkemizde meydana gelen önemli depremlerde de (1992 Erzincan, 1999 Adapazarı) görüldüğü üzere, sıvılaşma olayı önemli hasar sebepleri arasında kalmaya devam etmektedir.

Gevşek suya doygun kum, siltli-kum veya çakıl zeminlerde görülen sıvılaşma olayının temel mekanizması; deprem etkisiyle, ana kaya formasyonundan kayma dalgalarının zemin yüzeyine doğru yayılması sonucunda meydana gelen tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisiyle aşırı boşluk suyu basınçlarının oluşmasıdır. Kohezyonsuz zemin, deprem kaynaklı titreşimlere maruz kaldığında, sıkışma eğilimi ve hacimce küçülme gösterir. Suyun drenajı mümkün değilse, oluşan hacimdeki azalma eğilimi boşluk suyu basıncında artışa neden olur. Boşluk suyu basıncındaki bu artış düşey gerilmeye eşit olma noktasına erişirse, efektif gerilme sıfırlanır ve kayma mukavemetini tamamen kaybeder. Bu durumda sıvılaşma olayı gelişir (Çavuş, 2004). Şekil 5’de sıvılaşma olayının fiziksel süreci görülmektedir.



Şekil 5. Sıvılaşmanın fiziksel süreci (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

Suya doymun gevşek zeminlerde, deprem gibi bir dinamik etki sonucunda gözlenen zemin sıvılaşması, yaygın biçimde araştırma konusu olmuştur. Geçmiş depremler sırasında meydana gelen olaylar incelendiğinde sıvılaşmanın çoğunlukla aşağıdaki zemin koşullarında oluştuğu gözlenmiştir;

- Doygun 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,
- 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).

1.5.1. Sıvılaşma Türleri

Neden olduğu hasar tipleri göz önüne alındığında iki tür sıvılaşmadan bahsetmek mümkündür:

- Akma türü sıvılaşma
- Devirsel hareketlilik (mobilite)

1.5.1.1. Akma Türü Sıvılaşma

Akma türü sıvılaşma, zeminin statik dengesi için gerekli kayma gerilmelerinin, sıvılaşmış zeminin dayanımından büyük olduğu durumlarda oluşur ve büyük hasarların gözlemlendiği akma yenilmelerini oluşturur. Genellikle büyük bir zemin kütlelerinin onlarca metre deplasman yapması şeklinde oluşan akma türü sıvılaşma, bir kez tetiklendikten (başladıktan) sonra, tamamen statik kayma gerilmeleri tarafından sürdürülür (Kramer, 1996).

1.5.1.2. Devirsel Hareketlilik (Mobilite)

Devirsel hareketlilik deprem sarsıntısı sırasında kabul edilemeyecek düzeyde büyük ve kalıcı deformasyonlara neden olan diğer 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 (Uyar, 2006). Yanal yayılma olarak adlandırılan bu tür deformasyonlar, su kütlelerinin yanındaki az eğimli veya hemen hemen düz yüzeyli zeminlerde görülür. Yapılaşmanın olduğu bölgelerde önemli hasarlara neden olabilirler (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Devirsel hareketliliğin özel bir durumu düz yüzeyli zemin sıvılaşmasıdır. Yanal deformasyonları engelleyecek statik yatay kayma gerilmelerinin mevcut olmaması, bir deprem sırasında yer salınımı olarak bilinen büyük boyutlu ve düzensiz hareketler oluşturmakta, bunun sonucunda ise zemin de aşırı boşluk suyu basıncı oluşmaktadır. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenme ihtiyacı, zemin içindeki suyun yukarı yönde hareket etmesine neden olur. Boşluk suyunun hareketi, zemindeki çatlaklar arasından kum tanelerinin taşınmasına, bu da kum kaynaması oluşumu ve aşırı düzey oturmalarına sebep olabilir.

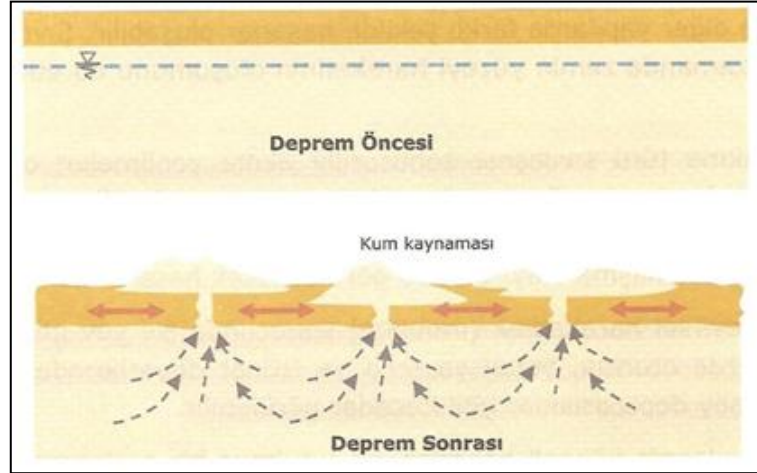
1.5.2. Sıvılaşmanın Neden Olduğu Hasarlar

Akma türü ve devirsel hareketlilik sıvılaşma türleri nedeniyle binalarda, köprülerde, boru hatlarında ve diğer yapılarda değişik şekillerde hasarlar meydana gelmektedir.

Ağır yapıların batması veya devrilmesi, hafif gömülü yapıların yüzeye çıkması ve istinat yapılarının yıkılması akma türü sıvılaşma olayı sonucu görülebilecek hasarlardandır. Devirsel hareketlilik (mobilite) sonucunda ise şev göçmesi, binalarda oturma, yanıl yayılma ve düşey deplasmanlar gibi hasarlar görülebilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

1.5.2.1. Kum Kaynaması

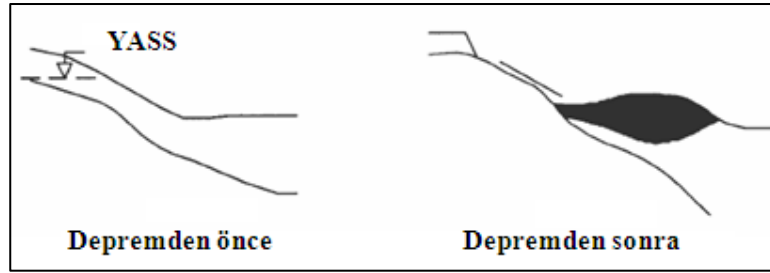
Deprem sarsıntısı sırasında ve sonrasında, boşluk suyu basıncındaki artış, hidrolik eğimi kritik bir değere ulaştırabilir. Bu durumda efektif gerilme değeri sıfır veya negatif olur. Su yüzeye doğru hareket ederken, zemin tanelerini de yüzeye taşır. Eğer yüzeye doğru hareket eden karışımın enerjisi yeterli olur ise, yüzeyde kum kaynamaları görülür (Şekil 6).



Şekil 6. Yüzeyde kum konileri oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.2.2. Akma Göçmesi

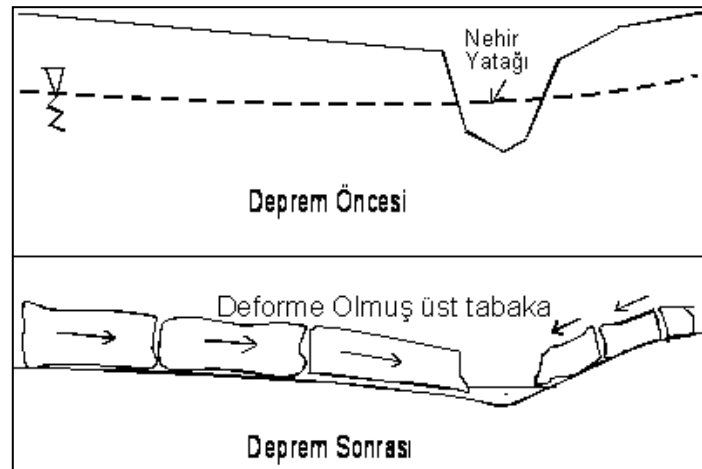
Üç dereceden daha fazla topoğrafik eğimlerde meydana gelen akma göçmeleri, toprak barajların, şevlerin büyük derecede yenilmelerine neden olmaktadır. Akma göçmeleri ansızın ortaya çıkmaları ve çabuk gelişmeleri nedeniyle, sıvılaşmanın meydana geldiği en kötü göçmelerdendir. Şekil 7’de sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma örneği görülmektedir.



Şekil 7. Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma (Uyanık, 2002)

1.5.2.3. Yanal Yayılma

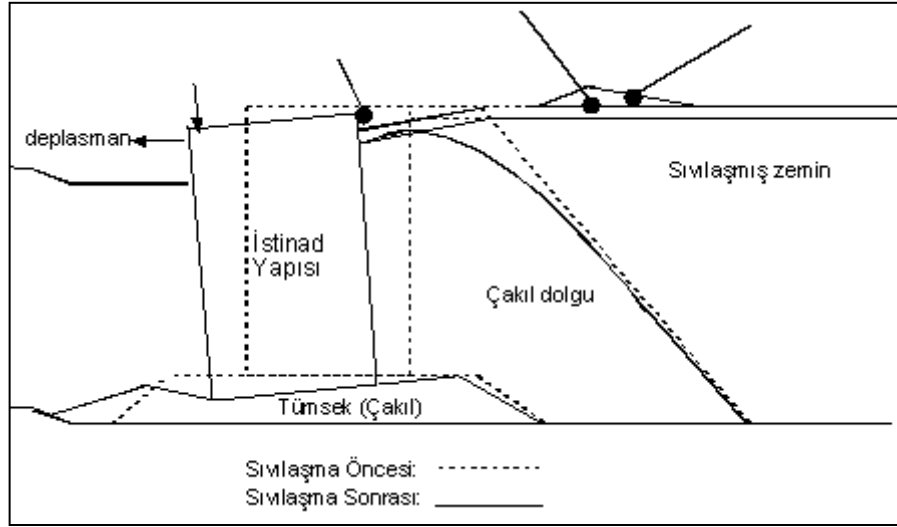
Topoğrafik eğimin 3 dereceden az olduğu yamaçlarda veya deniz, göl ve nehir gibi ortamlara komşu düzlüklerde gelişmektedir. Sıvılaşan zemin yüzeyi üzerindeki örtü zeminlerinin, bloklar halinde sürüklenmesi ve yanal yönde hareket etmesidir (Şekil 8).



Şekil 8. Yanal yayılma oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.2.4. İstinat Yapısı Yenilmesi

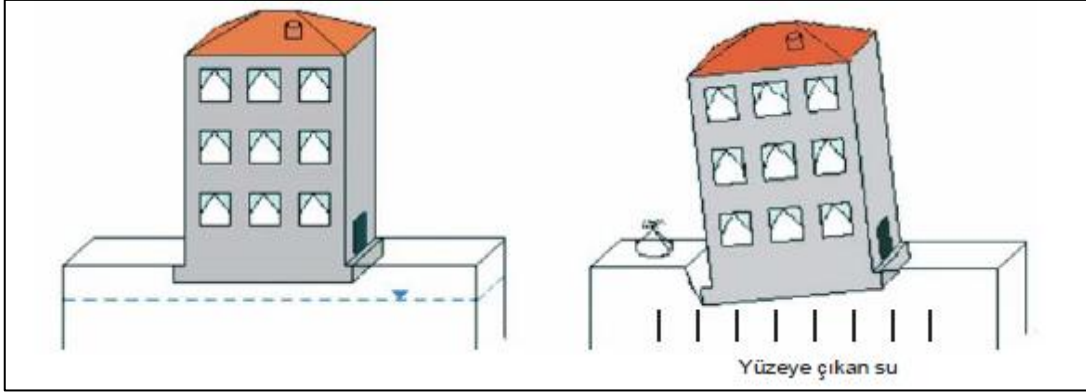
Sıvılaşmış temel zemininin destek kaybından veya istinat yapısı arkasındaki sıvılaşmış zeminden oluşan artan yanal yüklerden kaynaklanır. Bu etkiler sonucu istinat yapısı düşey ve/veya yatay yönde deplasmanlara maruz kalır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006). Şekil 9’da istinat yapısının yenilmesi olayı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 9. İstinat yapısı yenilmesi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.2.5. Taşıma Gücü Kaybı

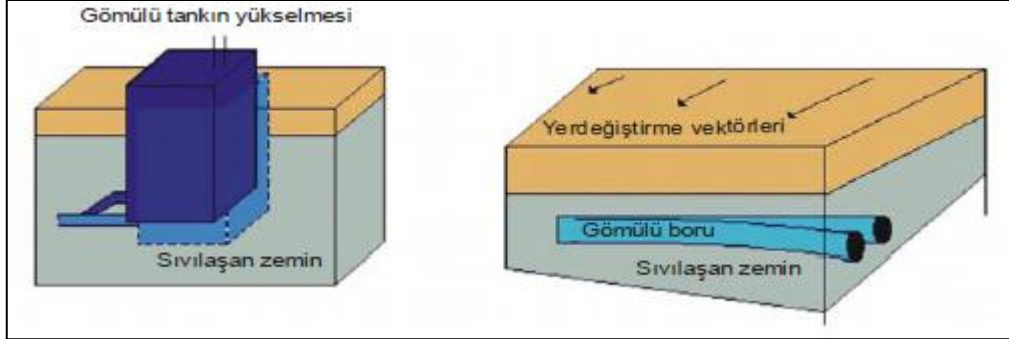
Zeminlerin sıvılaşması sonucunda, temel zemininde taşıma gücü kaybı meydana gelmektedir. Bunun sonucunda yapılarda yan yatma, devrilme ya da batma gibi hasarlar görülebilmektedir. Şekil 10’da zeminin taşıma gücünü yitirmesi sonucu meydana gelen hasar tiplerine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 10. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi (Sönmez, 2006)

1.5.2.6. Gömülü Hafif Yapıların (boru, tank vb.) Yükselmesi

Gömülü tank, muayene bacası, boru gibi gömülü hafif yapılar, sıvılaşma sonucunda meydana gelen kaldırma kuvvetinin etkisiyle zemin yüzeyine doğru yükselbilmektedir. Bu durumda Şekil 11’de görüldüğü gibi hasarlar oluşmaktadır.



Şekil 11. Gömülü hafif yapılarda, sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Sönmez, 2006)

1.5.3. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Zeminde sıvılaşma olayının oluşmasına sebep olan birçok faktör bulunmaktadır. Laboratuvar deneyleri ile arazi gözlem ve çalışmalarına dayanılarak belirlenen bu faktörler, zemin faktörleri ve dış faktörler olmak üzere 2 grupta incelenmektedir.

1.5.3.1. Sıvılaşmaya Etki Eden Zemin Faktörleri

1.5.3.1.1. Zemin Tipi

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

Sıvılaşan zeminleri daha geniş bir perspektifte inceleyecek olursak:

- Kumlu zeminler;
 - Temiz kumlar sıvılaşmaya en uygun 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 ($LL < 35$).
- Çakıllı zeminler;
 - Bu tür zeminler daha geçirimli olduklarından sismik yükleme sırasında oluşan tekrarlı boşluk suyu basıncı daha çabuk sönmünebilir.
 - Çakıllı zeminler, jeolojik oluşumlar sırasında, iri tanelerin ağır kütleleri nedeniyle gevşek halde nadir görülmektedir.

1.5.3.1.2. Zemini Rölatif Sıklığı (D_r)

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri kohezyonsuz zeminlerde zeminin sıklık durumunu yansıtan bir terim olan rölatif sıklıktır. Tablo 1'de Seed ve Idriss (1971)'e göre rölatif sıklık-zemin sınıflaması ilişkisi görülmektedir. Bu zemin sınıflandırması göz önüne alındığında rölatif sıklık değeri

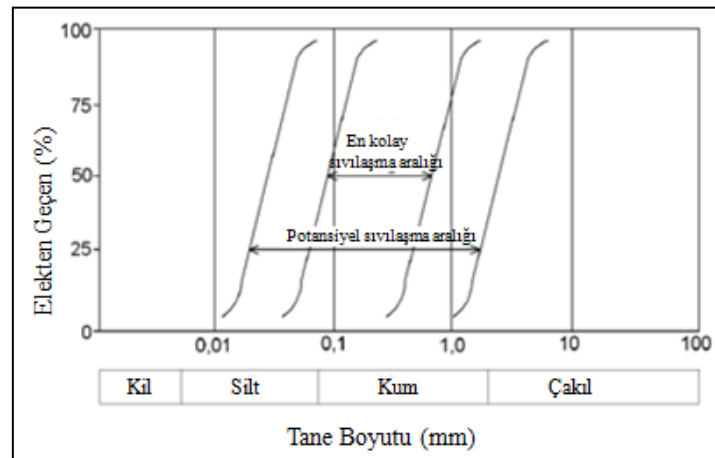
%65'den büyük olan zeminlerde sıvılaşmanın oluşmayacağı söylenebilir. Nitekim 1964 Niigata depreminde rölatif sıkılığı %50 olan kumlu zeminlerde sıvılaşma oluşmuş fakat rölatif sıkılığı yaklaşık %70 olan bölgelerde sıvılaşma oluşmamıştır (Mollamahmutoglu ve Babuucu, 2006).

Tablo 1. Rölatif sıkılığa göre zeminlerin sınıflandırılması

Rölatif Sıklık (D_r) %	Açıklama
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

1.5.3.1.3. Tane Boyu Dağılımı

İyi derecelenmiş zeminlerde hacimsel deformasyona olan eğilim az olduğu için drenajsız koşullarda gelişebilecek 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 duyarlılığı iyi derecelenmiş zeminlerden daha fazladır. Şekil 12'de, potansiyel sıvılaşma eğilimine sahip zeminler için tane boyutu açısından sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyutu dağılımı eğrileri verilmiştir.



Şekil 12. Zeminlerde sıvılaşabilir granülometri aralığı (Akkaş, 2006)

1.5.3.1.4. Yerleştirme ve çökelleme Ortamı

Göllerde, nehirlerde veya denizlerde oluşan doğal çökeller, gevşek ve dağınık zemin yapısı oluşturma eğiliminde olup, sıvılaşmaya duyarlıdır.

1.5.3.1.5. Drenaj Şartları

Suya doygun, gevşek kum / kumlu zeminler, tekrarlı yükler etkisinde, sıkışma ve hacim daralması eğilimi gösterirler. Bu eğilim drenajın olmadığı koşullarda boşluk suyu basıncını artırır. Aşırı boşluk suyu basıncı, hızlı bir şekilde sönümlenebilirse zeminde sıvılaşma olayı meydana gelmeyebilir.

1.5.3.1.6. Çevre Basınçları

Çevre basıncı ne kadar büyük olursa, zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı o kadar az olur. Arazi incelemeleri, olası sıvılaşma bölgesinin genellikle zemin yüzeyinden yaklaşık 15 m'lik bir derinliğe indiğini göstermektedir. Daha derinde yer alan zeminlerin, genellikle yüksek çevre basınçlarından dolayı sıvılaşma potansiyelinin olmadığı düşünölmektedir. Bu durum 15 m'den daha derindeki zeminlerde sıvılaşma analizi yapılmayacağı anlamına gelmez. Birçok durumda, 15 m'den daha derin zeminlerin sıvılaşma analizi yapmak gerekebilir. Bir sıvılaşma analizinin hangi derinlikte sonlandırılması konusunda büyük tecrübe ve mühendislik yargısı gereklidir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

1.5.3.1.7. Tane Şekli

Zeminin tane şekli de sıvılaşma potansiyelini etkileyen bir faktördür. Yuvarlak zemin taneleri içeren bir zeminde sıvılaşma olayının meydana gelme ihtimali, köşeli zemin taneleri içeren bir zemine göre daha yüksektir.

1.5.3.1.8. Yaş ve Çimentolanma

Zeminlerin yaş özelliği zeminler için önemli bir faktördür. Yeni çökelmiş zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, eski zemin çökellerinden daha fazladır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Çimentolaşma olayı ise zaman içerisinde, zemin tanelerinin birbiriyle temas etmesi sonucu meydana gelebilir. Böyle bir durumda zemin daha sıkı hale geçeceği için sıvılaşma meydana gelme riski azalır.

1.5.3.1.9. Sismik Geçmiş

Araştırmacılar, geçmişte sıvılaşmaya maruz kalmış zeminlerin yeni depremler ile birlikte tekrar sıvılaşma gösterme ihtimalinin yüksek olduğunu hem laboratuvar çalışmalarına hem de arazi gözlemlerine dayanarak kanıtlamışlardır.

1.5.3.2. Sıvılaşmaya Etki Eden Dış Faktörler

1.5.3.2.1. Depremin Büyüklüğü ve Süresi

Zeminlerin sıvılaşmasına neden olan en önemli faktör hiç kuşkusuz ki depremdir. Bu nedenle sıvılaşmaya etki eden faktörler incelenirken, depremlerin de bir takım 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.
- Depremin Süresi; deprem süresinin uzaması tekrarlı gerilmelerin zemine uygulanma süresini uzatacağından, sıvılaşma tehlikesini önemli ölçüde arttıran bir etkidir (Dere, 2009).

1.5.3.2.2. Bina Yüklere

Bir kum çökeli üstüne ağır bir binanın inşası zeminin sıvılaşma direncini azaltabilir. Örneğin, zemin yüzeyinde bir radyenin ağır bir binayı desteklediğini düşünürsek, radye altındaki zemin, bina yükünün neden olduğu kayma gerilmelerine maruz kalır. Bina yükünün zeminde neden olduğu bu kayma gerilmeleri zemini sıvılaşmaya karşı daha duyarlı yapabilir. Bunun nedeni; zeminin hacimsel büzülmesi ve dolayısıyla sıvılaşma için gerekli deprem kökenli ilave kayma gerilmesinin daha küçük olmasıdır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

1.5.4. Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Laboratuar ve Arazi Deneyleri

Deprem yüklemesinin (yer sarsıntısının) etkisi ile suya doymun gevşek kumlu zeminlerde sıvılaşma olması, zemin tabakalarının mukavemetini kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu olay, zemin yüzeyinde bulunan yapılarda hasar meydana getirmektedir. Zemine oturtulan söz konusu yapıların güvenliğinin sağlanması için gevşek kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Kumlu zeminlerde, sıvılaşma olayının incelenmesi ve mühendislik uygulamalarında, bir bölgenin sıvılaşma olasılığının değerlendirilmesi isteniyor ise, laboratuar dinamik deney metotlarının kullanılması gerekmektedir. Bu deneylerin dışında, sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için, bazı arazi deneylerinden de yararlanılmaktadır (Yatman, 2006).

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan laboratuar deneyleri yüksek deformasyonlu deneyler kategorisine girmektedir. Yüksek kayma deformasyonu genliklerinde zemin genellikle hacim değişimi eğilimindedir. Zemin davranışı efektif gerilme ile belirlendiğinden, yüksek deformasyon seviyelerinde yapılan deneylerde numunenin boşluk suyu drenajı kontrolü ve hacim ve/veya boşluk suyu basıncı değişiminin ölçümü kesinlikle sağlanmalıdır (Akkaş, 2006).

1.5.4.1. Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Laboratuar Deneyleri

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

1.5.4.1.1. Devirsel Üç Eksenli Basınç Deneyi

Az örselenmiş suya doymun kum numunesi, çevre basıncı (σ'_c) altında konsolide edilir. Konsolidasyon sırasında drenaja müsaade edilmektedir. Daha sonra devirsel eksenel düşey basınç (σ_d) uygulanarak, numune deformasyona zorlanır. Devirsel yükleme süresince, eksenel deformasyon ve aşırı boşluk suyu basıncı, uygulanan σ_d devirsel gerilmesinin devri ile birlikte ölçülmektedir. Bu ölçümlerde, boşluk suyu basıncının, çevre basıncına (σ'_c) eşit olduğu an tespit edilir. Boşluk suyu basıncının çevre basıncına eşit olduğu durumda, zemin taneleri mukavemetini kaybettiğinden zeminde sıvılaşma olayı gerçekleşmektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçu, 2006).

1.5.4.1.2. Devirsel Basit Kesme Kutusu Deneyi

Devirsel basit kesme kutusu deneyi, arazide oluşan deprem yüklerine çok benzer sonuçlar vermektedir. Deney, suya doymun kum numunesine, düşey yönde efektif gerilmenin uygulanması, daha sonra da devirsel kayma gerilmesinin zemin numunesine uygulanması şeklinde yapılmaktadır. Devirsel yükleme süresi boyunca, boşluk suyu basıncındaki artış ve eksenel 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 Babuçu, 2006).

1.5.4.2. Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Arazi Deneyleri

Arazi deneylerinin avantajı zemini doğal durumda test etmemizi 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 kapsamında analizler standart penetrasyon deneyi (SPT) kullanılarak yapıldığından, bu arazi deneyi daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

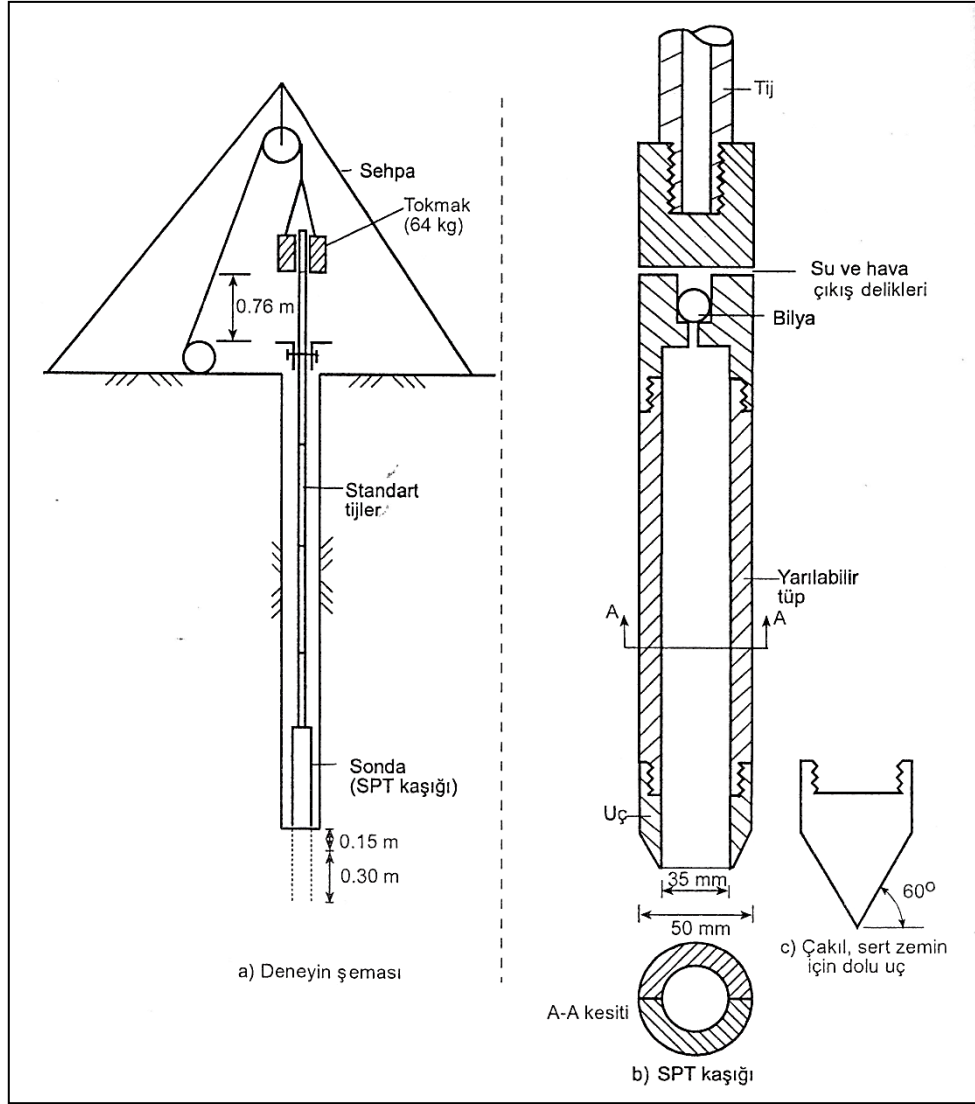
1.5.4.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

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).

1.5.4.2.1.1. Standart Penetrasyon Deneyinin Yapılışı

SPT, dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmağın düşürülerek standart bir numune alıcının zemine 45 cm çakılması şeklinde uygulanmaktadır (Şekil 13). Numune kaşığının zemine son 30 cm'lik girmesine karşı gelen toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci ($SPT-N_{arazi}$) olarak tarif edilir. Bu deney, yumuşak killer ve gevşek kumlardan çok sert killer ve sıkı kumlara kadar çeşitli zemin türlerinde uygulanabilmektedir (Sivrikaya ve Toğrol, 2003).



Şekil 13. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) şeması ve SPT kaşığı (Uzuner, 2011)

1.5.4.2.1.2. SPT'nin Sonucunu Etkileyen Faktörler ve SPT- N_{arazi} Değerinin Düzeltilmesi

Birçok değişken ve faktör SPT sonuçlarını etkilemektedir. Bunun sonucu olarak da ölçülen SPT- N_{arazi} değerleri çok yüksek veya çok aşırı düşük olabilmektedir. Yanlış sondaj metotları, yanlış sondaj deliği stabilizasyonu, yanlış deney prosedürü, standart olmayan veya hatalı aletlerin kullanımı ve sonuçların doğru olarak kaydedilmemesi, SPT sonuçlarını etkileyen faktörlerden bazılarıdır.

Bahsedilen bu faktörler nedeniyle, ölçülen SPT- N_{arazi} değerlerinin düzeltilmesi gerekmektedir. Düzeltilmiş SPT-N değerleri aşağıda verilen ampirik ifade kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$(N_1)_{60} = N C_N C_R C_S C_B C_E \quad (1)$$

Burada,

$(N_1)_{60}$ = Düzeltmiş SPT-N değerleri

N = Ölçülen SPT darbe sayısı

C_N = Üst tabaka yükü düzeltme sayısı

C_R = Tij boyu düzeltme katsayısı

C_S = Numune alma metodu katsayısı

C_B = Kuyu boyu düzeltme katsayısı

C_E = Enerji oranı düzeltme katsayısıdır.

Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı C_N , genellikle Liao ve Whitman (1986) tarafından verilen aşağıda eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.7 \quad (2)$$

Burada,

P_a = Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi

σ'_{vo} = P_a ile aynı birime sahip düşey efektif gerilmedir.

Youd vd. (2001)' e göre C_N değeri 1.7'yi aşmamalıdır. Kayen vd. (1992) ise yine 1.7 değerini aşmamak üzere C_N değeri için aşağıdaki ifadeyi önermişlerdir.

$$C_N = 2.2 / (1.2 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}) \quad (3)$$

C_N değerini hesaplamak için kullanılan diğer bir yöntemde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından geliştirilen,

$$C_N = \frac{170}{70 + \sigma'_{vo}} \quad (4)$$

eşitliğidir.

Yukarıda verilen her üç eşitlik de mühendislik hesaplamalarında kullanılabilir.

Youd vd., (2001) 200 kPa'a kadar olan düşey efektif gerilme değerlerinde eşitlik (2)'nin güvenilirliğini onaylamışlar ama 200 kPa'dan büyük düşey efektif gerilmelerde, sonucun belirsiz olacağını belirtmişlerdir. Eşitlik (3), 300 kPa'a kadar olan düşey efektif gerilme değerleri için daha tutarlı sonuçlar vermektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Youd vd. (2001) tarafından önerilen C_R (Tij boyu düzeltme katsayısı) değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tij boyu düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	Tij boyu düzeltme katsayısı C_R
$d < 3$	0.75
$d = 3 - 4$	0.80
$d = 4 - 6$	0.85
$d = 6 - 10$	0.90
$d = 10 - 30$	1.00

Numune alma yöntemi katsayısı (C_S), eğer numune alma yöntemi standart numune alıcı (kılıflı) ise 1.0, kılıfsız numune alıcı ise 1.1-1.3 değerleri arasında değişen bir değer almaktadır.

Robertson ve Fear (1996) tarafından önerilen kuyu boyu düzeltme katsayısı (C_B) değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kuyu boyu düzeltme katsayıları

Kuyu Çapı (mm)	Kuyu boyu düzeltme katsayısı (C_B)
65 - 115	1.05
150	1.05
200	1.15

Bir başka önemli faktör, şahmerdandan zemine iletilen enerji veriminin düzeltilmesidir. Zemine iletilen enerji verimi şahmerdan mekanizmasına ve şahmerdanın serbest bırakılma yöntemine bağlıdır. Enerji ölçümleri, numune alıcıya aktarılabilen gerçek enerji miktarını Kovacs ve Salomone (1982)'a göre %30-%80, diğer araştırmacılara göre

%70–100 arasında değişebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte birçok ülkede, enerji verimi olarak %60 oranı kabul edilmiştir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Seed vd. (1985)' e göre enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E) değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Enerji oranı düzeltmesi

lke	şahmerdan tipi	şahmerdan bırakma yöntemi	Tahmin edilen enerji oranı	% 60 enerji oranına göre düzeltme katsayısı
Japonya	Donut	Serbest dşl	78	$78/60=1.30$
	Donut	zel bırakma yöntemine sahip halat ve makara	67	$67/60=1.12$
ABD	Güvenlikli	Halat ve makara	60	$60/60=1.00$
		Halat ve makara	45	$45/60=0.75$
Arjantin	Donut	Halat ve makara	45	$45/60=0.75$
in	Donut	Serbest dşl	60	$60/60=1.00$
	Donut	Halat ve makara	50	$50/60=0.83$

1.5.4.2.2. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)

Hollanda koni veya koni penetrasyon deneyi olarak da adlandırılan bu deneyde, bir elik boru ile bunun içinden geçen ve ucunda bir koni bulunan çubuk, sıra ile zemine itilerek uç ve sürtünme dirençleri ayrı ayrı saptanmaktadır. Koni 3.6 cm çaplı ve 10 cm² alanlı olup, uç açısı 60° dir. Boru dış çapı koni tabanı çapı kadardır. Deney için sondaj kuyusu amaya gerek yoktur. Deneyde önce boru ve koni birlikte zemine itilir. Sonra uç tek başına itilerek penetrasyon için gerekli basınç ve ilerleme esnasında sürtünme direnci llr. Gevşek ve üniform zeminlerde başarıyla yapılan bu deney, sıkı, köşeli, taneli ve çakıllı zeminlerde iyi sonuç vermemektedir. Deney derinliği boyunca zeminin kesintisiz profilini çıkarmak mümkün olsa da, deneyin en olumsuz yn örnek alınamamasıdır (Kılıç, 2009).

1.5.4.2.3. Kayma Dalga Hızı (V_s) Deneyi

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

1.5.4.2.4. 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 Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. 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 kanıtlanabilirlik	Zayıf iyi arası	Çok iyi	İyi
Zeminlerdeki değişkenliğin izlenebilmesi	Kısa aralıklarla yapılan deneylerde iyi	Çok iyi	Orta
Hangi zemin tipi için önerildiği	Çakılsız zeminler	Çakılsız zeminler	Hepsi
Zemin numunesi alınıyor mu?	Evet	Hayır	Hayır
Deney indeks mi, mühendislik özelliği mi ölçüyor?	İndeks	İndeks	Mühendislik

1.5.5. Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri

Deprem bölgelerinde bulunan suya doymuş gevşek granüler 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 ifadeler türetmişlerdir. Laboratuarda yapılan deneylerde, örselenmemiş numune alma sıkıntısı ve deneylerin uzun zaman alması nedeniyle, sıvılaşma analizlerinde genellikle arazi deneyleri kullanılmaktadır. Sıvılaşma analizlerinde tercih edilen arazi deneyleri Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)'dir. Ayrıca kayma dalga 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)

- 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 sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını veya tahmin edilmesini gerektirmektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu). Bunlar:

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),

- Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Sıvılaşma, deprem nedeniyle oluşan yüklerin, sıvılaşma direncini aştığı derinliklerde oluşmaktadır. Bu ifade, bir emniyet faktörü cinsinden aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006):

$$EF = \frac{DDO}{DGO} MDF \quad (5)$$

Burada,

EF =Emniyet faktörü,

DDO = Devirsel direnç oranı,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı,

MDF =Magnitüd düzeltme faktörüdür

Seed ve Idriss 1971’de önerdikleri sıvılaşma analiz yöntemlerini geliştirmek amacıyla çalışmalar yapmaya devam etmişlerdir. 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 magnitüd düzeltme faktörünü yenileyerek aşağıdaki eğitliği önermişlerdir (Uyar, 2006):

$$MDF=10^{2.24} / M^{2.56} \quad (6)$$

MDF =Magnitüd düzeltme faktörü

M =Deprem büyüklüğü

Aşağıda 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 az 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).

1.5.5.1. SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığının hesaplanmasında en çok kullanılan arazi deneyi Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)’dir. Verilerin kolay elde edilişi, daha önceki depremlerde elde edilmiş verilerden hazırlanan veri tabanının olması ve bu verilerin oluşabilecek yeni depremlerle korelasyonun iyi olması nedeni ile sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde SPT yaygın olarak kullanılan bir arazi deneyi olarak önemli bir yer kazanmıştır (Şişman, 2006).

Sıvılaşma potansiyeli, SPT verileri kullanılarak 3 ayrı yöntemle belirlenebilmektedir.

1.5.5.1.1. Seed ve Idriss (1971)

1.5.5.1.1.1. Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması

Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen yöntemle göre devirsel gerilme oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$DGO = 0,65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (7)$$

Burada,

DGO = Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g = Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} = Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

r_d = Gerilme azaltma katsayısıdır.

Zemin 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 aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

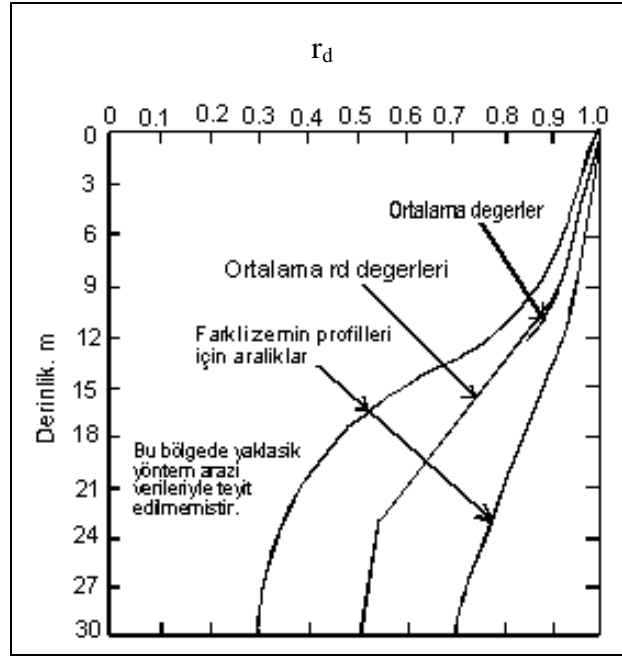
$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} * e^{-0.025 R} - 1) \quad (8)$$

Burada,

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır.

Şekil 14'de, Seed ve Idriss (1971) tarafından düzenlenen, r_d (gerilme azaltma katsayısı) değerinin derinlikle değişimini gösteren eğri verilmiştir.



Şekil 14. Düz veya kısmen eğimli zemin yüzeylerinde gerilme azaltma katsayısının derinlikle değişimi (Unutmaz, 2008)

Liao ve Whitman (1986) tarafından önerilen gerilme azaltma katsayısı (r_d) aşağıdaki eşitlik yardımıyla da hesaplanabilmektedir:

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

$$r_d = 1.174 - 0,0267 z; 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (10)$$

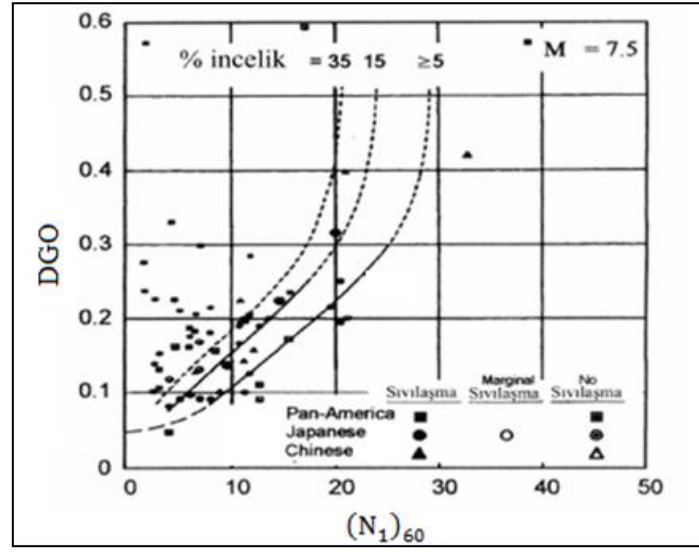
Burada; z , zemin yüzeyinden itibaren metre cinsinden derinliktir. Youd vd., (2001), Şekil 13'deki ortalama değer eğrisinden alınan r_d değerlerini kullanarak aşağıdaki eşitliği oluşturmuşlardır.

$$r_d = \frac{1.0 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1.0 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2} \quad (11)$$

Bu eşitlik sıvılaşma analizlerinde kolaylık sağlamaktadır.

1.5.5.1.1.2. Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması

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 15).



Şekil 15. 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 (Sağlam, 2008).

Youd vd. (2001), devirsel direnç oranının hesabında kullanılması için, Şekil 14'de gösterilen temiz kum eğrisi yerine kullanılacak olan bir eşitlik geliştirmişlerdir:

$$DDO = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (12)$$

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 siltli ve killi zeminler, sıvılaşmayan zemin olarak sınıflandırılmaktadır (Tosun vd, 2011).

Seed vd. (1985) ince tane oranının artmasıyla sıvılaşmaya karşı direncin arttığını ortaya koymuşlardır. İnce tane oranının sıvılaşma direncine etkisini hesaplamak için aşağıda verilen eşitlikleri geliştirmişlerdir.

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (13)$$

Burada;

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

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

ITO = İnce tane oranı

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

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

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/IDO^2)] ; \%5 \leq ITO \leq \%35 \quad (14)$$

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

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

$$\beta = [0.99 + (IDO^{1.5}/1000)] ; \%5 \leq ITO \leq \%35 \quad (15)$$

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

1.5.5.1.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983)

1.5.5.1.2.1. Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması

Tokimatsu ve Yoshimi (1983), tarafından geliştirilen yöntemle göre devirsel gerilme oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$DGO = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d r_n \quad (16)$$

Burada,

DGO = Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g = Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} = Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

r_d = Gerilme azaltma katsayısı

r_n = Deprem büyüklüğü düzeltme faktörüdür.

Aydan vd. (1996)'nin önerdiği aşağıdaki eşitlik kullanılarak a_{maks} (Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri hesaplanır.

$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} * e^{-0.025 R-1}) \quad (17)$$

Burada,

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır

r_d ve r_n değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir:

$$r_d = 1 - 0.0015 z \quad (18)$$

$$r_n = 0.1 (M - 1) \quad (19)$$

Burada, z metre cinsinden derinlik ve M deprem büyüklüğüdür.

1.5.5.1.2.2. Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değerleri kullanılmıştır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

$(N_1)_{80}$ değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$(N_1)_{80} = \frac{170}{\sigma'_{vo+70}} N \quad (20)$$

Burada;

$(N_1)_{80}$ = %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değeri

N = Ölçülen SPT darbe sayısı

σ'_{vo} =Düşey efektif gerilme

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde ince tane oranının etkisi de dikkate alınmıştır. ΔN_f (ince tane oranı düzeltme katsayısı) ile ince tane oranı arasındaki ilişki Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından önerilen ince tane oranı düzeltme katsayıları (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

İnce Tane Oranı (%)	ΔN_f
0 - 5	0
5 - 10	ITO (%) - 5
10 -	0.1 ITO+ 4

$$DDO = a C_r \left[\frac{16 \sqrt{(N_1)_{80} + \Delta N_f}}{100} \right] + \left(\frac{16 \sqrt{(N_1)_{80} + \Delta N_f}}{C_s} \right)^n \quad (21)$$

Burada;

$a = 0.45$

$C_r = 0.57$

$n = 14$, temiz kumlar için $\Delta N_f = 0$ ve siltli kumlar için $\Delta N_f = 5$ değerini almaktadır.

$C_s = 80-90$ arasında değerler alabilmektedir.

1.5.5.1.3. Iwasaki vd. (1981)

1.5.5.1.3.1. Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması

Iwasaki vd. (1981), tarafından geliştirilen yönteme göre devirsel gerilme oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$DGO = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (22)$$

Burada,

DGO = Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g = Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} = Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

r_d = Gerilme azaltma katsayısıdır.

Aydan vd. (1996)'nin önerdiği aşağıdaki eşitlik kullanılarak a_{maks} (Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri hesaplanır.

$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} * e^{-0.025 R} - 1) \quad (23)$$

Burada,

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır

r_d değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir:

$$r_d = 1 - 0.0015 z \quad (24)$$

Burada, z metre cinsinden yüzeyden itibaren derinliği ifade etmektedir.

1.5.5.1.3.2. Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması

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

Iwasaki vd. (1981), tarafından geliştirilen yöntemle göre devirsel direnç oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$0.04 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}$ için;

$$DDO=0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo}+0.7}} +0.225 \log \frac{0.35}{D_{50}} \quad (25a)$$

$0.6 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}$ için;

$$DDO=0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo}+0.7}} - 0.05 \quad (25b)$$

Deneysel yöntemlerle ortalama tane çapının belirlenemediği durumlarda, yardımcı olabilmek amacıyla, Tablo 7 verilmiştir. Bu tablo yardımıyla D_{50} değerleri zemin sınıfına göre tahmin edilebilmektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Tablo 7. Iwasaki vd. (1981)'e göre farklı zemin sınıflarının birim ağırlıkları ve ortalama tane çapı

Zemin Sınıfı	Doğal Birim Ağırlığı γ_n (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 ince 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

1.5.5.2. CPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi

Koni penetrasyon deneyinden (CPT) elde edilen uç direnci sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. CPT verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyel analizi, Seed ve De Alba (1986), Suziki vd. (1997) ve Robertson ve Wride (1998) olmak üzere 3 farklı yöntemle yapılabilir.

1.5.5.2.1. Seed De Alba (1986)

Seed De Alba (1986)'ya göre sıvılaşma analizi şu şekilde yapılır.

- Devirsel gerilme oranı hesaplaması,

Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır.

- Devirsel direnç oranının hesaplanması,

Bu aşamada öncelikle CPT deneyi ile ölçülen uç direnci, üst tabaka yüküne göre düzeltilmelidir. Bu işlem aşağıda verilen eşitlik kullanılarak yapılır:

$$q_{c1} = C_Q q_c \quad (26)$$

Burada,

q_{c1} = Düzeltilmiş uç direnç

C_Q = Üst tabaka yükü düzeltme sayısı

q_c = Pa cinsinden uç direncidir.

C_Q aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$C_Q = \frac{1.8}{0.8 + \left(\frac{\sigma'_{vo}}{Pa}\right)} \quad (27)$$

Burada,

σ'_{vo} = kPa cinsinden düşey efektif gerilme

Pa = 100 kPa'lık referans gerilmesidir.

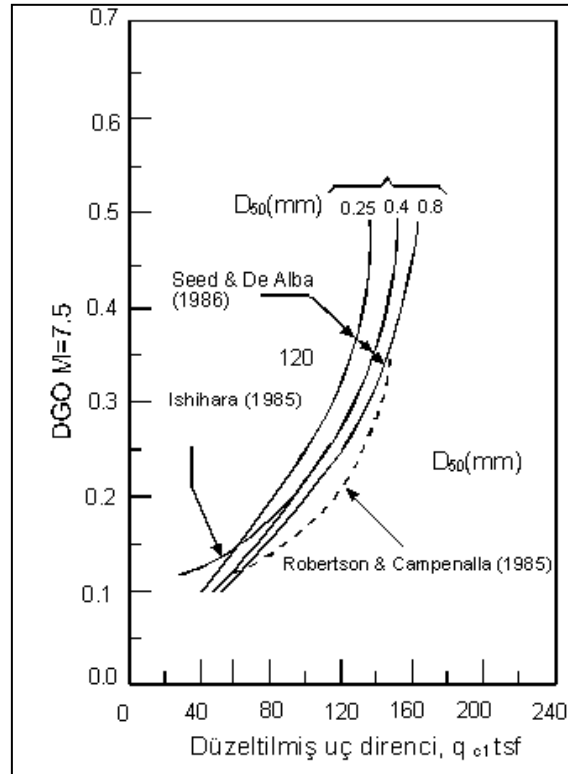
SPT deneyinde olduğu gibi, CPT deneyinde de zemindeki ince tanelerin etkileri göz önüne alınmalıdır. Bir başka ifadeyle, zemindeki ince tane oranının sıvılaşma direncini arttırıcı etkisi uç direncine de yansıtılmalıdır. Eşitlik (28)'de ince tane düzeltmesi görülmektedir.

$$q_{c1tk} = q_{c1} + \Delta q_{c1} \quad (28)$$

Burada; q_{c1tk} ince tane oranına göre düzeltilmiş uç direnci, Δq_{c1} ise ince tane düzeltme katsayısını ifade eder ve aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

$$\begin{aligned} \Delta_{qc1} &= 0 \quad ITO \leq \%5 \\ \Delta_{qc1} &= 0.2 \quad (ITO-5) \% \quad 5 < ITO < \%35 \\ \Delta_{qc1} &= 6 \quad ITO \geq \%35 \end{aligned} \quad (29)$$

Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra devirsel direnç oranı (DDO), Şekil 16'da verilen grafik yardımıyla hesaplanır.



Şekil 16. CPT sıvılaşma eğrileri (Sağlam, 2008)

1.5.5.2.2. Suzuki vd. (1997)

Seed De Alba (1986)'ya göre sıvılaşma analizi şu şekilde yapılır.

- Devirsel gerilme oranı hesaplaması,
Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır.
- Devirsel direnç oranının hesaplanması,

Bu aşamada ilk olarak zemin indeksinin ve düzeltilmiş uç direncinin hesaplanması, düzeltilmiş uç direncin zemin indeksine göre yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Zemin indeksi aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$I_z = [(3.47 - \log Q)^2 + (3.47 - \log Q)^2]^{0.5} \quad (30)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \quad (31)$$

$$F = \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} 100 \quad (32)$$

Burada;

q_c = Ölçülen uç direnç

f_s = Ölçülen çeper sürtünmesi

σ_{vo} = Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

Q = Normalize edilmiş uç direnç

F = Normalize edilmiş sürtünme oranıdır.

CPT uç direnci aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$q_{c1} = \frac{q_c}{P_a} \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right) \quad (33)$$

Burada;

q_{c1} = Düzeltilmiş uç direnç

q_c = Ölçülen uç direnç

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

P_a = 100 kPa'lık referans gerilmesidir.

Düzeltilmiş uç direncinin, zemin indeksine göre düzeltilmesi ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak gerçekleştirilir:

$$q_{ca} = q_{c1} f(I_z) \quad (34)$$

Burada;

q_{c1} = Düzeltilmiş uç direnç

q_{ca} = Zemin indeksine göre düzeltilmiş uç direnci

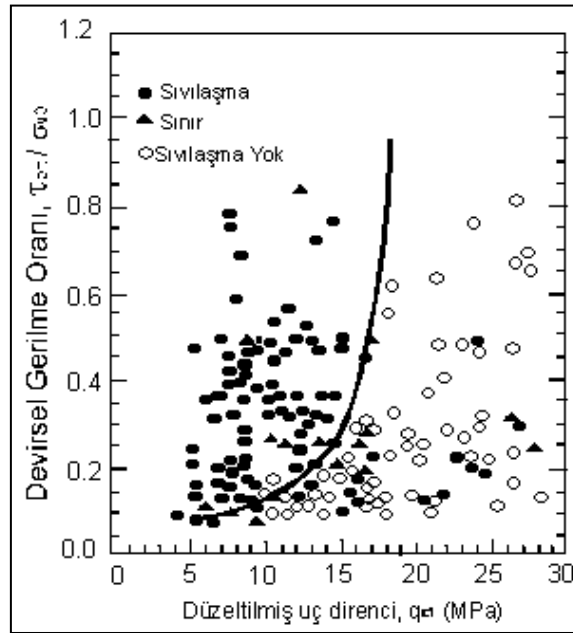
$f(I_z)$ = Zemin indeksi I_z 'nin bir fonksiyonudur.

Robertson ve Fear (1995) tarafından önerilen (I_z) değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. I_z 'nin fonksiyonu olan $f(I_z)$ değerleri

I_z	$f(I_z)$	I_z	$f(I_z)$
≤ 1.65	1.0	2.1	1.7
1.8	1.2	2.2	2.1
1.9	1.3	2.3	2.6
2.0	1.5	≥ 2.4	3.5

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra devirsel direnç oranı (DDO), Şekil 17'de verilen grafik yardımıyla hesaplanır.



Şekil 17. Düzeltilmiş uç direncine göre sıvılaşma eğrisi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.5.2.3. Robertson ve Wride (1998)

CPT verilerine dayanılarak yapılan sıvılaşma analizlerinde en çok kullanılan yöntem Robertson ve Wride (1998) yöntemidir.

Bu yönteme göre sıvılaşma analizi şu şekilde yapılır.

- Devirsel gerilme oranı hesaplaması,
Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır.
- Devirsel direnç oranının hesaplanması,

Bu aşamada ilk olarak zemin indeksi (I_z) hesaplanır:

$$I_z = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (35)$$

$$Q = [(q_c - \sigma_{vo})/P_a] * (P_a/\sigma'_{vo})^n \quad (36)$$

Burada;

q_c =Ölçülen uç direnç

f_s =Ölçülen çeper sürtünmesi

σ_{vo} =Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

Q =Normalize edilmiş uç direnç

F = Normalize edilmiş sürtünme oranı

P_a =100 kPa'lık referans gerilmesi

n = Zemin sınıfını gösteren katsayıdır.

Robertson ve Wride (1998), n katsayısını 1.0 (killer için tipik değer) kabul ederek, CPT uç direncini aşağıdaki eşitlikle hesaplamışlardır:

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \quad (37)$$

Temiz kumlarda n sabiti 0.5 değerini, silt ve siltli kumlarda da 0.5 ile 1.0 arasında değerler almaktadır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Eğer $n=1.0$ sabiti ile hesaplanan I_z değeri 2.6'dan büyükse zemin kil sınıfına girer ve sıvılaşma meydana gelmez. Hesaplanan I_z değeri 2.6'dan küçükse zemin ayrık taneli zemin sınıfına girer ve bu yüzden Q , n sabiti 0.5 alınarak tekrar hesaplanır. Elde edilen yeni değerler eşitlik (35)'de yerine konularak tekrar hesaplanır. Tekrar hesaplanan I_z değeri 2.6'dan büyükse n yerine 0.7 konularak yeni değer hesaplanır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Zemin indeksi hesaplandıktan sonra CPT uç direnci üst tabaka yüküne göre düzeltilir:

$$q_{c1} = C_Q(q_c / P_a) \quad (38)$$

$$C_Q = (P_a / \sigma'_{vo})^n \quad (39)$$

Burada;

q_{c1} =Düzeltilmiş uç direnç

q_c =Ölçülen uç direnç

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

P_a =100 kPa'lık referans gerilmesi

C_Q =Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı

n = Zemin sınıfını gösteren katsayıdır.

Robertson ve Wride (1998) ince tane etkisini dikkate alarak, düzeltilen uç dirençlerini ince tane etkisine göre yeniden hesaplamışlardır:

$$(q_c)_{tk} = K_c q_{c1} \quad (40)$$

Burada; $(q_c)_{tk}$ ince tane oranına göre düzeltilmiş uç direnci, K_c granüler karakter için düzeltme katsayısıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$K_c = 0 ; I_z \leq 1.64 \quad (41a)$$

$$K_c = -0.403I_z^4 + 5.581I_z^3 - 21.63I_z^2 + 33.75I_z - 17.88 ; I_z > 1.64 \quad (41b)$$

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra devirsel direnç oranı (DDO), aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunur:

$$DDO = 0.883[(q_c)_{tk}/1000] + 0.05 ; (q_c)_{tk} < 50 \quad (42a)$$

$$DDO = 93[(q_c)_{tk}/1000]^3 + 0.08 ; 50 \leq (q_c)_{tk} < 160 \quad (42b)$$

1.5.5.3. Kayma Dalga Hızı (V_s)'na Göre Sıvılaşma Analizi

Kayma Dalga Hızı (V_s) parametresi, bir arazi indisi olarak, (siltler ve kumlar gibi) numune alınması veya (çakıllar gibi) penetrasyonu zor olan zeminlerde, sıvılaşma olasılığının belirlenmesi çalışmalarında kullanılabilir.

Kayma dalga hızına bağlı sıvılaşma potansiyel analiz yönteminde, temel olarak 3 parametrenin hesaplanması gerekmektedir:

- Deprem etkisiyle suya doymun gevsek zeminlerde meydana gelen tekrarlı yüklerin, Seed ve Idriss (1971) yöntemi ile hesabı (Devirsel Gerilme Oranı Hesabı),
- Yerinde elde edilen kayma dalga hızının referans bir gerilme ile düzeltilmesi, Düzeltilmiş kayma dalga hızları aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$V_{s1} = V_s C_v \quad (43)$$

Burada,

V_{s1} =Düzeltilmiş kayma dalga hızı (Üst tabaka yüküne göre)

C_v =Üst tabaka düzeltme katsayısı,

V_s =Arazide ölçülen kayma dalga hızıdır.

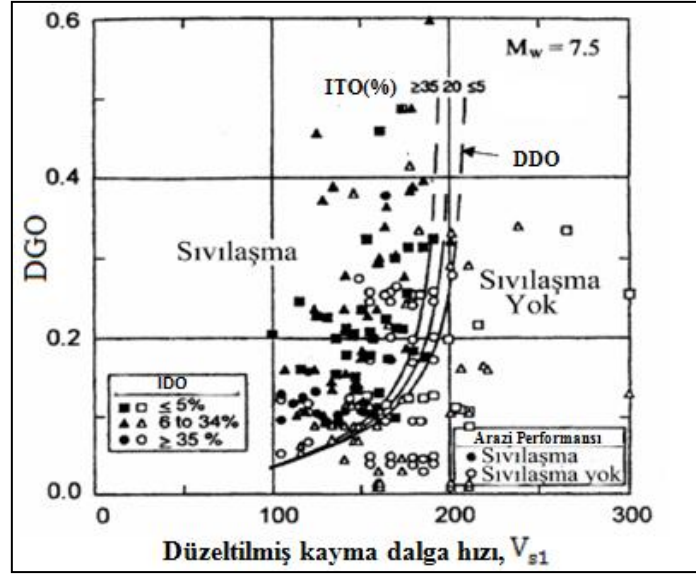
Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı (C_v) yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$C_v = 100 / \sigma'_{vo} \quad (44)$$

Burada; σ'_{vo} düşey efektif gerilmedir.

- Kayma dalga hızına bağlı sıvılaşma direnç oranının hesabı.

Devirsel direnç oranı arazi performans verilerine dayanılarak elde edilen eğriler vasıtasıyla belirlenir (Şekil 18). Eşitlik (43) kullanılarak elde edilen düzeltilmiş kayma dalga hızı V_{s1} değeri, ilgili ince tane eğrisi ile kesiştirilerek devirsel direnç oranı elde edilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).



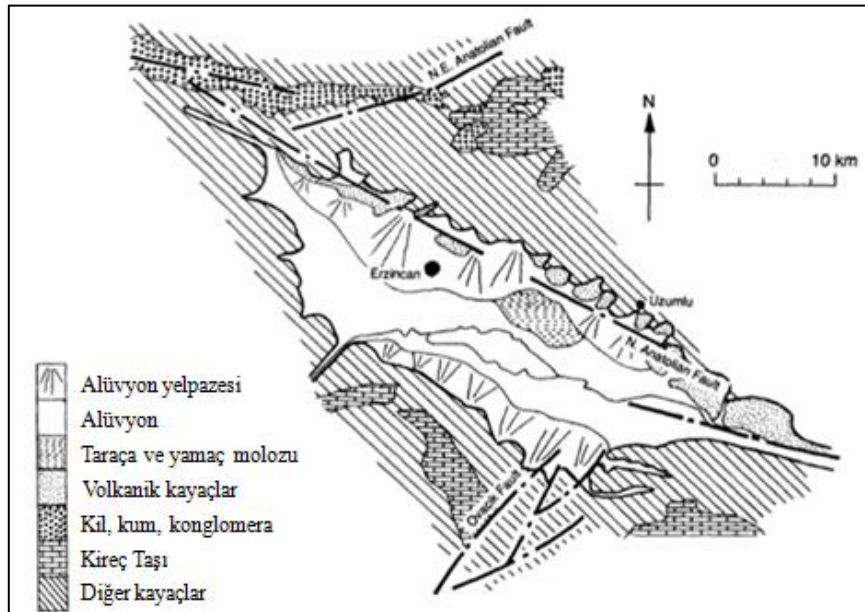
Şekil 18. Kesme dalga hızı tabanlı sıvılaşma değerlendirme çizelgesi (Şaylan, 2006)

Erzincan ilinde iklim tipi olarak, Doğu Anadolu iklimi ile İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş sağlayan sert kara iklimi hüküm sürmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise genellikle soğuk ve yağışlı geçmektedir.

2.1.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

Erzincan ve çevresi Türkiye'nin jeolojik açıdan en karmaşık bölgelerinden biridir. Bölge, bu karmaşık yapısını, Mesozoyik başından Tersiyer ortasına kadar süren farklı okyanus açılma ve kapanma dönemlerinde kazanmıştır. Yaklaşık olarak tabanı 25 km, tavanı ise 50 km uzunluğunda bir yamuk şeklindeki Erzincan Ovası bölgedeki farklı yanıl atımlı fayların ortaklaşa etkisi ile gelişmiş bir çek-ayır havzadır (Bayrak, 2011).

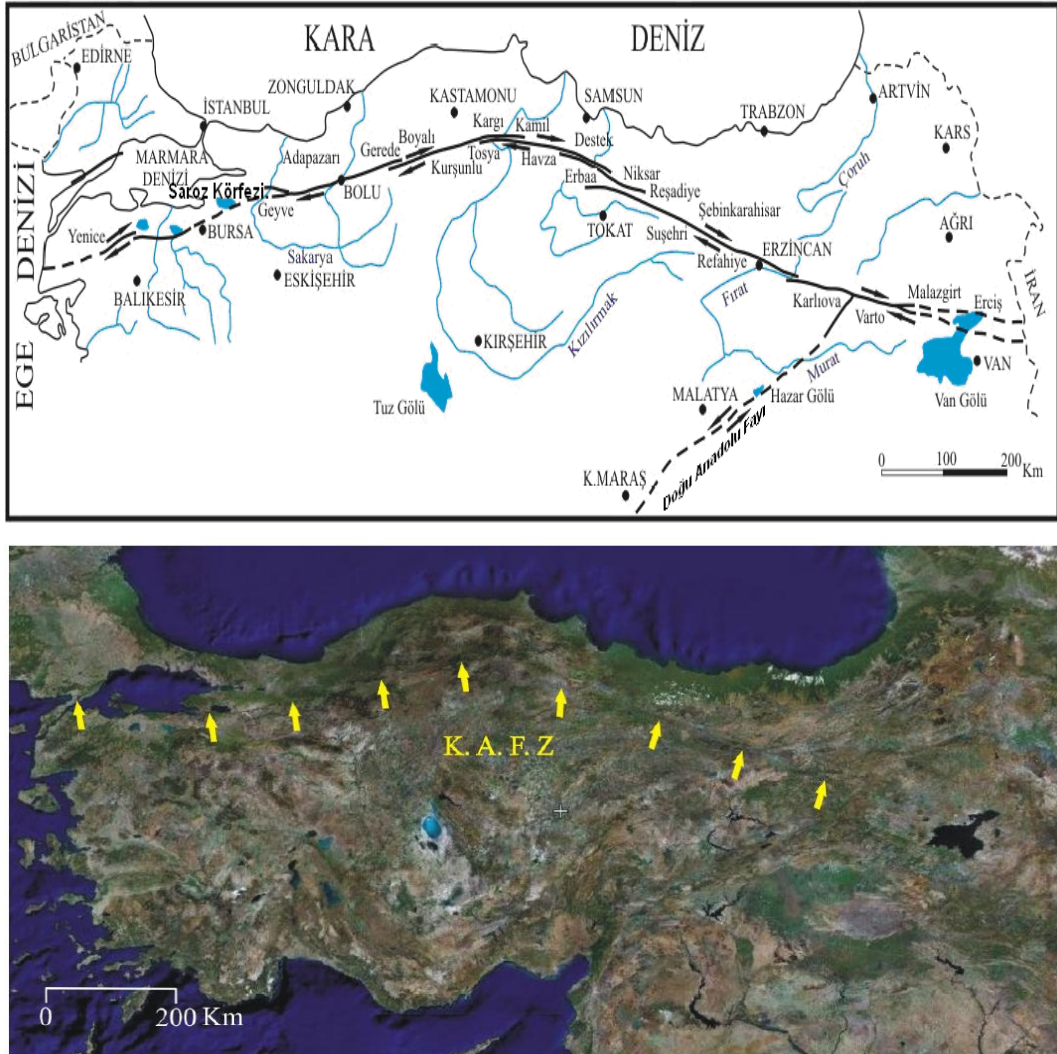
Erzincan havzası, gerek jeolojik devirlerde gerekse günümüzde, havzaya akan derelerin taşımış olduğu çakıl, kum, silt ve kil karışımından oluşan gevşek bir sediman paketiyle doldurulmuştur. Havzaya sediman taşınma süreci günümüzde de hızla sürmektedir. Başlıca alüvyon yelpazeleri olarak tanımlanan bu sedimanların kalınlığı 30 m ile 1.5 km arasında değişmektedir. Ayrıca, bu dolgu malzemelerini oluşturan tanelerin boyutu havza kenarlarında yer yer 1 m'den havza ortalarına doğru kil boyutuna değişmektedir (Orhan ve Ulusu, 2001). Şekil 20'de Erzincan Ovası ve çevresinin jeoloji haritası görülmektedir.



Şekil 20. Erzincan ili ve çevresinin jeoloji haritası (EEFIT, 1992)

2.1.3. İnceleme Alanının Sismolojik Özellikleri

Türkiye'nin en aktif ve en uzun fay sistemi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Batı Anadolu' da Biga Yarımadası'ndan başlayıp Çanakkale'nin kuzeyinden Marmara Denizini geçip, Bursa-Çankırı-Çorum hattının yakın kuzeyinden Çorum, Amasya, Tokat üzerinden Erzincan'a ulaşır. Burada bir kolu kuzeye yönelerek Erzurum-Kars üzerinden, Ermenistan'a kadar gider, diğer kolu ise Van Gölü'ne kadar uzanır (Çakmak, 2009). Genişliği doğudan batıya doğru 100 m ile 10 km arasında değişmektedir. Şekil 21'de, Kuzey Anadolu Fay zonunu gösteren harita verilmiştir.



Şekil 21. Kuzey Anadolu Fay Zonu (Demir, 2011)

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde yer alan Erzincan havzası ve çevresi, sismolojik olarak çok etkin bir özelliğe sahiptir. Tarihsel dönem boyunca çeşitli büyüklükte birçok depremin meydana gelmiştir (Kaypak, 2002). Tablo 9’da, Erzincan havzası ve çevresinde geçmiş dönemlerde meydana gelen bazı depremler verilmiştir.

Tablo 9. Tarihi Erzincan depremleri (Akyıldırım, 1993; Şaylan,2006).

Yıl	Özellik
964	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
967	Şiddetli sarsıntı ve 1200 kişi ölü
1011	Şiddetli sarsıntı sonucu şehir harap oldu.
1036	Sarsıntı nedeni ile bir kilise yıkılıp, bazı evler hasar gördü.
1045	Çok şiddetli deprem, çok ölü olmuştur.
1165	Hasar
1166	Hasar
1251	Erzincan yıkılmıştır.
1254	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1268	Erzincan yıkılmıştır
1281	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1289	Geniş hasar, birkaç bin ölü
1290	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1295	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1308	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1356	Depremler birkaç gün sürmüş, yerleşim yeri uzak olduğundan kayıp olmamıştır.
1366	Sarsıntı
1374	1 saat kadar süren depremde, şehrin suları dahi yıkılmıştır
1418	Şiddetli sarsıntı
1422	Ağır deprem, birçok ölü
1453	Şehir kısmen yıkılmıştır.
1458	Erzincan ve Erzurum’da büyük hasar
1478	Şiddetli sarsıntı
1482	Erzincan ve Erzurum’da büyük hasar
1543	Köyler hasar görmüş, şehir kısmen yıkılmıştır.
1570 (5 Kasım)	Bu depremde sarsıntı 3-4 ay kadar olmuş, kayıp olmamıştır.
1576 (17 Haziran)	1500 kişi ölmüştür.
1583	Erzurum’da büyük hasar, Erzincan tamamen yıkılmıştır
1666	Şehir kısmen yıkılmış, 1500 kişi ölmüştür
1784 (19 Temmuz)	Çok şiddetli depremlerdendir, çok sayıda ölü olmuş, dört ay süren sarsıntılar meydana gelmiştir.
1888	Hasar
1909 (10 Şubat)	Su şehri ve Zara yörelerinde hasar
1930 (10 Aralık)	Bu depremin büyüklüğünün 5-6 olduğu tahmin edilmektedir. Bazı yerlerde binalar hasar görmüştür.
1939 (21 Kasım)	Başköy ve Tercan yörelerinde hasar ve can kaybı
1939 (27/28 Aralık)	7.8 büyüklüğünde deprem, yaklaşık 33000 can kaybı

Erzincan ilinde bilinen en yıkıcı depremlerden biri, hiç kuşkusuz ki 26 Aralık 1939 günü, saat 23:57'de meydana gelen depremdir. Büyüklüğü 7.8 olan depremde yaklaşık 33.000 can kaybı yaşanmıştır. Demiryolunun güneyinde bulunan Erzincan şehri birkaç yapı dışında tamamen yıkılmıştır. Bu deprem sonucunda Erzincan'dan Erbaa'ya, oradan da Amasya'ya kadar uzanan yaklaşık 360 km uzunlukta yüzey kırığı gelişmiştir (Gürsoy vd., 2006). 1939 depremi, yüzey kırığının doğu ucuna yakın geniş bir sıkışmalı büklümde başlamış ve kırılma çoğunlukla batıya doğru ilerlemiştir. Erzincan-Niksar havzaları arasında yüzey faylanması Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin ana kolunu izlemiştir. Ancak, 76 km uzunluğundaki en batı bölümünde, yüzey faylanması ana koldan ayrılarak Ezinepazarı (Amasya) fay kolu üzerine sapmıştır. KAFZ üzerinde 1939-1967 dönemindeki depremleri tetikleyici rol oynayan bu depremin ardından, sismik aktivite batıya doğru bir kayma eğilimi göstermiş, daha sonraki depremler fay sisteminin doğu ve batı ucunda oluşmuştur (Arıoğlu ve Girgin, 2002). Tablo 10'da, Erzincan havzası ve çevresinde 1939'dan sonra meydana gelen depremler verilmiştir.

Tablo 10. Erzincan havzası ve çevresinde 1939'dan sonra meydana gelen depremler (Şaylan, 2006)

Deprem	Zaman	Büyüklük	Sonuç
12 Kasım 1941 Erzincan	10:04	M=5.9	Ekşisu gibi bazı yerlerde yeni su kaynakları oluşmuş, su debileri artmıştır.
17 Ağustos 1949 Bingöl	18:44	M=6.75	Erzincan bu deprem nedeni ile hafif hasar görmüştür.
15 Şubat 1978 Üzümlü	03:17	M=4.7	Üzümlü bucağı ve Pülümürde ve çevredeki köylerde hasar oluşmuştur.
18 Ekim 1980 Tercan	03:14	M=4.4	Deprem kuvvetle uygulanan üç şok şeklinde oluşmuştur. Bazı binalarda çatlamlar meydana gelmiştir.
6 Nisan 1983 Çayırılı-Tercan	07:35	M=4.1	Bu deprem Tercan ve Çayırılıda hasar oluşmuştur.
13 Mart 1992	17:18	M=6.8	Ekşisu doğusunda yapay dolgu üzerinde sıvılaşma meydana gelmiş, çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır.
30 Temmuz 2009 Çağlayan	10:37	M=5.0	Can kaybı yaşanmamış, bazı yapılarda hasarlar meydana gelmiştir.

Erzincan Havzası'ndaki diğer bir önemli deprem ise 13 Mart 1992'de meydana gelen depremdir. 13 Mart Erzincan Depremi, oluşum şekli, sismik özellikleri ve meydana getirdiği hasarla, 1939 büyük felaketinden sonra meydana gelen en şiddetli deprem niteliğindedir. Büyüklüğü 6.8 olan deprem ve onu izleyen artçı sarsıntılar Erzincan havzası

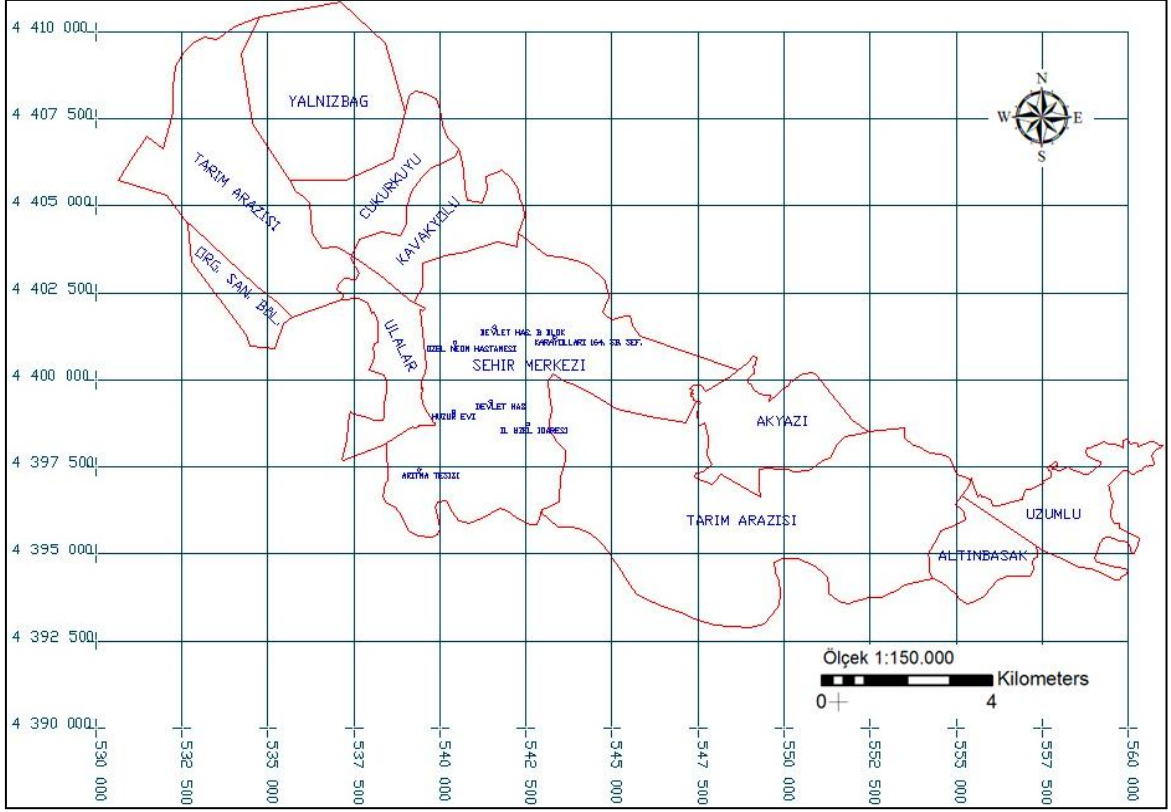
ve çevresiyle Tunceli'nin kuzeyini etkilemiştir. Resmi açıklamalara göre 590 can kaybı meydana gelirken, 2800 kişi yaralanmış, 11000 konut çeşitli derecelerde (ağır-orta-hafif) hasar görmüş ve 35000 insan evsiz kalmıştır. Hasarın en yoğun olarak görüldüğü yer şehir merkezi olmuştur (Akyıldırım, 1993).

13 Mart 1992 tarihinde meydana gelen Erzincan depremi, Kuzey Anadolu Fayı'nın 1939 depreminde yırtılan 360 km'lik bölümünün doğu ucu ile Erzincan doğusunda yer alan kilitli bölüm arasındadır. Bu depremde meydana gelen çatlakların fayı tam izlemediği dikkati çeker. Meydana gelen çatlaklar yaklaşık 50 km uzunlukta ve 3 km genişlikte bir alana saçılmış olarak gözlenmiştir. Bu çatlaklar dört alanda yoğunlaşmıştır. Bu alanlar Erzincan ovasının batı çıkışı, Erzincan kuzeyinde Çayırılı yolu üzeri, Erzincan doğusunda maden suyu tesisleri civarıyla Erzincan ovasının doğu çıkışıdır. Bunların arasında genel doğrultuya ters düşen kırıklar da gözlenmiştir. En iyi gözlendiği yerde, çatlaklarda 4 cm'lik sağ yanal hareket ve 30 cm'ye varan açılmalar gözlenmiştir. Bunun dışında maden suyu tesisleri yöresinde sıvılaşma ve demiryolunda burulma olayları da meydana gelmiştir (URL-2, 2012).

2.2. Arazi Çalışmaları

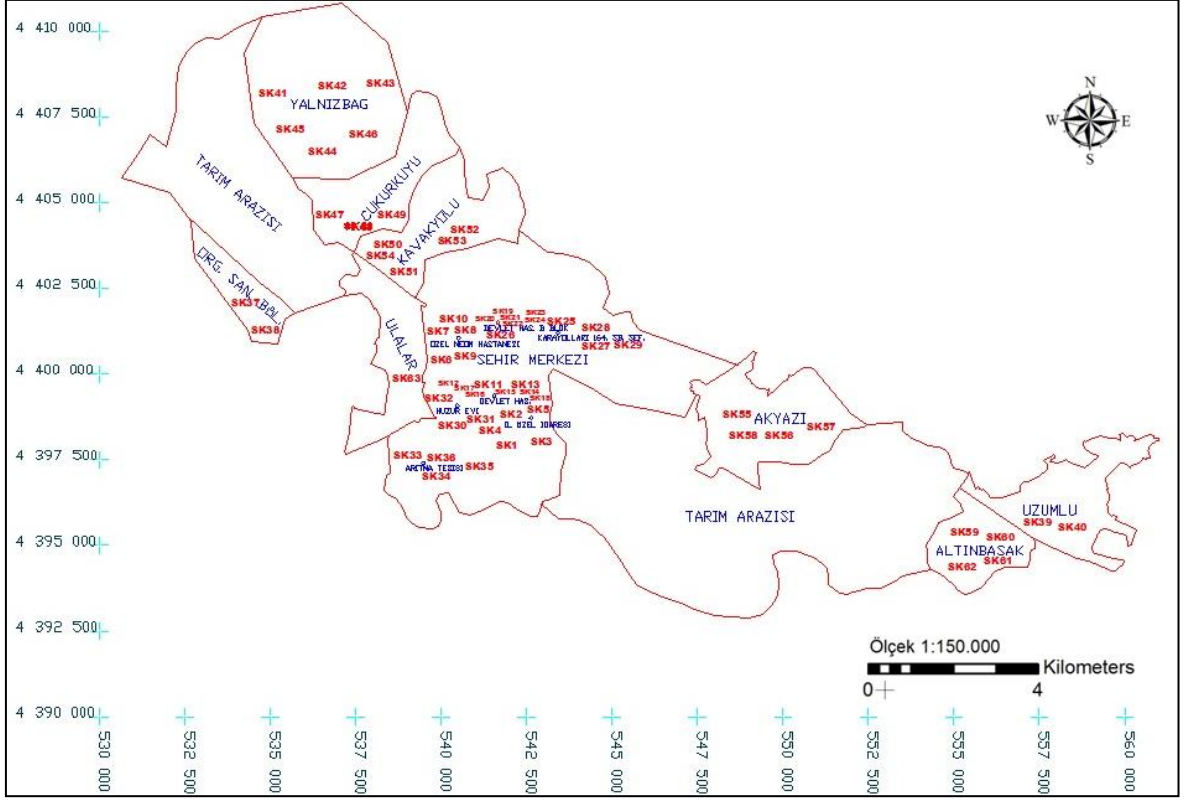
Bu tez kapsamında, Erzincan ili şehir merkezi ve çevresi inceleme alanı olarak seçilmiştir (Şekil 22). İnceleme alanı içerisinde yer alan bölgeler şu şekildedir:

- Erzincan ili şehir merkezi(İl Özel idare, Özel Neon hastanesi, Devlet hastanesi, Devlet hastanesi B-blok, Karayolları 164. Şube Şefliği, Huzurevi, Arıtma tesisi)
- Organize sanayi bölgesi
- Üzümlü
- Yalnızbağ
- Akyazı
- Çukurkuyu
- Kavakyolu
- Ula
- Altınbaşak



Şekil 22. İnceleme alanının lokasyon haritası

Arazi çalışmalarında, inceleme alanına, zeminin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) uygulanmış, farklı bölgelerden, derinlikleri 1.5 m ile 20 m arasında değişen 63 sondaj verisi elde edilmiştir. İnceleme alanına ait sondaj logları Ek 1.'de, inceleme alanı içerisinde açılan sondaj kuyularını gösteren harita ise Şekil 23'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



Şekil 23. İnceleme alanı içerisindeki sondaj kuyuları

İnceleme alanı zeminlerinde yapılan geoteknik sondaj çalışmalarından elde edilen SPT- N_{arazi} değerlerine bakıldığında (Tablo 11), genelinde homojen bir yapı olduğu görülmektedir. Zemin yüzeyinden ilk 3 metreye kadar olan seviyelerde, zemin yumuşak ve / veya gevşek bir yapı sergilediği için SPT- N_{arazi} değeri belirlenememiştir. Daha derinlere inildikçe katılık ve / veya sıklık durumu değişkenlik göstermektedir. Tablo 11’de görüldüğü gibi, çoğu bölgede ölçülen SPT- N_{arazi} değerlerinin 17–35 arasında değiştiği, bazı bölgelerde ise bu değerlerin 40 ve üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bazı derinliklerde ise SPT- N_{arazi} değeri, R(refü) şeklinde gösterilmiştir. Bu durum ölçülen SPT- N_{arazi} değerlerinin 50’den büyük ve zeminin çok sıkı durumda olduğunu göstermektedir.

Tablo 11. İnceleme alanı zeminlerinin SPT- N_{arazi} değerleri

Sondaj Kuyuları (SK)		Derinliklere göre SPT- N_{arazi} değerleri													
		1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18	19.5	21
İl Özel İdare	SK1	-	22	24	28	30	31	29	29	30	31	32	33	31	-
	SK2	-	26	29	27	30	28	31	31	31	32	36	33	35	-
	SK3	-	24	29	28	30	31	29	29	30	31	32	33	35	-
	SK4	-	23	27	29	28	29	29	27	29	30	29	31	31	-
	SK5	-	24	26	29	27	29	29	29	30	31	32	33	30	-
Özel Neon Has.	SK6	-	22	24	28	30	31	29	29	30	31	32	33	31	-
	SK7	-	23	27	29	28	29	29	27	29	30	29	31	31	-
	SK8	-	26	29	27	30	28	31	31	31	32	36	33	35	-
	SK9	-	24	29	28	30	31	29	29	30	31	32	33	35	-
	SK10	-	24	26	29	27	29	29	29	30	31	32	33	30	-
Devlet Has.	SK11	-	44	47	46	51	45	46	55	-	-	-	-	-	-
	SK12	-	35	48	47	51	39	50	52	-	-	-	-	-	-
	SK13	-	41	50	52	52	45	48	53	-	-	-	-	-	-
	SK14	-	46	49	50	52	46	50	55	-	-	-	-	-	-
	SK15	-	46	48	50	52	46	50	57	-	-	-	-	-	-
	SK16	-	42	47	46	51	45	46	53	-	-	-	-	-	-
	SK17	-	44	47	52	51	47	48	55	-	-	-	-	-	-
	SK18	-	43	48	46	52	45	46	52	-	-	-	-	-	-
Devlet Has. B-Blok	SK19	-	26	32	26	28	26	27	33	35	40	44	48	-	-
	SK20	-	25	32	32	31	31	30	30	28	33	-	-	-	-
	SK21	-	25	32	25	29	23	30	25	21	28	25	26	27	-
	SK22	-	24	29	26	29	23	27	30	32	31	31	33	36	-
	SK23	-	25	32	25	29	23	30	25	21	28	25	26	27	-
	SK24	-	25	32	25	29	23	30	25	21	28	25	26	27	-
	SK25	-	26	32	26	28	26	27	33	35	40	42	45	-	-
	SK26	-	27	27	30	33	30	31	25	36	31	-	-	-	-
KY. 164. Şb.Şf.	SK27	-	14	23	25	25	26	30	38	26	47	47	-	-	-
	SK28	-	16	21	29	36	32	29	33	41	44	-	-	-	-
	SK29	-	14	23	25	25	26	30	38	26	47	47	-	-	-
Huzur evi	SK30	-	28	31	33	37	39	42	R	45	R	R	-	-	-
	SK31	-	26	38	45	49	47	32	31	40	R	R	-	-	-
	SK32	-	28	31	33	37	39	42	R	45	R	R	-	-	-
Arit. Tes.	SK33	-	21	19	22	23	25	24	-	-	-	-	-	-	-
	SK34	-	23	25	24	21	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	SK35	-	23	19	27	25	30	28	-	-	-	-	-	-	-
	SK36	-	21	19	22	23	25	24	-	-	-	-	-	-	-
Org.S.B.	SK37	-	26	38	45	49	47	32	31	40	-	-	-	-	-
	SK38	-	28	31	33	37	39	42	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 11'in devamı

Üzümlü	SK39	-	23	25	24	21	25	31	34	37	44	-	-	-	-
	SK40	-	23	25	24	21	30	33	34	37	42	-	-	-	-
Yalnız bağ	SK41	-	20	22	21	23	23	24	22	29	29	-	-	-	-
	SK42	-	18	21	20	26	30	31	33	32	33	-	-	-	-
	SK43	-	17	23	22	25	29	27	28	30	32	-	-	-	-
	SK44	-	20	21	27	32	29	35	37	33	32	-	-	-	-
	SK45	-	20	20	21	23	23	24	22	29	29	-	-	-	-
	SK46	-	20	22	21	23	23	24	22	29	29	-	-	-	-
Çukur kuyu	SK47	-	21	24	24	29	36	34	36	47	R	-	-	-	-
	SK48	-	26	29	33	35	35	39	41	R	R	-	-	-	-
	SK49	-	21	24	24	29	36	34	36	47	R	-	-	-	-
Kavak yolu	SK50	-	23	22	21	21	25	26	32	46	R	-	-	-	-
	SK51	-	22	23	27	28	35	35	35	35	35	R	-	-	-
	SK52	-	19	25	31	33	35	37	32	46	R	R	-	-	-
	SK53	-	19	20	23	24	26	23	33	28	31	38	R	-	-
	SK54	-	27	28	28	30	32	35	37	42	41	44	R	-	-
Akyazı	SK55	-	28	31	33	37	39	42	R	45	R	R	-	-	-
	SK56	-	26	38	45	49	47	32	31	40	R	R	-	-	-
	SK57	-	28	31	33	37	39	42	R	45	R	R	-	-	-
	SK58	-	28	31	33	37	39	42	R	45	R	R	-	-	-
Altın başak	SK59	-	17	19	22	23	25	24	R	28	31	38	-	-	-
	SK60	-	19	20	21	22	25	24	25	28	28	38	-	-	-
	SK61	-	18	19	22	23	25	29	29	28	31	38	-	-	-
	SK62	-	19	19	23	24	26	23	33	28	31	38	-	-	-
Ula	SK63	-	28	31	33	37	39	42	R	26	R	R	R	-	-

Yapılan çalışmalar sonucu belirlenen yer altı su seviyesi (YASS) değerleri incelendiğinde (Tablo 12), bu değerlerin inceleme alanına göre 1 m-47 m arasında değişiklik gösterdiği gözlenmiştir.

Tablo 12. İnceleme alanının yer altı su seviyesi durumu

İnceleme alanı	Yer altı su seviyesi durumu (YASS) (m)
İl Özel İdare	12
Özel Neon Hastanesi	22
Devlet Hastanesi	30
Devlet Hastanesi-B blok	30
Karayolları 164. Şube şefliği	19
Huzur evi	9.5
Arıtma Tesisi	1
Organize sanayi bölgesi	33
Üzümlü	3
Yalnızbağ	33
Akyazı	31
Çukurkuyu	47
Kavakyolu	30
Ula	11
Altınbaşak	1

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Sondaj kuyularından elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde, zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla, doğal birim ağırlık (γ_n), su muhtevası (w), plastik limit (PL), likit limit (LL) ve elek analizi deneyleri yapılmıştır.

İnceleme alanı zeminleri üzerinde yapılan elek analizi deney sonuçlarına bakıldığında (Tablo 13), USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)' ye göre iri taneli zeminlerden SM (siltli kumlar), GM (siltli çakıllar) türü zeminlere, ince taneli zeminlerden CL (inorganik killer) türü zeminlere rastlanmıştır.

Tablo 13. İnceleme alanındaki zemin türleri

İnceleme alanı	Derinlik (m)	USCS
İl Özel İdare	4-8	CL
	8-20	SC
Özel Neon Hastanesi	1.5-3	CL
	3-18	SM
Devlet Hastanesi	3-7.5	CL
Devlet Hastanesi-B blok	3-20	GM-SM
Karayolları 164. Şube şefliği	3-6	GC
	6-9	SM
Huzur evi	3	SM
	4.5-9	CL
	9-20	SM
Arıtma Tesisi	3-4.5	CL
	6	SC
	7.5-10.5	CL
Organize sanayi bölgesi	3-20	SM
Üzümlü	3	CL
	3-15	SM
Yalnızbağ	3-24	SM
Akyazı	3-9	SM
Çukurkuyu	3-20	CL
Kavakyolu	3-7.5	CL
Ula	3-6	CL
Altınbaşak	3-12	SM

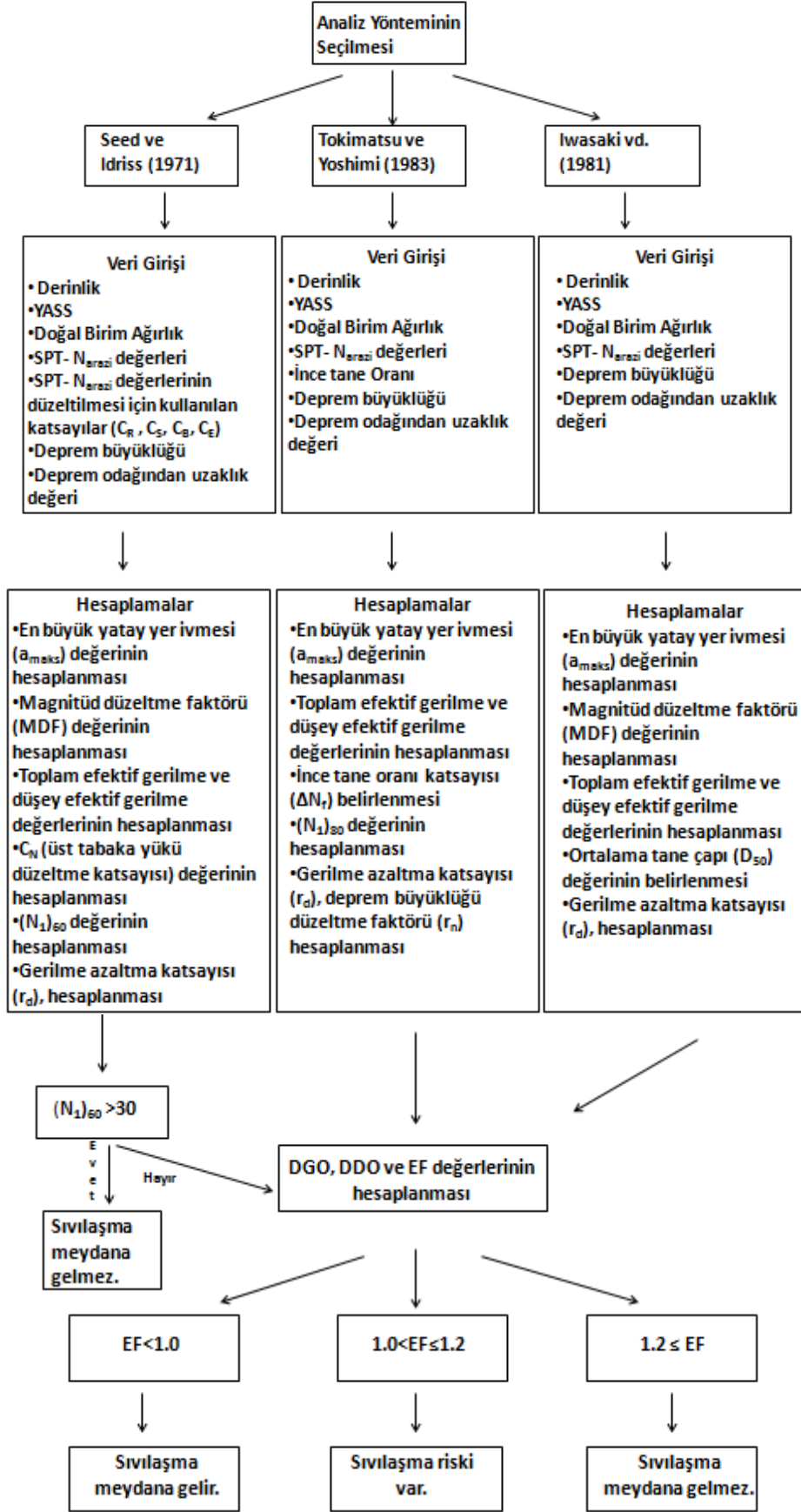
Yapılan doğal birim ağırlık (γ_n), su muhtevası (w), plastik limit (PL), likit limit (LL) deneylerinin sonuçlarına bakıldığında (Tablo 14), birim ağırlık değerlerinin 18-20 kN/m³ arasında değiştiği, su muhtevası (w) değerinin ise %10-%30 arasında değiştiği gözlenmiştir. Plastik limit (PL) ve likit limit (LL) deney sonuçlarına bakıldığında ise, inceleme alanı içerisindeki zeminlerinin genelinde non-plastik (NP) özellikte olduğu gözlenmiştir. Zeminlerin likit limit (LL) değerleri %38-%42 arasında, plastik limit değerleri ise %18-%24 arasında değişmektedir. Ortalama plastisite indeksi (PI) değeri %20-25 arasında değişmektedir.

Tablo 14. İnceleme alanı zeminleri fiziksel özelliklerin ortalama değerleri

İnceleme alanı	Derinlik (m)	Doğal Birim ağırlık (γ_n) kN/m ³	Su muhtevası (w) %	Plastik Limit (PL) %	Likit Limit (LL) %	Plastisite İndeksi (PI) %
İl Özel İdare	4-8	18.5	25	41	20	21
	8-20			NP	-	-
Özel Neon Hastanesi	1.5-3	19	20	42-46	20-26	19-24
	3-18			NP	-	-
Devlet Hastanesi	3-7.5	18.6	12	28-42	6-8	22-34
Devlet Hastanesi-B blok	3-20	19	27	NP	-	-
Karayolları 164. Şube şefliği	3-6	20	13	NP	-	-
	6-9			NP	-	-
Huzur evi	3	18.9	12	NP	-	-
	4.5-9			40-44	21-23	19-21
	9-20			NP	-	-
Arıtma Tesisi	3-4.5	18.9	15	40-42	20-24	18-20
	6			38	18	20
	7.5-10.5			44	24	20
Organize sanayi bölgesi	3-20	18.6	11	NP	-	-
Üzümlü	6-7.5	18.7	12	NP	-	-
Yalnızbağ	3-24	18.6	12	NP	-	-
Akyazı	3-9	18.6	13	NP	-	-
Ula	3-6	19	25	42-45	19-20	23-25
Altınbaşak	3-12	18.3	10	NP	-	-

2.4. Sıvılaşma Potansiyel Analiz Yöntemlerinin İnceleme Alanına Uygulanması

Bu tez çalışması kapsamında sıvılaşma analizleri, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri kullanılarak yapılmıştır. SPT verileri kullanılarak, Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) ve Iwasaki vd. (1981) olarak adlandırılan üç farklı yöntemle sıvılaşma analizi yapılabilmektedir. Bu üç yöntem kullanılarak inceleme alanı zeminlerinin sıvılaşma potansiyelleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çözümü karmaşık ve uzun zaman alan sıvılaşma analizlerinin kısa bir süre içerisinde tamamlanması amacıyla, MATLAB programlama dili kullanılarak, sıvılaşma analiz programları hazırlanmış ve sıvılaşma analizleri, bu program üzerinden yapılmıştır. Şekil 24'de program akış şeması görülmektedir.



Şekil 24. Sıvılaşma analizi program akış şeması

2.4.1. Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Programlarının Hazırlanması

2.4.1.1. Seed Ve Idriss (1971) Yöntemi'ne Göre Programın Hazırlanması

Seed ve Idriss (1971) yöntemi kullanılarak hazırlanan analiz programı çalışma aşamaları şu şekildedir:

1.Adım: Programa veri girişi

- Sondaj logundaki derinlik değerlerinin girilmesi,
- Yer altı su seviyesi (YASS), zeminin doğal birim ağırlığı (DBA) değerlerinin girilmesi.
- SPT- N_{arazi} değerlerinin düzeltilmesi için kullanılan, tij boyu düzeltme katsayısı (C_R) numune alma yöntemi katsayısı (C_S), kuyu çapı düzeltme katsayısı (C_B), enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E) değerlerinin girilmesi.

2.Adım: Senaryo depremlerinin oluşturulması

- Deprem büyüklüğü (M) ve deprem odağından uzaklık (R) değerlerinin girilmesi,
- Aydan vd. (1996)'nin önerdiği eşitlik (45) kullanılarak, en büyük yatay yer ivmesi (a_{maks}) değerinin hesaplanması

$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} * e^{-0.025 R} - 1) \quad (45)$$

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır.

3.Adım: Magnitüd düzeltme faktörünün hesaplanması

• Dışarıdan girilen deprem büyüklüğü (M) değeri kullanılarak, magnitüd düzeltme faktörü (MDF), Youd vd. (2001) tarafından önerilen eşitlik (46) kullanılarak programa hesaplatılmıştır.

$$MDF = 10^{2.24} / M^{2.56} \quad (46)$$

MDF = Magnitüd düzeltme faktörü

M = Deprem büyüklüğü

4. Adım: Sıvılaşma analizlerinin yapılması

- İncelenen derinlikteki, SPT- N_{arazi} ve doğal birim ağırlık değerlerinin girilmesi,
- Toplam efektif gerilme ve düşey efektif gerilme değerlerinin hesaplanması,
- Hesaplanan düşey efektif gerilme değeri 200'den küçük ise, Liao ve Whitman (1986) tarafından önerilen eşitlik (47) kullanılarak C_N (üst tabaka yükü düzeltme katsayısı) değerinin hesaplanması,

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.7 \quad (47)$$

Burada,

P_a =Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi

σ'_{vo} = P_a ile aynı birime sahip düşey efektif gerilmedir.

- Hesaplanan düşey efektif gerilme değeri 200'den büyük ise, Kayen vd. (1992) tarafından önerilen eşitlik (48) kullanılarak C_N (üst tabaka yükü düzeltme katsayısı) değerinin hesaplanması,

$$C_N = 2.2 / (1.2 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}) \quad (48)$$

- Dışarıdan girilen, SPT- N_{arazi} , tij boyu düzeltme katsayısı (C_R), numune alma yöntemi katsayısı (C_S), kuyu çapı düzeltme katsayısı (C_B) enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E) değerleri ile program tarafından hesaplanan üst tabaka yükü düzeltme katsayısı (C_N) değeri kullanılarak, $(N_1)_{60}$ değerinin aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanması,

$$(N_1)_{60} = N C_N C_R C_S C_B C_E \quad (49)$$

- Hesaplanan $(N_1)_{60}$ değeri, 30'dan büyük ise, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceğinin ifade edilmesi,
- Hesaplanan $(N_1)_{60}$ değeri, 30'dan küçük ise, sırasıyla gerilme azaltma katsayısı (r_d), deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı (DGO), devirsel direnç oranı (DDO) ve emniyet faktörü (EF) değerlerinin hesaplanması,

Gerilme azaltma katsayısı (r_d), Youd vd. (2001) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$r_d = \frac{1.0 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1.0 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2} \quad (50)$$

Burada, z derinlik değeridir. Devirsel gerilme oranı (DGO) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$DGO = 0,65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (51)$$

Burada,

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g = Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} = Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} = Düşey efektif gerilme

r_d = Gerilme azaltma katsayısıdır.

Devirsel direnç oranı (DDO) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$DDO = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (52)$$

Burada, $(N_1)_{60}$, düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değerleridir. Emniyet faktörü (EF) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$EF = \frac{DDO}{DGO} MDF \quad (53)$$

- Hesaplanan emniyet faktörü (EF) değerlerine göre sınıflama olayının meydana gelip gelmeyeceğinin belirlenmesi.

$EF < 1.0$ 'Sınıflama meydana gelir'

$1.0 < EF < 1.2$ 'Sınıflama meydana gelebilir'

$1.2 < EF$ 'Sınıflama meydana gelmez'

Suyun birim ağırlığı (γ_{su}) değeri 10 kN/m^3 , yer çekimi ivmesi (g) değeri ise 981 cm/sn^2 olarak programa tanımlanmıştır. SPT- N_{arazi} değerlerinin düzeltilmesinde kullanılan katsayılar Tablo 15’de verilmiştir. Analizler sırasıyla $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklükleri için yapılmıştır.

Tablo 15. SPT- N_{arazi} değerlerinin düzeltilmesinde kullanılan katsayılar

Düzeltilme Katsayısı	Değer
Tij boyu düzeltme katsayısı (C_R),	1.0
Numune alma yöntemi katsayısı (C_S)	1.0
Kuyu çapı düzeltme katsayısı (C_B)	1.05
Enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E)	1.0

İnceleme alanı içerisinde yer alan Akyazı belediyesi zeminlerine ait sondaj ve laboratuvar verileri kullanılarak, $M=6.0$ deprem büyüklüğü için yapılan sivilaşma analizine ait program çıktıları örnek olarak aşağıda gösterilmiştir.

```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\VASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

BU PROGRAMDA, SEED VE IDRİSS (1971) YÖNTEMİ KULLANILARAK SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMAKTADIR.

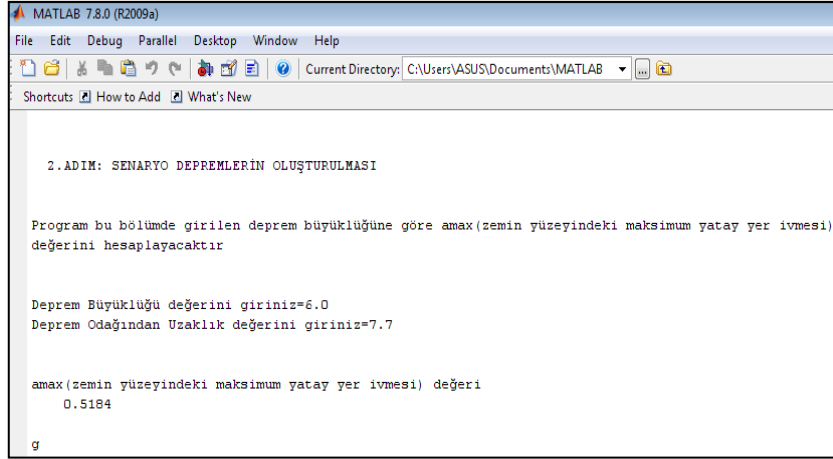
1. ADIM: PROGRAMA VERİ GİRİŞİ

Laboratuvar sonuç formundaki, ilk derinlik değerini giriniz=3
Laboratuvar sonuç formundaki, son derinlik değerini giriniz=9
Laboratuvar sonuç formundaki, derinlik değerlerinin artış miktarını giriniz=3
Yeraltı su seviyesi değerini giriniz=31
Zeminin doğal birim ağırlığı değerini giriniz=18.8

Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı (Ce) değerini giriniz=1.0
Kuyu Çapı Düzeltme Katsayısı (Cb) değerini giriniz=1.05
Tij Boyu Düzeltme Katsayısı (Cr) değerini giriniz=1.0
Numune Alma Metodu Düzeltme Katsayısı (Cs) değerini giriniz=1.0

```

Şekil 25. Veri girişi bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

2. ADIM: SENARYO DEPREMLERİN OLUŞTURULMASI

Program bu bölümde girilen deprem büyüklüğüne göre amax (zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi)
değerini hesaplayacaktır

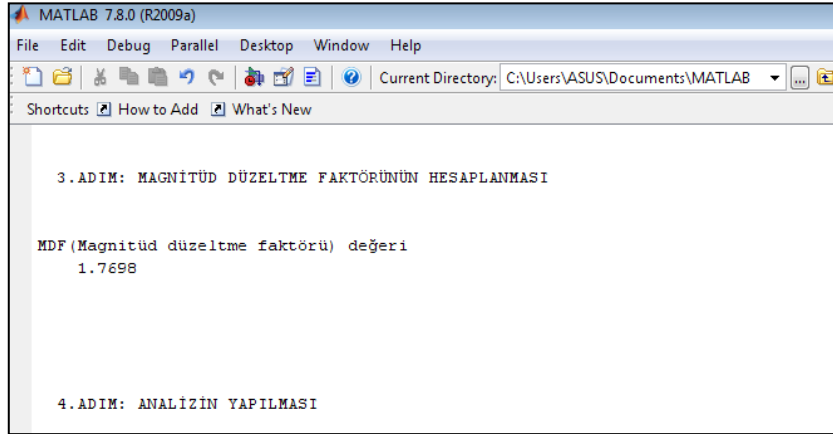
Deprem Büyüklüğü değerini giriniz=6.0
Deprem Odağından Uzaklık değerini giriniz=7.7

amax (zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri
0.5184

g

```

Şekil 26. Senaryo depremlerin oluşturulması bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

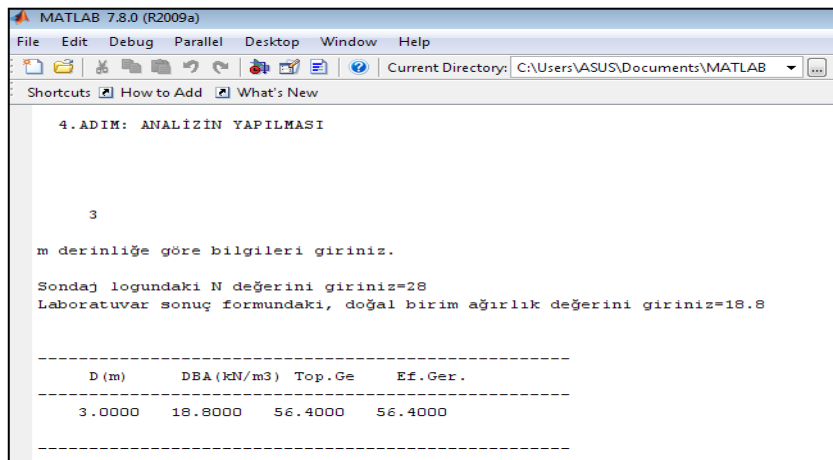
3. ADIM: MAGNİTÜD DÜZELTME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI

MDF (Magnitüd düzeltme faktörü) değeri
1.7698

4. ADIM: ANALİZİN YAPILMASI

```

Şekil 27. Magnitüd düzeltme faktörünün hesaplanması bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

4. ADIM: ANALİZİN YAPILMASI

3

m derinliğe göre bilgileri giriniz.

Sondaj logundaki N değerini giriniz=28
Laboratuvar sonuç formundaki, doğal birim ağırlık değerini giriniz=18.8

-----
D (m)      DBA (kN/m3)  Top.Ge     Ef. Ger.
-----
3.0000    18.8000    56.4000    56.4000
-----

```

Şekil 28. Analiz yapılması bölümü program çıktısı

```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

-----
D (m)      N      N1 (60)
-----
3.0000    28.0000  39.1478
-----

3
m derinlikte (N1)60>=30 olduğu için bu bölgede sıvılaşmayan zemin olarak sınıflandırılır.

6
m derinliğe göre bilgileri giriniz.
Sondaj logundaki N değerini giriniz=

```

Şekil 29. Analiz yapılması bölümü (devamı) program çıktısı

2.4.1.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemi'ne Göre Programın Hazırlanması

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemi kullanılarak hazırlanan analiz programı çalışma aşamaları şu şekildedir:

1. Adım: Programa veri girişi

- Sondaj logundaki derinlik değerlerinin girilmesi,
- Yer altı su seviyesi (YASS), zeminin doğal birim ağırlığı (DBA) değerlerinin girilmesi.

2. Adım: Senaryo depremlerinin oluşturulması

- Deprem büyüklüğü (M) ve deprem odağından uzaklık (R) değerlerinin girilmesi,
- Aydan vd. (1996)'nin önerdiği eşitlik (54) kullanılarak, en büyük yatay yer ivmesi (a_{maks}) değerinin hesaplanması

$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} * e^{-0.025 R - 1}) \quad (54)$$

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır.

3. Adım: Sıvılaşma analizlerinin yapılması

- İncelenen derinlikteki, SPT- N_{arazi} , doğal birim ağırlık ve ince tane oranı değerlerinin girilmesi,

- Girilen ince tane oranına göre ince tane oranı katsayısı (ΔN_f) belirlenmesi (Bu değerin belirlenebilmesi için Tablo 6 programa tanımlanmıştır),
- Toplam efektif gerilme ve düşey efektif gerilme değerlerinin hesaplanması,
- Girilen, SPT- N_{arazi} değeri kullanılarak, $(N_1)_{80}$ değerinin aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanması,

$$(N_1)_{80} = \frac{170}{\sigma'_{vo+70}} N \quad (55)$$

Burada;

$(N_1)_{80}$ = %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi} değeri

N = Ölçülen SPT darbe sayısı

σ'_{vo} =Düşey efektif gerilme

- Gerilme azaltma katsayısı (r_d), deprem büyüklüğü düzeltme faktörü (r_n), deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı (DGO), devirsel direnç oranı (DDO) ve emniyet faktörü (EF) değerlerinin hesaplanması,

Gerilme azaltma katsayısı (r_d) ve deprem büyüklüğü düzeltme faktörü (r_n) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır:

$$r_d = 1 - 0.0015 z \quad (56)$$

$$r_n = 0.1 (M - 1) \quad (57)$$

Burada, z metre cinsinden derinlik ve M deprem büyüklüğüdür. Devirsel gerilme oranı (DGO) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$DGO = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d r_n \quad (58)$$

Burada,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g =Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} =Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} =Düşey efektif gerilme

r_d =Gerilme azaltma katsayısı

r_n =Deprem büyüklüğü düzeltme faktörüdür.

Devirsel direnç oranı (DDO) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$DDO = aC_r \left[\frac{16 \sqrt{(N_1)_{80} + \Delta N_f}}{100} \right] + \left(\frac{16 \sqrt{(N_1)_{80} + \Delta N_f}}{C_s} \right) n \quad (59)$$

Burada;

$a=0.45$, $C_r=0.57$, $n=14$, $C_s= 80$ olarak programa tanımlanmıştır.

Emniyet faktörü (EF) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$EF = \frac{DDO}{DGO} \quad (60)$$

- Hesaplanan emniyet faktörü (EF) değerlerine göre sınıflama olayının meydana gelip gelmeyeceğinin belirlenmesi.

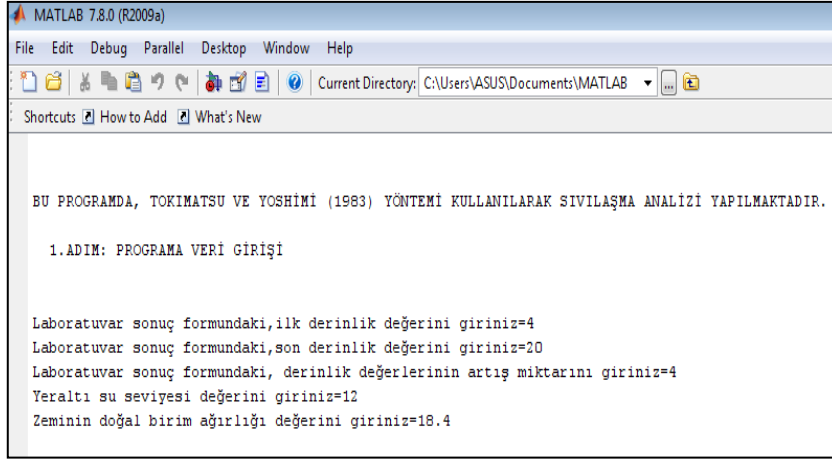
$EF < 1.0$ 'Sınıflama meydana gelir'

$1.0 < EF < 1.2$ 'Sınıflama meydana gelebilir'

$1.2 < EF$ 'Sınıflama meydana gelmez'

Suyun birim ağırlığı (γ_{su}) değeri 10 kN/m^3 , yer çekimi ivmesi (g) değeri ise 981 cm/sn^2 olarak programa tanımlanmıştır. Analizler sırasıyla $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklükleri için yapılmıştır.

İnceleme alanı içerisinde yer alan İl Özel İdare binası zeminlerine ait sondaj ve laboratuvar verileri kullanılarak, $M=6.5$ deprem büyüklüğü için yapılan sınıflama analizine ait program çıktıları örnek olarak aşağıda gösterilmiştir.



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

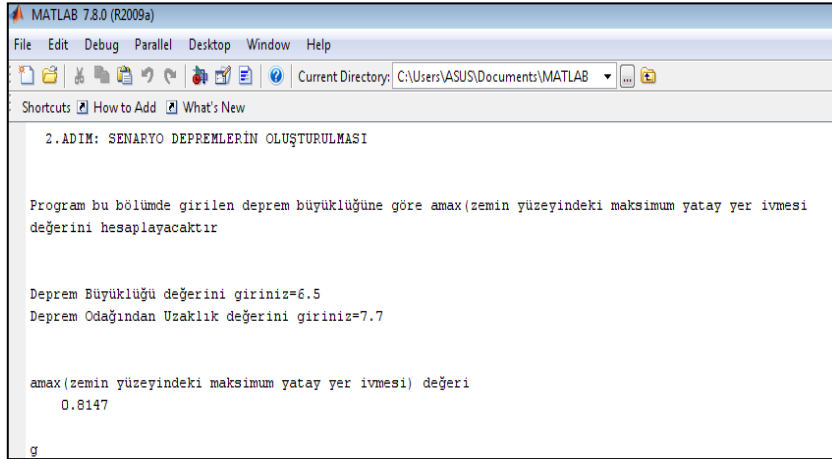
BU PROGRAMDA, TOKIMATSU VE YOSHIMI (1983) YÖNTEMİ KULLANILARAK SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMAKTADIR.

1.ADIM: PROGRAMA VERİ GİRİŞİ

Laboratuvar sonuç formundaki,ilk derinlik değerini giriniz=4
Laboratuvar sonuç formundaki,son derinlik değerini giriniz=20
Laboratuvar sonuç formundaki, derinlik değerlerinin artış miktarını giriniz=4
Yeraltı su seviyesi değerini giriniz=12
Zeminin doğal birim ağırlığı değerini giriniz=18.4

```

Şekil 30. Veri girişi bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

2.ADIM: SENARYO DEPREMLERİN OLUŞTURULMASI

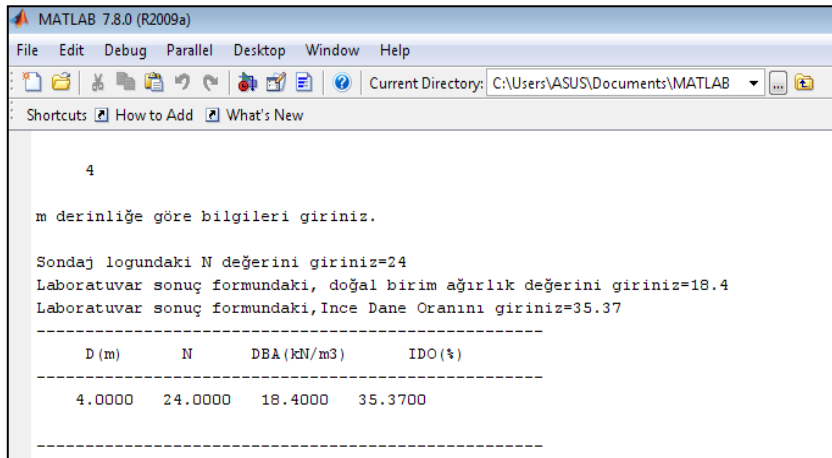
Program bu bölümde girilen deprem büyüklüğüne göre amax(zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değerini hesaplayacaktır

Deprem Büyüklüğü değerini giriniz=6.5
Deprem Odağından Uzaklık değerini giriniz=7.7

amax(zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri
0.8147
g

```

Şekil 31. Senaryo depremlerin oluşturulması bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

4

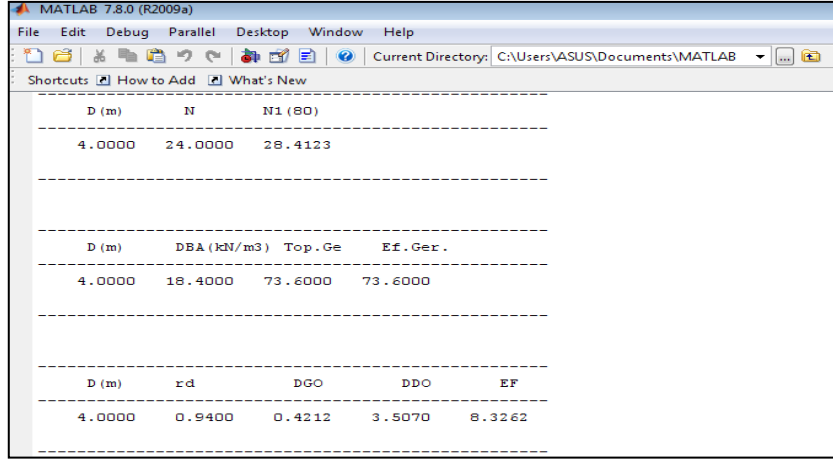
m derinliğe göre bilgileri giriniz.

Sondağ logundaki N değerini giriniz=24
Laboratuvar sonuç formundaki, doğal birim ağırlık değerini giriniz=18.4
Laboratuvar sonuç formundaki,İnce Dane Oranını giriniz=35.37

-----
      D (m)      N      DBA (kN/m3)      IDO (%)
-----
      4.0000     24.0000     18.4000     35.3700
-----

```

Şekil 32. Analizin yapılması bölümü program çıktısı

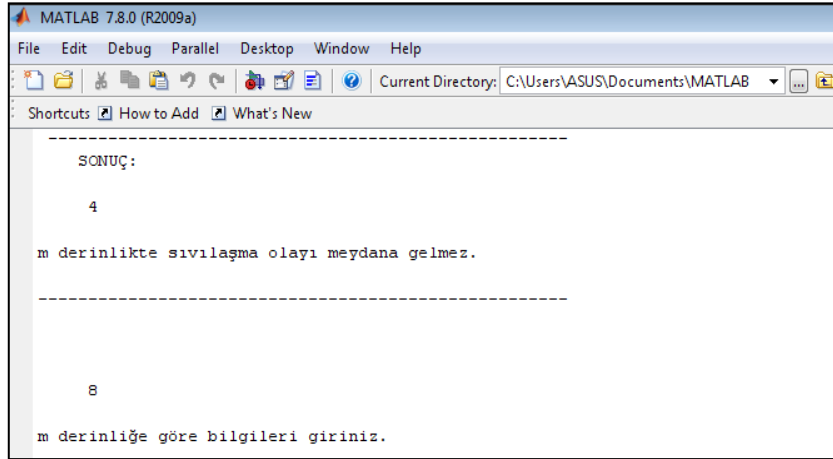


D (m)	N	N1 (80)
4.0000	24.0000	28.4123

D (m)	DBA (kN/m3)	Top. Ge	Ef. Ger.
4.0000	18.4000	73.6000	73.6000

D (m)	rd	DGO	DDO	EF
4.0000	0.9400	0.4212	3.5070	8.3262

Şekil 33. Analizin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı



SONUÇ:

4

m derinlikte sıvılaşma olayı meydana gelmez.

8

m derinliğe göre bilgileri giriniz.

Şekil 34. Analizin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı

2.4.1.3. Iwasaki vd. (1981) Yöntemi'ne Göre Programın Hazırlanması

Iwasaki (1981) yöntemi kullanılarak hazırlanan analiz programı çalışma aşamaları şu şekildedir:

1. Adım: Programa veri girişi

- Sondaj logundaki derinlik değerlerinin girilmesi,
- Yer altı su seviyesi (YASS), zeminin doğal birim ağırlığı (DBA) değerlerinin girilmesi.

2. Adım: Senaryo depremlerinin oluşturulması

- Deprem büyüklüğü (M) ve deprem odağından uzaklık (R) değerlerinin girilmesi,

- Aydan vd. (1996)'nin önerdiği eşitlik (61) kullanılarak, en büyük yatay yer ivmesi (a_{maks}) değerinin hesaplanması

$$a_{maks} = 2.8 (e^{0.9M} * e^{-0.025 R} - 1) \quad (61)$$

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır.

3. Adım: Magnitüd düzeltme faktörünün hesaplanması

- Dışarıdan girilen deprem büyüklüğü (M) değeri kullanılarak, magnitüd düzeltme faktörü (MDF), Youd vd. (2001) tarafından önerilen eşitlik (46) kullanılarak programa hesaplatılmıştır.

$$MDF = 10^{2.24} / M^{2.56} \quad (62)$$

MDF = Magnitüd düzeltme faktörü

M = Deprem büyüklüğü

4. Adım: Sıvılaşma analizlerinin yapılması

- İncelenen derinlikteki, SPT- N_{arazi} , doğal birim ağırlık değerlerinin girilmesi,
- Girilen doğal birim ağırlık değerine göre ortalama tane çapı (D_{50}) değerinin belirlenmesi (Bu değer belirlenebilmesi için Tablo 7 programa tanımlanmıştır),
- Toplam efektif gerilme ve düşey efektif gerilme değerlerinin hesaplanması,
- Gerilme azaltma katsayısı (r_d), deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı (DGO) değerlerinin hesaplanması,

Gerilme azaltma katsayısı (r_n) değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir:

$$r_d = 1 - 0.0015 z \quad (63)$$

Burada, z metre cinsinden derinlik değeridir. Devirsel gerilme oranı (DGO) değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir:

$$DGO = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (64)$$

Burada,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g =Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} =Düşey toplam gerilme

σ'_{vo} =Düşey efektif gerilme

r_d =Gerilme azaltma katsayısıdır.

- Devirsel direnç oranı (DDO) eşitlik (65) kullanılarak hesaplanması,

$0.04 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}$ için;

$$DDO=0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo}+0.7}} +0.225 \log \frac{0.35}{D_{50}} \quad (65a)$$

$0.6 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}$ için;

$$DDO=0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo}+0.7}} - 0.05 \quad (65b)$$

- Emniyet faktörü (EF) değerlerinin hesaplanması,

Emniyet faktörü (EF) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$EF = \frac{DDO}{DGO} MDF \quad (66)$$

• Hesaplanan emniyet faktörü (EF) değerlerine göre sıvılaşma olayının meydana gelip gelmeyeceğinin belirlenmesi.

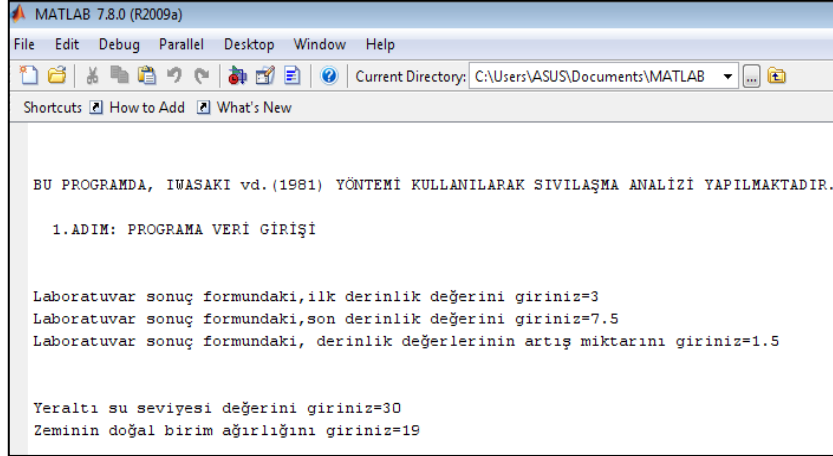
$EF < 1.0$ 'Sıvılaşma meydana gelir'

$1.0 < EF < 1.2$ 'Sıvılaşma meydana gelebilir'

$1.2 < EF$ 'Sıvılaşma meydana gelmez'

Suyun birim ağırlığı (γ_{su}) değeri 10 kN/m^3 , yer çekimi ivmesi (g) değeri ise 981 cm/sn^2 olarak programa tanımlanmıştır. Analizler sırasıyla $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklükleri için yapılmıştır.

İnceleme alanı içerisinde yer alan Devlet Hastanesi B-Blok binası zeminlerine ait sondaj ve laboratuvar verileri kullanılarak, $M=7.0$ deprem büyüklüğü için yapılan sıvılaşma analizine ait program çıktıları örnek olarak aşağıda gösterilmiştir.



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

BU PROGRAMDA, IWASAKI vd. (1981) YÖNTEMİ KULLANILARAK SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMAKTADIR.

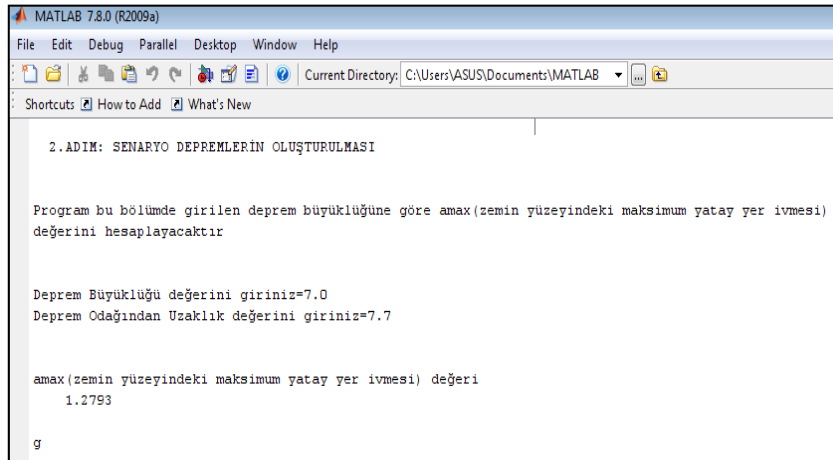
1. ADIM: PROGRAMA VERİ GİRİŞİ

Laboratuvar sonuç formundaki, ilk derinlik değerini giriniz=3
Laboratuvar sonuç formundaki, son derinlik değerini giriniz=7.5
Laboratuvar sonuç formundaki, derinlik değerlerinin artış miktarını giriniz=1.5

Yeraltı su seviyesi değerini giriniz=30
Zeminin doğal birim ağırlığını giriniz=19

```

Şekil 35. Veri girişi bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

2. ADIM: SENARYO DEPREMLERİN OLUŞTURULMASI

Program bu bölümde girilen deprem büyüklüğüne göre amax (zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi)
değerini hesaplayacaktır

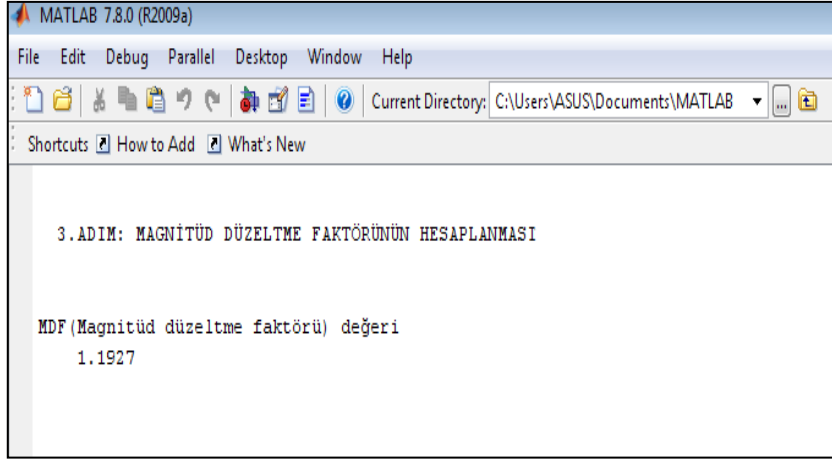
Deprem Büyüklüğü değerini giriniz=7.0
Deprem Odağından Uzaklık değerini giriniz=7.7

amax (zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri
1.2793

g

```

Şekil 36. Senaryo depremlerin oluşturulması bölümü program çıktısı



```

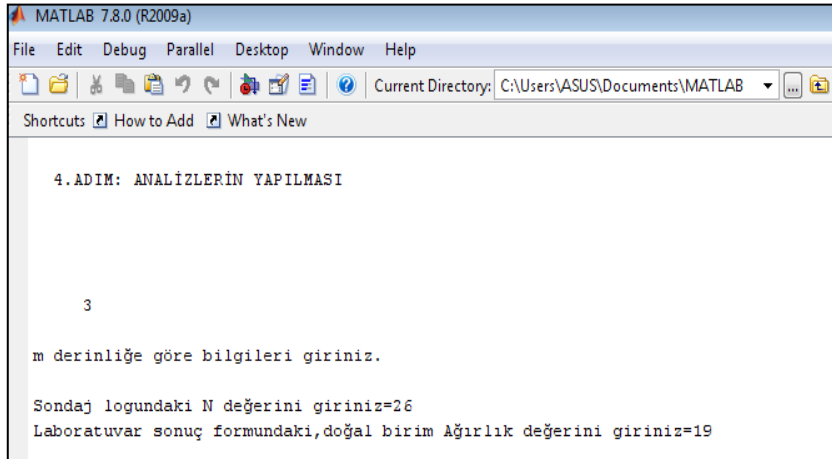
MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Paralle Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

3. ADIM: MAGNİTÜD DÜZELTME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI

MDF (Magnitüd düzeltme faktörü) değeri
1.1927

```

Şekil 37. Magnitüd düzeltme faktörünün hesaplanması bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Paralle Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

4. ADIM: ANALİZLERİN YAPILMASI

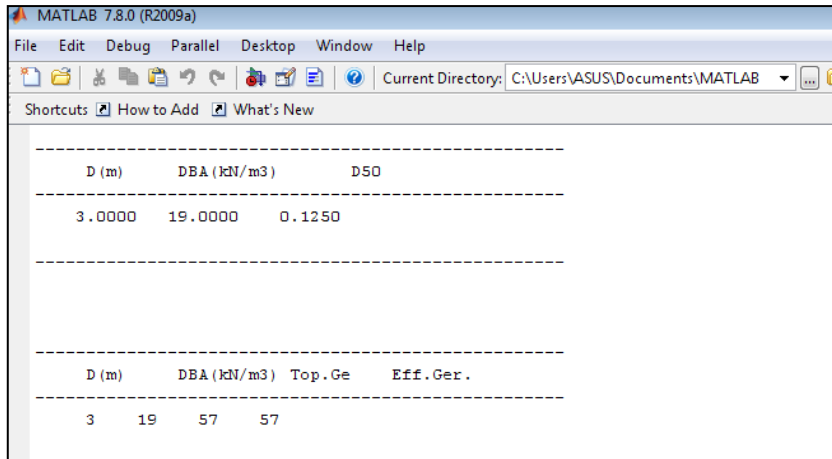
3

m derinliğe göre bilgileri giriniz.

Sondaj logundaki N değerini giriniz=26
Laboratuvar sonuç formundaki, doğal birim Ağırlık değerini giriniz=19

```

Şekil 38. Analizlerin yapılması bölümü program çıktısı



```

MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Paralle Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\ASUS\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

-----
D (m)      DBA (kN/m3)      D50
-----
3.0000    19.0000          0.1250
-----

-----
D (m)      DBA (kN/m3)      Top. Ge      Eff. Ger.
-----
3         19         57          57

```

Şekil 39. Analizlerin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı

The screenshot shows the MATLAB 7.8.0 (R2009a) interface. The main window displays a table of results with the following data:

D (m)	r_d	DGO	DDO	EF
3.0000	0.9550	1.2217	0.4997	0.4878

Below the table, the text reads:

SONUÇ:
3
m derinlikte sıvılaşma olayı meydana gelir.

Şekil 40. Analizlerin yapılması (devamı) bölümü program çıktısı

2.4.2. Sıvılaşma Analizlerinin Yapılması

İnceleme alanı zeminlerinden, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonucu elde edilen 63 sondaj verisi kullanılarak, Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) ve Iwasaki vd. (1981) yöntemlerine göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. MATLAB programı üzerinden, M=6.0, M=6.5, M=7.0, M=7.5 deprem büyüklükleri için yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar, tablolar halinde oluşturulmuştur. Tablolar oluşturulurken, sondaj loglarındaki en düşük SPT- N_{arazi} değerleri dikkate alınmıştır. Tamamı killi yapı gösteren Devlet hastanesi, Kavakyolu, Ula, Çukurkuyu zeminlerinin sıvılaşma potansiyeli göstermeyeceği kabul edilerek ve bu alanlar sıvılaşma analizlerine dahil edilmemiştir.

M=6.0, M=6.5, M=7.0, M=7.5 deprem büyüklükleri için program tarafından hesaplanan a_{maks} (zeminde en büyük yatay yer ivmesi) ve MDF (Magnitüd düzeltme faktörü) değerleri Tablo 16'da verilmiştir. 3 yöntemde de bu tabloda yer alan a_{maks} ve MDF değerleri kullanılmıştır. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde ise MDF faktörü dikkate alınmamıştır. a_{maks} değerinin hesaplanmasında kullanılan R değeri, 1992 Erzincan depreminde 7.7 olarak belirlenmiştir (Saatcioglu and Bruneau, 1993). Hesaplamalarda bu değer dikkate alınmıştır.

Tablo 16. a_{maks} (zeminde en büyük yatay yer ivmesi) ve MDF (Magnitüd düzeltme faktörü) değerleri

Deprem Büyüklüğü (M)	a_{maks} (zeminde en büyük yatay yer ivmesi)	MDF (Magnitüd düzeltme faktörü)
6.0	0.52g	1.77
6.5	0.82g	1.44
7.0	1.27g	1.19
7.5	2.00g	1.00

2.4.2.1. Seed ve Idriss (1971)

Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen bulgular şu şekildedir:

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 12 m olan, şehir merkezinde yer alan İl Özel İdare binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 4 m-20 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. İl Özel İdare zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
İL ÖZEL İDARESİ	6.0	4	24	18.4	29.38	73.6	73.6	0.973	0.327	0.439	2.37
		8	27	18.6	23.31	148	148	0.937	0.316	0.272	1.55
		12	29	18.3	19.63	221.2	221.2	0.856	0.288	0.221	1.35
		16	31	18.7	19.04	296	256	0.727	0.283	0.214	1.33
		20	30	18.6	16.88	370.4	290.4	0.618	0.265	0.189	1.26
	6.5	4	24	18.4	29.38	73.6	73.6	0.973	0.515	0.439	1.22
		8	27	18.6	23.31	148	148	0.937	0.496	0.272	0.78
		12	29	18.3	19.63	221.2	221.2	0.856	0.453	0.221	0.69
		16	31	18.7	19.04	296	256	0.727	0.445	0.214	0.68
		20	30	18.6	16.88	370.4	290.4	0.618	0.417	0.189	0.65
	7.0	4	24	18.4	29.38	73.6	73.6	0.973	0.808	0.439	0.64
		8	27	18.6	23.31	148	148	0.937	0.770	0.272	0.41
		12	29	18.3	19.63	221.2	221.2	0.856	0.712	0.221	0.37
		16	31	18.7	19.04	296	256	0.727	0.699	0.214	0.36
		20	30	18.6	16.88	370.4	290.4	0.618	0.655	0.189	0.34
	7.5	4	24	18.4	29.38	73.6	73.6	0.973	1.26	0.439	0.34
		8	27	18.6	23.31	148	148	0.937	1.22	0.272	0.22
		12	29	18.3	19.63	221.2	221.2	0.856	1.11	0.221	0.19
		16	31	18.7	19.04	296	256	0.727	1.09	0.214	0.19
		20	30	18.6	16.88	370.4	290.4	0.618	1.02	0.189	0.18

M=6.0 deprem büyüklüğü için 4 m-20 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu deprem büyüklüğü için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5 deprem büyüklüğü için ilk 4 m'de EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 8 m-20 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 4 m-20 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu deprem büyüklüğü için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 22 m olan, şehir merkezinde yer alan Özel Neon Hastanesi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 12 m-18 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Özel Neon Hastanesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ÖZEL NEON HASTANESİ	6.0	12	27	18.8	18.05	225.6	225.6	0.856	0.288	0.202	1.24
		15	30	18.7	17.25	281.7	281.7	0.761	0.256	0.193	1.33
		18	31	18.9	15.62	338.4	338.4	0.667	0.224	0.176	1.38
	6.5	12	27	18.8	18.05	225.6	225.6	0.856	0.453	0.202	0.64
		15	30	18.7	17.25	281.7	281.7	0.761	0.402	0.193	0.69
		18	31	18.9	15.62	338.4	338.4	0.667	0.353	0.176	0.72
	7.0	12	27	18.8	18.05	225.6	225.6	0.856	0.712	0.202	0.33
		15	30	18.7	17.25	281.7	281.7	0.761	0.632	0.193	0.36
		18	31	18.9	15.62	338.4	338.4	0.667	0.554	0.176	0.37
	7.5	12	27	18.8	18.05	225.6	225.6	0.856	1.17	0.202	0.18
		15	30	18.7	17.25	281.7	281.7	0.761	0.99	0.193	0.19
		18	31	18.9	15.62	338.4	338.4	0.667	0.87	0.176	0.21

M=6.0 deprem büyüklüğü için 12 m-18 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinlikler için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 12 m-18 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 30 m olan, şehir merkezinde yer alan Devlet Hastanesi B Blok binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-7.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Devlet Hastanesi B Blok zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
DEVLET HASTANESİ B BLOK	6.0	3	26	19	36.16	57	57	X	X	X	X
		4.5	32	19	36.34	85.5	85.5	X	X	X	X
		6	26	19	25.57	114	114	0.957	0.316	0.313	1.75
		7.5	28	19	24.63	142.5	142.5	0.943	0.312	0.295	1.67
	6.5	3	26	19	36.16	57	57	X	X	X	X
		4.5	32	19	36.34	85.5	85.5	X	X	X	X
		6	26	19	25.57	114	114	0.957	0.497	0.313	0.91
		7.5	28	19	24.63	142.5	142.5	0.943	0.490	0.295	0.86
	7.0	3	26	19	36.16	57	57	X	X	X	X
		4.5	32	19	36.34	85.5	85.5	X	X	X	X
		6	26	19	25.57	114	114	0.957	0.781	0.313	0.48
		7.5	28	19	24.63	142.5	142.5	0.943	0.769	0.295	0.46
	7.5	3	26	19	36.16	57	57	X	X	X	X
		4.5	32	19	36.34	85.5	85.5	X	X	X	X
		6	26	19	25.57	114	114	0.957	1.36	0.313	0.23
		7.5	28	19	24.63	142.5	142.5	0.943	1.18	0.295	0.25

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m-4.5 m arasında $(N_1)_{60}$ değerleri 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği belirlenmiştir. 6 m-7.5 m arasında ise EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikler için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m arasında $(N_1)_{60}$ değerlerinin 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m-7.5 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 19 m olan, şehir merkezinde yer alan Karayolları 164. Şube Şefliği binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3m-9m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Karayolları 164. Şube Şefliği zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
KARAYOLLARI 164.ŞB.ŞEF.	6.0	3	14	20.15	18.91	60.45	60.45	0.979	0.324	0.212	1.16
		6	23	19.4	22.17	118.6	118.6	0.957	0.316	0.254	1.42
		9	25	19.96	19.64	178.5	178.5	0.922	0.305	0.221	1.28
	6.5	3	14	20.15	18.91	60.45	60.45	0.979	0.508	0.212	0.60
		6	23	19.4	22.17	118.6	118.6	0.957	0.497	0.254	0.73
		9	25	19.96	19.64	178.5	178.5	0.922	0.479	0.221	0.66
	7.0	3	14	20.15	18.91	60.45	60.45	0.979	0.799	0.212	0.31
		6	23	19.4	22.17	118.6	118.6	0.957	0.781	0.254	0.38
		9	25	19.96	19.64	178.5	178.5	0.922	0.752	0.221	0.35
	7.5	3	14	20.15	18.91	60.45	60.45	0.979	1.25	0.212	0.16
		6	23	19.4	22.17	118.6	118.6	0.957	1.22	0.254	0.20
		9	25	19.96	19.64	178.5	178.5	0.922	1.18	0.221	0.18

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m derinlikte EF değeri 1.0-1.2 arasında hesaplanmış, bu derinlik için sıvılaşma riskinin olduğu, 6 m-9 m arasında ise EF değeri 1.2’den büyük hesaplandığı için sıvılaşma meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri 3 m-9 m arasında ise EF değeri 1.0’dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 9.5 m olan, şehir merkezinde yer alan Huzurevi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-12 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
HUZUREVİ	6.0	3	28	18.7	39.25	56.1	56.1	X	X	X	X
		4.5	31	18.9	35.42	84.45	84.45	X	X	X	X
		6	45	19	44.46	112.95	112.9	X	X	X	X
		7.5	49	18.9	43.28	141.3	141.3	X	X	X	X
		9	39	18.8	31.45	169.5	169.5	X	X	X	X
		12	31	18.6	22.99	225.3	206.3	0.856	0.318	0.266	1.48
	6.5	3	28	18.7	39.25	56.1	56.1	X	X	X	X
		4.5	31	18.9	35.42	84.45	84.45	X	X	X	X
		6	45	19	44.46	112.95	112.9	X	X	X	X
		7.5	49	18.9	43.28	141.3	141.3	X	X	X	X
		9	39	18.8	31.45	169.5	169.5	X	X	X	X
		12	31	18.6	22.99	225.3	206.3	0.856	0.50	0.266	0.76
	7.0	3	28	18.7	39.25	56.1	56.1	X	X	X	X
		4.5	31	18.9	35.42	84.45	84.45	X	X	X	X
		6	45	19	44.46	112.95	112.9	X	X	X	X
		7.5	49	18.9	43.28	141.3	141.3	X	X	X	X
		9	39	18.8	31.45	169.5	169.5	X	X	X	X
		12	31	18.6	22.99	225.3	206.3	0.856	0.785	0.266	0.40
	7.5	3	28	18.7	39.25	56.1	56.1	X	X	X	X
		4.5	31	18.9	35.42	84.45	84.45	X	X	X	X
		6	45	19	44.46	112.95	112.9	X	X	X	X
		7.5	49	18.9	43.28	141.3	141.3	X	X	X	X
		9	39	18.8	31.45	169.5	169.5	X	X	X	X
		12	31	18.6	22.99	225.3	206.3	0.856	1.23	0.266	0.21

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m-9 m arasında $(N_1)_{60}$ değerleri 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği belirlenmiştir. 12m derinlikte ise EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasında $(N_1)_{60}$ değerlerinin 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 9 m-12 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1m olan, şehir merkezinde yer alan Arıtma tesisi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Arıtma tesisi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ARITMA TESİSİ	6.0	3	21	18.9	36.39	56.7	36.7	X	X	X	X
		4.5	25	18.9	37.11	85.05	50.05	X	X	X	X
		6	22	18.6	29.14	112.95	62.95	0.957	0.586	0.425	1.32
		9	28	19	30.99	169.95	89.95	X	X	X	X
	6.5	3	21	18.9	36.39	56.7	36.7	X	X	X	X
		4.5	25	18.9	37.11	85.05	50.05	X	X	X	X
		6	22	18.6	29.14	112.95	62.95	0.957	0.892	0.425	0.68
		9	28	19	30.99	169.95	89.95	X	X	X	X
	7.0	3	21	18.9	36.39	56.7	36.7	X	X	X	X
		4.5	25	18.9	37.11	85.05	50.05	X	X	X	X
		6	22	18.6	29.14	112.95	62.95	0.957	1.401	0.425	0.36
		9	28	19	30.99	169.95	89.95	X	X	X	X
	7.5	3	21	18.9	36.39	56.7	36.7	X	X	X	X
		4.5	25	18.9	37.11	85.05	50.05	X	X	X	X
		6	22	18.6	29.14	112.95	62.95	0.957	2.201	0.425	0.19
		9	28	19	30.99	169.95	89.95	X	X	X	X

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m, 4.5 m ve 9 m derinlikte $(N_1)_{60}$ değerleri 30’dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği belirlenmiştir. 6 m derinlikte ise EF değeri 1.2’den büyük hesaplanmış, bu derinlik için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m, 4.5 m ve 9 m derinlikte $(N_1)_{60}$ değerleri 30’dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m derinlikte ise EF değeri 1.0’dan küçük hesaplandığı için, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olan, Organize Sanayi bölgesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-4.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. Organize sanayi bölgesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ	6.0	3	26	18.6	36.55	55.8	55.8	X	X	X	X
		4.5	31	18.6	35.58	83.7	83.7	X	X	X	X
	6.5	3	26	18.6	36.55	55.8	55.8	X	X	X	X
		4.5	31	18.6	35.58	83.7	83.7	X	X	X	X
	7.0	3	26	18.6	36.55	55.8	55.8	X	X	X	X
		4.5	31	18.6	35.58	83.7	83.7	X	X	X	X
	7.5	3	26	18.6	36.55	55.8	55.8	X	X	X	X
		4.5	31	18.6	35.58	83.7	83.7	X	X	X	X

M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde $(N_1)_{60}$ değerleri 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 3 m olan, Üzümlü belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-7.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 24'de verilmiştir.

Tablo 24. Üzümlü zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ÜZÜMLÜ	6.0	3	23	18.2	32.68	54.6	54.6	X	X	X	X
		4.5	25	18.3	32.05	82.05	67.05	X	X	X	X
		6	25	18.3	29.44	109.5	79.5	0.957	0.445	0.443	1.77
		7.5	21	18.5	22.95	137.25	97.25	0.943	0.473	0.266	0.99
	6.5	3	23	18.2	32.68	54.6	54.6	X	X	X	X
		4.5	25	18.3	32.05	82.05	67.05	X	X	X	X
		6	25	18.3	29.44	109.5	79.5	0.957	0.698	0.443	0.92
		7.5	21	18.5	22.95	137.25	97.25	0.943	0.743	0.266	0.52
	7.0	3	23	18.2	32.68	54.6	54.6	X	X	X	X
		4.5	25	18.3	32.05	82.05	67.05	X	X	X	X
		6	25	18.3	29.44	109.5	79.5	0.957	1.096	0.443	0.48
		7.5	21	18.5	22.95	137.25	97.25	0.943	1.16	0.266	0.27
	7.5	3	23	18.2	32.68	54.6	54.6	X	X	X	X
		4.5	25	18.3	32.05	82.05	67.05	X	X	X	X
		6	25	18.3	29.44	109.5	79.5	0.957	1.72	0.443	0.25
		7.5	21	18.5	22.95	137.25	97.25	0.943	1.83	0.266	0.14

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m-4.5 m derinlikleri arasında $(N_1)_{60}$ değerleri 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği belirlenmiştir. 6 m derinlikte EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m derinlikleri arasında $(N_1)_{60}$ değerleri 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği belirlenmiştir. 6 m-7.5 m derinlikleri arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olan, Yalnızbağ belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-22.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 25'de verilmiştir.

Tablo 25. Yalnızbağ zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	(N ₁) ₆₀	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
YALNIZBAĞ	6.0	3	20	18.6	28.11	55.8	55.8	0.979	0.330	0.384	2.05
		4.5	22	18.7	25.23	83.85	83.85	0.969	0.326	0.306	1.66
		6	21	18.5	20.87	111.6	111.6	0.958	0.322	0.234	1.29
		7.5	23	18.5	20.45	139.5	139.5	0.943	0.317	0.231	1.28
		9	23	18.8	18.65	167.7	167.7	0.923	0.311	0.209	1.19
		10.5	24	18.6	18.03	195.4	195.4	0.894	0.301	0.202	1.18
		12	22	18.5	14.01	223.2	223.2	0.856	0.288	0.168	1.03
		13.5	29	18.7	18.04	251.3	251.3	0.11	0.273	0.202	1.31
		15	29	18.6	16.78	279.1	279.1	0.761	0.256	0.180	1.30
		16.5	37	18.7	20.07	307.2	307.2	0.711	0.239	0.225	1.66
		18	39	18.6	19.79	335.1	335.1	0.667	0.224	0.222	1.75
		19.5	43	18.7	20.55	363.1	363.1	0.629	0.212	0.232	1.94
		21	42	18.6	18.98	391.5	391.5	0.598	0.201	0.213	1.87
	22.5	38	18.7	16.28	419.1	419.1	0.572	0.193	0.183	1.67	
	6.5	3	20	18.6	28.11	55.8	55.8	0.979	0.508	0.384	1.08
		4.5	22	18.7	25.23	83.85	83.85	0.969	0.503	0.306	0.87
		6	21	18.5	20.87	111.6	111.6	0.958	0.497	0.237	0.68
		7.5	23	18.5	20.45	139.5	139.5	0.943	0.490	0.231	0.67
		9	23	18.8	18.65	167.7	167.7	0.923	0.479	0.209	0.62
	7.0	3	20	18.6	28.11	55.8	55.8	0.979	0.799	0.384	0.58
		4.5	22	18.7	25.23	83.85	83.85	0.969	0.791	0.306	0.46
		6	21	18.5	20.87	111.6	111.6	0.958	0.781	0.237	0.36
		7.5	23	18.5	20.45	139.5	139.5	0.943	0.769	0.231	0.35
		9	23	18.8	18.65	167.7	167.7	0.923	0.753	0.209	0.33
	7.5	3	20	18.6	28.11	55.8	55.8	0.979	1.254	0.384	0.31
		4.5	22	18.7	25.23	83.85	83.85	0.969	1.241	0.306	0.25
		6	21	18.5	20.87	111.6	111.6	0.958	1.226	0.237	0.19
		7.5	23	18.5	20.45	139.5	139.5	0.943	1.208	0.231	0.19
		9	23	18.8	18.65	167.7	167.7	0.923	1.182	0.209	0.17

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m-7.5 m ve 13.5 m-22.5 m arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 9 m-12 m arasındaki derinliklerde ise EF değerleri 1.0-1.2 arasında hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma riskinin olduğu tespit edilmiştir.

M=6.5, deprem büyüklüğü için 3 m derinlikte EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir. 4.5 m'de EF değerleri 1.0-

1.2 arasında hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma riskinin olduğu, 6 m-9 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 31 m olan, Akyazı Belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 26' da verilmiştir.

Tablo 26. Akyazı zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
AKYAZI	6.0	3	28	18.8	39.15	56.4	56.4	X	X	X	X
		6	33	18.6	32.72	112.2	112.2	X	X	X	X
		9	39	18.6	31.59	168	168	X	X	X	X
	6.5	3	28	18.8	39.15	56.4	56.4	X	X	X	X
		6	33	18.6	32.72	112.2	112.2	X	X	X	X
		9	39	18.6	31.59	168	168	X	X	X	X
	7.0	3	28	18.8	39.15	56.4	56.4	X	X	X	X
		6	33	18.6	32.72	112.2	112.2	X	X	X	X
		9	39	18.6	31.59	168	168	X	X	X	X
	7.5	3	28	18.8	39.15	56.4	56.4	X	X	X	X
		6	33	18.6	32.72	112.2	112.2	X	X	X	X
		9	39	18.6	31.59	168	168	X	X	X	X

M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasındaki derinliklerde $(N_1)_{60}$ değerleri 30'dan büyük değerler aldığı için incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1m olan, Altınbaşak Belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-12 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Altınbaşak zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	$(N_1)_{60}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ALTINBAŞAK	6.0	3	17	18.7	29.71	56.1	36.1	0.979	0.503	0.458	1.62
		6	21	18.7	27.96	112.2	62.2	0.957	0.571	0.378	1.17
		9	25	18.6	27.98	168	88	0.922	0.583	0.378	1.15
		12	25	18.7	24.55	224.1	114.1	0.856	0.556	0.293	0.94
	6.5	3	17	18.7	29.71	56.1	36.1	0.979	0.791	0.458	0.84
		6	21	18.7	27.96	112.2	62.2	0.957	0.897	0.378	0.61
		9	25	18.6	27.98	168	88	0.922	0.915	0.378	0.59
		12	25	18.7	24.55	224.1	114.1	0.856	0.873	0.293	0.48
	7.0	3	17	18.7	29.71	56.1	36.1	0.979	1.242	0.458	0.44
		6	21	18.7	27.96	112.2	62.2	0.957	1.409	0.378	0.32
		9	25	18.6	27.98	168	88	0.922	1.437	0.378	0.31
		12	25	18.7	24.55	224.1	114.1	0.856	1.372	0.293	0.25
	7.5	3	17	18.7	29.71	56.1	36.1	0.979	1.948	0.458	0.24
		6	21	18.7	27.96	112.2	62.2	0.957	2.212	0.378	0.17
		9	25	18.6	27.98	168	88	0.922	2.256	0.378	0.16
		12	25	18.7	24.55	224.1	114.1	0.856	2.154	0.293	0.13

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m derinlikte EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinlikte sıvılaşma meydana gelmeyeceği belirlenmiştir. 6 m-9 m arasında derinliklerde EF değeri 1.0 ve 1.2 arasında olduğu için bu derinlikte zeminin sıvılaşma riski taşıdığı, 12 m derinlikte ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-12 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

2.4.2.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983)

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinde MDF (Magnitüd düzeltme faktörü) dikkate alınmamıştır. Çünkü bu yöntemde DGO (Devirsel gerilme oranı)'nın bulunmasında deprem etkisi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Tablo 28'de deprem büyüklüklerine göre r_n (deprem büyüklüğü düzeltme faktörü) değerleri verilmiştir.

Tablo 28. r_n (deprem büyüklüğü düzeltme faktörü) değerleri

Deprem Büyüklüğü (M)	Deprem Büyüklüğü Düzeltme Faktörü (r_n)
6.0	0.5
6.5	0.55
7.0	0.60
7.5	0.75

Bu yöntemle yapılan sıvılaşma analizlerinde bazı derinliklerde 15-60 arasında değişen EF (Emniyet Faktörü) değerleri ile karşılaşmıştır. Bunun sebebi analizlerde ince tane oranı (ITO) etkisinin dikkate alınmasıdır.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen bulgular şu şekildedir:

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 12 m olan, şehir merkezinde yer alan İl Özel İdare binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 4 m-20 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29. İl Özel İdare zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
İL ÖZEL İDARE	6.0	4	24	18.4	35.37	28.41	73.6	73.6	0.940	0.234	3.507	14.39
		8	27	18.6	35.24	21.05	148	148	0.880	0.228	0.907	3.97
		12	29	18.3	31.52	16.92	221.2	221.2	0.820	0.212	0.398	1.87
		16	31	18.7	31.75	16.16	296	256	0.760	0.227	0.357	1.56
		20	30	18.6	33.53	14.15	370.4	290.4	0.700	0.231	0.279	1.21
	6.5	4	24	18.4	35.37	28.41	73.6	73.6	0.940	0.421	3.507	8.32
		8	27	18.6	35.24	21.05	148	148	0.880	0.394	0.907	2.30
		12	29	18.3	31.52	16.92	221.2	221.2	0.820	0.364	0.398	1.08
		16	31	18.7	31.75	16.16	296	256	0.760	0.393	0.357	0.91
		20	30	18.6	33.53	14.15	370.4	290.4	0.700	0.400	0.279	0.69
	7.0	4	24	18.4	35.37	28.41	73.6	73.6	0.940	0.721	3.507	4.86
		8	27	18.6	35.24	21.05	148	148	0.880	0.675	0.907	1.34
		12	29	18.3	31.52	16.92	221.2	221.2	0.820	0.629	0.398	0.63
		16	31	18.7	31.75	16.16	296	256	0.760	0.674	0.357	0.53
		20	30	18.6	33.53	14.15	370.4	290.4	0.700	0.683	0.279	0.41
	7.5	4	24	18.4	35.37	28.41	73.6	73.6	0.940	1.22	3.507	2.85
		8	27	18.6	35.24	21.05	148	148	0.880	1.14	0.907	0.78
		12	29	18.3	31.52	16.92	221.2	221.2	0.820	1.07	0.398	0.37
		16	31	18.7	31.75	16.16	296	256	0.760	1.14	0.357	0.31
		20	30	18.6	33.53	14.15	370.4	290.4	0.700	1.16	0.279	0.24

M=6.0 deprem büyüklüğü için 4 m-20 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikler için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5 ve M=7.0 deprem büyüklükleri için 4 m-8 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 12 m-20 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.5 deprem büyüklüğü için 4 m-20 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 22 m olan, şehir merkezinde yer alan Özel Neon Hastanesi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 12 m-18 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Özel Neon Hastanesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ÖZEL NEON HASTANESİ	6.0	12	27	18.8	40.39	15.52	225.6	225.6	0.820	0.212	0.368	1.73
		15	30	18.7	37.93	14.51	281.7	281.7	0.775	0.201	0.308	1.53
		18	31	18.9	45.91	12.91	338.4	338.4	0.730	0.189	0.279	1.47
	6.5	12	27	18.8	40.39	15.52	225.6	225.6	0.820	0.367	0.368	1.00
		15	30	18.7	37.93	14.51	281.7	281.7	0.775	0.347	0.308	0.88
		18	31	18.9	45.91	12.91	338.4	338.4	0.730	0.327	0.279	0.85
	7.0	12	27	18.8	40.39	15.52	225.6	225.6	0.820	0.629	0.368	0.58
		15	30	18.7	37.93	14.51	281.7	281.7	0.775	0.594	0.308	0.51
		18	31	18.9	45.91	12.91	338.4	338.4	0.730	0.560	0.279	0.49
	7.5	12	27	18.8	40.39	15.52	225.6	225.6	0.820	1.07	0.368	0.34
		15	30	18.7	37.93	14.51	281.7	281.7	0.775	1.01	0.308	0.31
		18	31	18.9	45.91	12.91	338.4	338.4	0.730	0.95	0.279	0.29

M=6.0 deprem büyüklüğü için 12 m-18 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 12 m-18 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 30 m olan, şehir merkezinde yer alan Devlet Hastanesi B Blok binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-7.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 31'de verilmiştir.

Tablo 31. Devlet Hastanesi B-Blok zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
DEVLET HASTANESİ B BLOK	6.0	3	26	19	62.03	34.80	57	57	0.955	0.247	15.99	64.60
		7.5	28	19	31.95	22.40	142.5	142.5	0.887	0.230	1.06	4.61
	6.5	3	26	19	62.03	34.80	57	57	0.955	0.427	15.99	37.4
		7.5	28	19	31.95	22.40	142.5	142.5	0.887	0.397	1.06	2.66
	7.0	3	26	19	62.03	34.80	57	57	0.955	0.733	15.99	21.8
		7.5	28	19	31.95	22.40	142.5	142.5	0.887	0.681	1.06	1.55
	7.5	3	26	19	62.03	34.80	57	57	0.955	1.24	15.99	12.8
		7.5	28	19	31.95	22.40	142.5	142.5	0.887	1.15	1.06	0.91

M=6.0, M=6.5 ve M=7.0 deprem büyüklükleri için 3 m-7.5 m arasında EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=7.5 deprem büyüklüğü için 3 m'de EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu deprem büyüklüğü için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte ise 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 19 m olan, şehir merkezinde yer alan Karayolları 164. Şube Şefliği binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. Karayolları 164.Şube Şefliği zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
KARAYOLLARI 164. ŞB. ŞEF.	6.0	3	14	20.15	7.96	18.24	60.45	60.45	0.955	0.247	0.27	1.09
		6	23	19.4	25.18	20.72	118.6	118.6	0.910	0.235	0.682	2.89
		9	25	19.96	21.54	17.10	178.5	178.5	0.865	0.224	0.352	1.57
	6.5	3	14	20.15	7.96	18.24	60.45	60.45	0.955	0.427	0.27	0.63
		6	23	19.4	25.18	20.72	118.6	118.6	0.910	0.407	0.682	1.67
		9	25	19.96	21.54	17.10	178.5	178.5	0.865	0.387	0.352	0.919
	7.0	3	14	20.15	7.96	18.24	60.45	60.45	0.955	0.733	0.27	0.36
		6	23	19.4	25.18	20.72	118.6	118.6	0.910	0.698	0.682	0.97
		9	25	19.96	21.54	17.10	178.5	178.5	0.865	0.664	0.352	0.53
	7.5	3	14	20.15	7.96	18.24	60.45	60.45	0.955	1.24	0.27	0.21
		6	23	19.4	25.18	20.72	118.6	118.6	0.910	1.18	0.682	0.57
		9	25	19.96	21.54	17.10	178.5	178.5	0.865	1.12	0.352	0.31

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m derinlikte EF değeri 1.0 ve 1.2 arasında olduğu için bu derinlikte zeminin sıvılaşma riski taşıdığı, 6 m-9 m arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5 deprem büyüklüğü için 3 m derinlikte EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, 6 m derinlikte EF değeri 1.0'dan büyük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 9 m derinlikte ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 9.5 m olan, şehir merkezinde yer alan Huzurevi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-12 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 33'de verilmiştir.

Tablo 33. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
HUZUR EVİ	6.0	3	28	18.7	40.43	37.74	56.1	56.1	0.955	0.247	18.01	72.78
		4.5	31	18.9	57.98	34.12	84.45	84.45	0.932	0.241	13.51	55.92
		6	45	19	65.14	41.81	112.9	112.9	0.910	0.235	45.44	192.6
		7.5	49	18.9	66.57	39.42	141.3	141.3	0.887	0.239	33.49	147.4
		9	39	18.8	67.51	27.72	169.5	169.5	0.865	0.224	5.49	24.49
		12	31	18.6	40.12	19.52	225.3	206.3	0.820	0.239	0.719	3.00
	6.5	3	28	18.7	40.43	37.74	56.1	56.1	0.955	0.427	18.01	42.10
		4.5	31	18.9	57.98	34.12	84.45	84.45	0.932	0.417	13.51	32.35
		6	45	19	65.14	41.81	112.9	112.9	0.910	0.407	45.44	111.4
		7.5	49	18.9	66.57	39.42	141.3	141.3	0.887	0.397	33.49	84.21
		9	39	18.8	67.51	27.72	169.5	169.5	0.865	0.387	5.49	14.17
		12	31	18.6	40.12	19.52	225.3	206.3	0.820	0.413	0.719	1.73
	7.0	3	28	18.7	40.43	37.74	56.1	56.1	0.955	0.733	18.01	24.57
		4.5	31	18.9	57.98	34.12	84.45	84.45	0.932	0.715	13.51	18.88
		6	45	19	65.14	41.81	112.9	112.9	0.910	0.698	45.44	65.06
		7.5	49	18.9	66.57	39.42	141.3	141.3	0.887	0.681	33.49	48.97
		9	39	18.8	67.51	27.72	169.5	169.5	0.865	0.664	5.49	8.27
		12	31	18.6	40.12	19.52	225.3	206.3	0.820	0.708	0.719	1.02
	7.5	3	28	18.7	40.43	37.74	56.1	56.1	0.955	1.25	18.01	14.45
		4.5	31	18.9	57.98	34.12	84.45	84.45	0.932	1.22	13.51	11.10
		6	45	19	65.14	41.81	112.9	112.9	0.910	1.18	45.44	38.26
		7.5	49	18.9	66.57	39.42	141.3	141.3	0.887	1.15	33.49	28.91
		9	39	18.8	67.51	27.72	169.5	169.5	0.865	1.12	5.49	4.86
		12	31	18.6	40.12	19.52	225.3	206.3	0.820	1.20	0.719	0.59

M=6.0, M=6.5 deprem büyüklükleri için 3 m-12 m arasında EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=7.0, M=7.5 deprem büyüklükleri için EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu deprem büyüklükleri için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 9 m-12 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1 m olan, şehir merkezinde yer alan Arıtma tesisi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 34’de verilmiştir.

Tablo 34. Arıtma Tesisi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ARITMA TESİSİ	6.0	3	21	18.9	76.27	33.45	56.7	36.7	0.955	0.383	16.18	42.32
		4.5	25	18.9	72.05	35.40	85.05	50.05	0.932	0.411	21.66	52.74
		6	22	18.6	46.85	28.13	112.9	62.95	0.910	0.423	4.10	9.69
		9	28	19	77.47	29.56	169.9	89.95	0.865	0.421	8.89	21.11
	6.5	3	21	18.9	76.27	33.45	56.7	36.7	0.955	0.661	16.18	24.48
		4.5	25	18.9	72.05	35.40	85.05	50.05	0.932	0.710	20.35	28.66
		6	22	18.6	46.85	28.13	112.9	62.95	0.910	0.736	4.10	5.60
		9	28	19	77.47	29.56	169.9	89.95	0.865	0.728	8.89	12.2
	7.0	3	21	18.9	76.27	33.45	56.7	36.7	0.955	1.132	16.18	14.2
		4.5	25	18.9	72.05	35.40	85.05	50.05	0.955	1.216	20.35	16.7
		6	22	18.6	46.85	28.13	112.9	62.95	0.932	1.253	4.10	3.27
		9	28	19	77.47	29.56	169.9	89.95	0.910	1.24	8.89	7.12
	7.5	3	21	18.9	76.27	33.45	56.7	36.7	0.865	1.925	16.18	8.41
		4.5	25	18.9	72.05	35.40	85.05	50.05	0.955	2.06	20.35	9.84
		6	22	18.6	46.85	28.13	112.9	62.95	0.932	2.13	4.10	1.92
		9	28	19	77.47	29.56	169.9	89.95	0.910	2.12	8.89	4.19

M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.2’den büyük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olan, Organiz Sanayi bölgesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-4.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 35’de verilmiştir.

Tablo 35. Organize Sanayi Bölgesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ	6.0	3	26	18.6	41.19	35.13	55.8	55.8	0.955	0.247	12.17	49.17
		4.5	31	18.6	39.34	24.28	83.7	83.7	0.932	0.241	10.31	42.68
	6.5	3	26	18.6	41.19	35.13	55.8	55.8	0.955	0.427	12.17	28.44
		4.5	31	18.6	39.34	24.28	83.7	83.7	0.932	0.417	10.31	24.69
	7.0	3	26	18.6	41.19	35.13	55.8	55.8	0.955	0.733	12.17	16.6
		4.5	31	18.6	39.34	24.28	83.7	83.7	0.932	0.715	10.31	14.41
	7.5	3	26	18.6	41.19	35.13	55.8	55.8	0.955	1.25	12.17	9.76
		4.5	31	18.6	39.34	24.28	83.7	83.7	0.932	1.21	10.31	8.48

M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.2'dan büyük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 3 m olan, Üzümlü belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-7.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 36' da verilmiştir.

Tablo 36. Üzümlü zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ÜZÜMLÜ	6.0	3	23	18.2	38.32	31.38	54.6	54.6	0.955	0.247	6.25	25.22
		4.5	25	18.3	39.09	31.01	82.05	67.05	0.932	0.295	5.94	20.08
		6	25	18.3	37.45	28.43	109.5	79.5	0.910	0.324	3.65	11.24
		7.5	21	18.5	41.1	22.01	137.2	97.25	0.887	0.342	1.16	3.41
	6.5	3	23	18.2	38.32	31.38	54.6	54.6	0.955	0.427	6.25	14.60
		4.5	25	18.3	39.09	31.01	82.05	67.05	0.932	0.511	5.94	11.61
		6	25	18.3	37.45	28.43	109.5	79.5	0.910	0.561	3.65	6.51
		7.5	21	18.5	41.1	22.01	137.2	97.25	0.887	0.591	1.16	1.97
	7.0	3	23	18.2	38.32	31.38	54.6	54.6	0.955	0.733	6.25	8.52
		4.5	25	18.3	39.09	31.01	82.05	67.05	0.932	0.875	5.94	6.78
		6	25	18.3	37.45	28.43	109.5	79.5	0.910	0.962	3.65	3.79
		7.5	21	18.5	41.1	22.01	137.2	97.25	0.887	1.01	1.16	1.15
	7.5	3	23	18.2	38.32	31.38	54.6	54.6	0.955	1.24	6.25	5.01
		4.5	25	18.3	39.09	31.01	82.05	67.05	0.932	1.48	5.94	3.98
		6	25	18.3	37.45	28.43	109.5	79.5	0.910	1.64	3.65	2.23
		7.5	21	18.5	41.1	22.01	137.2	97.25	0.887	1.72	1.16	0.678

M=6.0, M=6.5 deprem büyüklükleri için 3 m-7.5 m derinlikleri arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, tespit edilmiştir.

M=7.0 deprem büyüklüğünde 3 m-6 m derinlikleri arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte ise EF değeri 1.0 ve 1.2 arasında hesaplandığı için bu zeminin sıvılaşma riski taşıdığı tespit edilmiştir.

M=7.5 deprem büyüklüğünde 3 m-6 m derinlikleri arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplandığı için, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olan, Yalnızbağ belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-22.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 37' de verilmiştir.

Tablo 37. Yalnızbağ zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
YALNIZBAĞ	6.0	3	20	18.6	42.21	27.03	55.8	55.8	0.955	0.247	3.08	12.46
		4.5	22	18.7	41.65	24.31	83.85	83.85	0.932	0.241	1.83	7.58
		6	21	18.5	40.52	19.65	111.6	111.6	0.910	0.235	0.743	3.15
		7.5	23	18.5	40.75	18.67	139.5	139.5	0.887	0.230	0.624	2.71
		9	23	18.8	38.41	16.45	167.7	167.7	0.865	0.224	0.41	1.84
		10.5	24	18.6	38.08	15.37	195.4	195.4	0.842	0.218	0.348	1.59
		12	22	18.5	42.98	12.75	223.2	223.2	0.820	0.212	0.265	1.24
		13.5	29	18.7	42.31	15.34	251.3	251.3	0.797	0.206	0.369	1.78
		15	29	18.6	43.32	14.12	279.1	279.1	0.775	0.200	0.315	1.56
		16.5	37	18.7	39.3	16.67	307.2	307.2	0.752	0.195	0.483	2.22
	18	39	18.6	43.27	16.36	335.1	335.1	0.730	0.189	0.439	2.32	
	6.5	3	20	18.6	42.21	27.03	55.8	55.8	0.955	0.427	3.08	7.20
		4.5	22	18.7	41.65	24.31	83.85	83.85	0.932	0.417	1.83	4.39
		6	21	18.5	40.52	19.65	111.6	111.6	0.910	0.407	0.743	1.83
		7.5	23	18.5	40.75	18.67	139.5	139.5	0.887	0.397	0.624	1.51
		9	23	18.8	38.41	16.45	167.7	167.7	0.865	0.387	0.41	1.06
		10.5	24	18.6	38.08	15.37	195.4	195.4	0.842	0.372	0.348	0.92
		12	22	18.5	42.98	12.75	223.2	223.2	0.820	0.307	0.265	0.72
	7.0	3	20	18.6	42.21	27.03	55.8	55.8	0.955	0.733	3.08	4.15
		4.5	22	18.7	41.65	24.31	83.85	83.85	0.932	0.715	1.83	2.54
		6	21	18.5	40.52	19.65	111.6	111.6	0.910	0.698	0.743	1.05
		7.5	23	18.5	40.75	18.67	139.5	139.5	0.887	0.887	0.624	0.91
		9	23	18.8	38.41	16.45	167.7	167.7	0.865	0.664	0.41	0.62
	7.5	3	20	18.6	42.21	27.03	55.8	55.8	0.955	1.24	3.08	2.47
		4.5	22	18.7	41.65	24.31	83.85	83.85	0.932	0.932	1.83	1.5
		6	21	18.5	40.52	19.65	111.6	111.6	0.910	1.18	0.743	0.63
		7.5	23	18.5	40.75	18.67	139.5	139.5	0.887	1.15	0.624	0.53
		9	23	18.8	38.41	16.45	167.7	167.7	0.865	1.12	0.41	0.36

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m-22.5 m arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5 deprem büyüklüğü için 3 m-7.5 m arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikler arasında sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir. 9 m derinlikte EF değeri 1.0-1.2 arasında hesaplanmış, bu derinlik için sıvılaşma riskinin olduğu, 10.5-12 m arasındaki derinliklerde ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m arasında EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikler arasında sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m-9 m arasındaki derinliklerde ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 31m olan, Akyazı Belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 38'de verilmiştir.

Tablo 38. Akyazı zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
AKYAZI	6.0	3	28	18.8	38.09	37.66	56.4	56.4	0.955	0.247	17.15	69.30
		6	33	18.6	39.46	30.79	112.2	112.2	0.910	0.235	5.75	24.39
		9	39	18.6	44.09	27.85	168	168	0.865	0.224	3.71	16.56
	6.5	3	28	18.8	38.09	37.66	56.4	56.4	0.955	0.427	17.15	40.09
		6	33	18.6	39.46	30.79	112.2	112.2	0.910	0.407	5.75	14.11
		9	39	18.6	44.09	27.85	168	168	0.865	0.387	3.71	9.58
	7.0	3	28	18.8	38.09	37.66	56.4	56.4	0.955	0.733	17.15	23.40
		6	33	18.6	39.46	30.79	112.2	112.2	0.910	0.699	5.75	8.24
		9	39	18.6	44.09	27.85	168	168	0.865	0.664	3.71	5.58
	7.5	3	28	18.8	38.09	37.66	56.4	56.4	0.955	1.24	17.15	13.76
		6	33	18.6	39.46	30.79	112.2	112.2	0.910	1.18	5.75	4.84
		9	39	18.6	44.09	27.85	168	168	0.865	1.12	3.71	3.17

M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasındaki derinliklerde EF değerleri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikler arasında sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1 m olan, Altınbaşak Belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-12 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 39'da verilmiştir.

Tablo 39. Altınbaşak zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	ITO (%)	$(N_1)_{80}$	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ALTINBAŞAK	6.0	3	17	18.7	15.66	27.24	56.1	36.1	0.955	0.384	1.95	5.07
		6	21	18.7	11.77	27.04	112.2	62.2	0.910	0.425	1.73	4.07
		9	25	18.6	11.85	26.89	168	88	0.865	0.428	1.84	4.29
		12	25	18.7	15.92	23.08	224.1	114.1	0.820	0.417	0.89	2.13
	6.5	3	17	18.7	15.66	27.24	56.1	36.1	0.955	0.665	1.95	2.93
		6	21	18.7	11.77	27.04	112.2	62.2	0.910	0.735	1.74	2.35
		9	25	18.6	11.85	26.89	168	88	0.865	0.738	1.68	2.23
		12	25	18.7	15.92	23.08	224.1	114.1	0.820	0.720	0.883	1.22
	7.0	3	17	18.7	15.66	27.24	56.1	36.1	0.955	1.13	1.95	1.74
		6	21	18.7	11.77	27.04	112.2	62.2	0.910	1.26	1.74	1.37
		9	25	18.6	11.85	26.89	168	88	0.865	1.26	1.70	1.34
		12	25	18.7	15.92	23.08	224.1	114.1	0.820	1.23	0.89	0.72
	7.5	3	17	18.7	15.66	27.24	56.1	36.1	0.955	1.93	1.95	1.0
		6	21	18.7	11.77	27.04	112.2	62.2	0.910	2.14	1.73	0.8
		9	25	18.6	11.85	26.89	168	88	0.865	2.15	1.70	0.79
		12	25	18.7	15.92	23.08	224.1	114.1	0.820	2.10	0.89	0.42

M=6.0 ve M=6.5 deprem büyüklükleri için 3m-12m arasındaki derinliklerde EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma meydana gelmeyeceği belirlenmiştir.

M=7.0 deprem büyüklüğü için 3 m-9 m arasındaki derinliklerde EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma meydana gelmeyeceği, 12 m derinlikte ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-12 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

2.4.2.3. Iwasaki vd. (1981)

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinde bazı derinliklerdeki killi zemin tabakalarında bile sıvılaşma olayının meydana gelebileceği gözlenmiştir. Bunun sebebi bu yöntemde SPT- N_{arazi} değerlerinin, düzeltilme yapılmadan direkt kullanılmasıdır.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen bulgular şu şekildedir:

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 12 m olan, şehir merkezinde yer alan İl Özel İdare binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 4 m-20 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 40' da verilmiştir.

Tablo 40. İl Özel İdare zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
İL ÖZEL İDARESİ	6.0	4	24	18.4	73.6	73.6	0.940	0.487	0.495	1.79
		8	27	18.6	148	148	0.880	0.456	0.428	1.66
		12	29	18.3	221.2	221.2	0.820	0.425	0.427	1.78
		16	31	18.7	296	256	0.760	0.394	0.365	1.66
		20	30	18.6	370.4	290.4	0.700	0.362	0.347	1.69
	6.5	4	24	18.4	73.6	73.6	0.940	0.765	0.495	0.93
		8	27	18.6	148	148	0.880	0.716	0.428	0.86
		12	29	18.3	221.2	221.2	0.820	0.668	0.427	0.92
		16	31	18.7	296	256	0.760	0.619	0.365	0.86
		20	30	18.6	370.4	290.4	0.700	0.571	0.347	0.87
	7.0	4	24	18.4	73.6	73.6	0.940	1.20	0.495	0.49
		8	27	18.6	148	148	0.880	1.12	0.428	0.45
		12	29	18.3	221.2	221.2	0.820	1.04	0.427	0.48
		16	31	18.7	296	256	0.760	0.97	0.365	0.45
		20	30	18.6	370.4	290.4	0.700	0.895	0.347	0.46
	7.5	4	24	18.4	73.6	73.6	0.940	1.88	0.495	0.26
		8	27	18.6	148	148	0.880	1.76	0.428	0.24
		12	29	18.3	221.2	221.2	0.820	1.64	0.427	0.25
		16	31	18.7	296	256	0.760	1.52	0.365	0.24
		20	30	18.6	370.4	290.4	0.700	1.40	0.347	0.24

M=6.0 deprem büyüklüğü için 4 m-20 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 4 m-20 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 22 m olan, şehir merkezinde yer alan Özel Neon Hastanesi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 12 m-18 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 41'de verilmiştir.

Tablo 41. Özel Neon Hastanesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ÖZEL NEON HASTANESİ	6.0	12	27	18.8	225.6	225.6	0.820	0.425	0.375	1.56
		15	30	18.7	281.7	281.7	0.775	0.401	0.370	1.63
		18	31	18.9	338.4	338.4	0.730	0.378	0.348	1.62
	6.5	12	27	18.8	225.6	225.6	0.820	0.668	0.375	0.81
		15	30	18.7	281.7	281.7	0.775	0.663	0.370	0.84
		18	31	18.9	338.4	338.4	0.730	0.594	0.348	0.83
	7.0	12	27	18.8	225.6	225.6	0.820	1.05	0.375	0.43
		15	30	18.7	281.7	281.7	0.775	0.99	0.370	0.44
		18	31	18.9	338.4	338.4	0.730	0.93	0.348	0.43
	7.5	12	27	18.8	225.6	225.6	0.820	1.64	0.375	0.22
		15	30	18.7	281.7	281.7	0.775	1.55	0.370	0.24
		18	31	18.9	338.4	338.4	0.730	1.46	0.348	0.23

M=6.0 deprem büyüklüğü için 12 m-18 m arasında EF (Emniyet Faktörü) değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 12 m-18 m arasında ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 30 m olan, şehir merkezinde yer alan Devlet Hastanesi B Blok binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-7.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 42'de verilmiştir.

Tablo 42. Devlet Hastanesi B Blok zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
DEVLET HASTANESİ B BLOK	6.0	3	26	19	57	57	0.955	0.495	0.499	1.78
		7.5	28	19	142.5	142.5	0.887	0.460	0.420	1.61
	6.5	3	26	19	57	57	0.955	0.778	0.499	0.92
		7.5	28	19	142.5	142.5	0.887	0.723	0.420	0.83
	7.0	3	26	19	57	57	0.955	1.22	0.499	0.48
		7.5	28	19	142.5	142.5	0.887	1.13	0.420	0.44
	7.5	3	26	19	57	57	0.955	1.91	0.499	0.26
		7.5	28	19	142.5	142.5	0.887	1.78	0.420	0.23

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-7.5 m arasında EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-7.5 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 19 m olan, şehir merkezinde yer alan Karayolları 164. Şube Şefliği binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 43'de verilmiştir.

Tablo 43. Karayolları 164. Şube Şefliği zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
KARAYOLLARI 164.ŞB.ŞEF.	6.0	3	14	20.15	60.45	60.45	0.955	0.495	0.238	0.85
		6	23	19.4	118.6	118.6	0.910	0.471	0.394	1.47
		9	25	19.96	178.5	178.5	0.865	0.448	0.230	0.92
	6.5	3	14	20.15	60.45	60.45	0.955	0.778	0.238	0.44
		6	23	19.4	118.6	118.6	0.910	0.742	0.394	0.76
		9	25	19.96	178.5	178.5	0.865	0.705	0.230	0.47
	7.0	3	14	20.15	60.45	60.45	0.955	1.22	0.238	0.23
		6	23	19.4	118.6	118.6	0.910	1.16	0.394	0.41
		9	25	19.96	178.5	178.5	0.865	1.11	0.230	0.25
	7.5	3	14	20.15	60.45	60.45	0.955	1.92	0.238	0.12
		6	23	19.4	118.6	118.6	0.910	1.82	0.394	0.21
		9	25	19.96	178.5	178.5	0.865	1.73	0.230	0.13

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m ve 9 m derinliklerde arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinlikler için sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, 6 m derinlikte ise EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 9.5 m olan, şehir merkezinde yer alan Huzurevi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-12 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 44’de verilmiştir.

Tablo 44. Huzurevi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
HUZUR EVİ	6.0	3	28	18.7	56.1	56.1	0.955	0.495	0.528	1.89
		4.5	31	18.9	84.45	84.45	0.932	0.483	0.499	1.82
		6	45	19	112.95	112.9	0.910	0.472	0.538	2.02
		7.5	49	18.9	141.3	141.3	0.887	0.461	0.529	2.03
		9	39	18.8	169.5	169.5	0.865	0.448	0.464	1.83
		12	31	18.6	225.3	206.3	0.820	0.425	0.403	1.68
	6.5	3	28	18.7	56.1	56.1	0.955	0.778	0.528	0.97
		4.5	31	18.9	84.45	84.45	0.932	0.759	0.499	0.94
		6	45	19	112.95	112.9	0.910	0.741	0.538	1.04
		7.5	49	18.9	141.3	141.3	0.887	0.723	0.529	1.05
		9	39	18.8	169.5	169.5	0.865	0.704	0.464	0.95
		12	31	18.6	225.3	206.3	0.820	0.668	0.403	0.87
	7.0	3	28	18.7	56.1	56.1	0.955	1.22	0.528	0.51
		4.5	31	18.9	84.45	84.45	0.932	1.19	0.499	0.49
		6	45	19	112.95	112.9	0.910	1.16	0.538	0.55
		7.5	49	18.9	141.3	141.3	0.887	1.16	0.529	0.55
	7.5	3	28	18.7	56.1	56.1	0.955	1.91	0.528	0.27
		4.5	31	18.9	84.45	84.45	0.932	1.87	0.499	0.26
		6	45	19	112.95	112.9	0.910	1.82	0.538	0.29
		7.5	49	18.9	141.3	141.3	0.887	1.78	0.529	0.29

M=6.0 deprem büyüklüğü için 3 m-12 m arasında EF değeri 1.2’den büyük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5 deprem büyüklüğü için 3 m-4.5 m ve 9 m-12 m derinliklerde EF değeri 1.0’dan küçük hesaplanmış, bu deprem büyüklükleri için sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, 6 m-7.5 m derinliklerde ise EF değeri 1.0-1.2 arasında hesaplandığı için bu derinliklerde sıvılaşma riskinin olduğu tespit edilmiştir.

M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-12 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1 m olan, şehir merkezinde yer alan Arıtma tesisi binası zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 45'de verilmiştir.

Tablo 45. Arıtma Tesisi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ARITMA TESİSİ	6.0	3	21	18.9	56.7	36.7	0.955	0.764	0.495	1.14
		4.5	25	18.9	85.05	50.05	0.932	0.821	0.507	1.09
		6	22	18.6	112.95	62.95	0.910	0.846	0.476	0.99
		9	28	19	169.95	89.95	0.865	0.845	0.469	0.98
	6.5	3	21	18.9	56.7	36.7	0.955	1.20	0.495	0.59
		4.5	25	18.9	85.05	50.05	0.932	1.29	0.507	0.56
		6	22	18.6	112.95	62.95	0.910	1.32	0.476	0.51
		9	28	19	169.95	89.95	0.865	1.32	0.469	0.50
	7.0	3	21	18.9	56.7	36.7	0.955	1.88	0.495	0.31
		4.5	25	18.9	85.05	50.05	0.932	2.02	0.507	0.29
		6	22	18.6	112.95	62.95	0.910	2.08	0.476	0.27
		9	28	19	169.95	89.95	0.865	2.08	0.469	0.26
	7.5	3	21	18.9	56.7	36.7	0.955	2.96	0.495	0.17
		4.5	25	18.9	85.05	50.05	0.932	3.18	0.507	0.15
		6	22	18.6	112.95	62.95	0.910	3.26	0.476	0.14
		9	28	19	169.95	89.95	0.865	3.27	0.469	0.14

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-4.5 m derinliklerde EF değeri 1.0 ve 1.2 arasında hesaplandığı için, bu derinliklerde zeminin sıvılaşma riski taşıdığı, 6 m-9 m arasında EF değeri ise 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde için sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasında EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olan, Organize Sanayi bölgesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-4.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 46'da verilmiştir.

Tablo 46. Organize Sanayi Bölgesi zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ	6.0	3	26	18.6	55.8	55.8	0.955	0.495	0.518	1.55
		4.5	31	18.6	83.7	83.7	0.932	0.483	0.513	1.88
	6.5	3	26	18.6	55.8	55.8	0.955	0.778	0.518	0.96
		4.5	31	18.6	83.7	83.7	0.932	0.759	0.513	0.97
	7.0	3	26	18.6	55.8	55.8	0.955	1.22	0.518	0.50
		4.5	31	18.6	83.7	83.7	0.932	1.19	0.513	0.51
	7.5	3	26	18.6	55.8	55.8	0.955	1.91	0.518	0.27
		4.5	31	18.6	83.7	83.7	0.932	1.87	0.513	0.27

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.2'dan büyük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 3 m olan, Üzümlü belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-7.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 47'de verilmiştir.

Tablo 47. Üzümlü zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ÜZÜMLÜ	6.0	3	23	18.2	54.6	54.6	0.955	0.495	0.545	1.94
		4.5	25	18.3	82.05	67.05	0.932	0.592	0.525	1.57
		6	25	18.3	109.5	79.5	0.910	0.649	0.509	1.38
		7.5	21	18.5	137.25	97.25	0.887	0.684	0.439	1.13
	6.5	3	23	18.2	54.6	54.6	0.955	0.778	0.545	1.61
		4.5	25	18.3	82.05	67.05	0.932	0.929	0.525	0.82
		6	25	18.3	109.5	79.5	0.910	1.02	0.509	0.72
		7.5	21	18.5	137.25	97.25	0.887	1.07	0.439	0.58
	7.0	3	23	18.2	54.6	54.6	0.955	1.22	0.545	0.53
		4.5	25	18.3	82.05	67.05	0.932	1.45	0.525	0.42
		6	25	18.3	109.5	79.5	0.910	1.61	0.509	0.37
		7.5	21	18.5	137.25	97.25	0.887	1.68	0.439	0.31
	7.5	3	23	18.2	54.6	54.6	0.955	1.91	0.545	0.28
		4.5	25	18.3	82.05	67.05	0.932	2.29	0.525	0.22
		6	25	18.3	109.5	79.5	0.910	2.51	0.509	0.21
		7.5	21	18.5	137.25	97.25	0.887	2.65	0.439	0.16

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.2'dan büyük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5 deprem büyüklüğünde 3 m'de EF değeri 1.2'den büyük hesaplanmış, bu derinlikte için sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 4.5 m-7.5 m arasındaki derinliklerde ise EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinlikler için sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olan, Yalnızbağ belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-22.5 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 48'de verilmiştir.

Tablo 48. Yanlızbağ zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
YALNIZBAĞ	6.0	3	20	18.6	55.8	55.8	0.955	0.495	0.469	1.67
		4.5	22	18.7	83.85	83.85	0.933	0.483	0.446	1.64
		6	21	18.5	111.6	111.6	0.910	0.471	0.422	1.58
		7.5	23	18.5	139.5	139.5	0.887	0.460	0.415	1.59
		9	23	18.8	167.7	167.7	0.865	0.448	0.383	1.51
		10.5	24	18.6	195.4	195.4	0.843	0.437	0.382	1.55
		12	22	18.5	223.2	223.2	0.820	0.425	0.364	1.51
		13.5	29	18.7	251.3	251.3	0.797	0.413	0.378	1.61
		15	29	18.6	279.1	279.1	0.775	0.401	0.371	1.63
		16.5	37	18.7	307.2	307.2	0.752	0.390	0.389	1.76
		18	39	18.6	335.1	335.1	0.730	0.378	0.391	1.83
		19.5	43	18.7	363.1	363.1	0.707	0.366	0.391	1.88
	21	42	18.6	391.5	391.5	0.685	0.355	0.383	1.91	
	22.5	38	18.7	419.1	419.1	0.662	0.343	0.358	1.84	
	6.5	3	20	18.6	55.8	55.8	0.955	0.778	0.469	0.87
		4.5	22	18.7	83.85	83.85	0.933	0.759	0.446	0.84
		6	21	18.5	111.6	111.6	0.910	0.741	0.422	0.82
		7.5	23	18.5	139.5	139.5	0.887	0.723	0.415	0.82
		9	23	18.8	167.7	167.7	0.865	0.704	0.383	0.78
	7.0	3	20	18.6	55.8	55.8	0.955	1.22	0.469	0.45
		4.5	22	18.7	83.85	83.85	0.933	1.19	0.446	0.44
		6	21	18.5	111.6	111.6	0.910	1.16	0.422	0.43
		7.5	23	18.5	139.5	139.5	0.887	1.13	0.415	0.43
		9	23	18.8	167.7	167.7	0.865	1.10	0.383	0.41
	7.5	3	20	18.6	55.8	55.8	0.955	1.91	0.469	0.24
4.5		22	18.7	83.85	83.85	0.933	1.87	0.446	0.23	
6		21	18.5	111.6	111.6	0.910	1.82	0.422	0.23	
7.5		23	18.5	139.5	139.5	0.887	1.78	0.415	0.23	
9		23	18.8	167.7	167.7	0.865	1.73	0.383	0.22	

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-22.5 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.2'dan büyük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinlikler için sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 31 m olan, Akyazı Belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-9 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 49'da verilmiştir.

Tablo 49. Akyazı zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
AKYAZI	6.0	3	28	18.8	56.4	56.4	0.955	0.495	0.523	1.87
		6	33	18.6	112.2	112.2	0.910	0.472	0.493	1.85
		9	39	18.6	168	168	0.865	0.448	0.474	1.87
	6.5	3	28	18.8	56.4	56.4	0.955	0.778	0.523	0.97
		6	33	18.6	112.2	112.2	0.910	0.741	0.493	0.95
		9	39	18.6	168	168	0.865	0.704	0.474	0.97
	7.0	3	28	18.8	56.4	56.4	0.955	1.22	0.523	0.51
		6	33	18.6	112.2	112.2	0.910	1.16	0.493	0.40
		9	39	18.6	168	168	0.865	1.10	0.474	0.56
	7.5	3	28	18.8	56.4	56.4	0.955	1.91	0.523	0.27
		6	33	18.6	112.2	112.2	0.910	1.82	0.493	0.26
		9	39	18.6	168	168	0.865	1.73	0.474	0.27

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.2'dan büyük hesaplandığı için, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-9 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Yer altı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1 m olan, Altınbaşak belediyesi zeminlerinde sıvılaşma analizleri 3 m-12 m derinlikler arasında yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 50'de verilmiştir.

Tablo 50. Altınbaşak zemininin sıvılaşma analiz sonuçları

Yer	Deprem Büy.	Derinlik (m)	N	γ_n (kN/m ³)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	r_d	DGO	DDO	EF
ALTINBAŞAK	6.0	3	17	18.7	56.1	36.1	0.955	0.769	0.466	1.07
		6	21	18.7	112.2	62.2	0.910	0.851	0.464	0.96
		9	25	18.6	168	88	0.865	0.856	0.468	0.96
		12	25	18.7	224.1	114.1	0.820	0.833	0.437	0.92
	6.5	3	17	18.7	56.1	36.1	0.955	1.21	0.466	0.55
		6	21	18.7	112.2	62.2	0.910	1.33	0.464	0.50
		9	25	18.6	168	88	0.865	1.34	0.468	0.49
		12	25	18.7	224.1	114.1	0.820	1.31	0.437	0.48
	7.0	3	17	18.7	56.1	36.1	0.955	1.89	0.466	0.29
		6	21	18.7	112.2	62.2	0.910	2.10	0.464	0.26
		9	25	18.6	168	88	0.865	2.10	0.468	0.26
		12	25	18.7	224.1	114.1	0.820	2.05	0.437	0.29
	7.5	3	17	18.7	56.1	36.1	0.955	2.98	0.466	0.15
		6	21	18.7	112.2	62.2	0.910	3.29	0.464	0.14
		9	25	18.6	168	88	0.865	3.31	0.468	0.14
		12	25	18.7	224.1	114.1	0.820	3.22	0.437	0.13

M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m derinlikte EF değeri 1.0 ve 1.2 arasında hesaplanmış, bu derinlik için zeminin sıvılaşma riski taşıdığı, 6 m-12 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, bu deprem büyüklükleri için sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

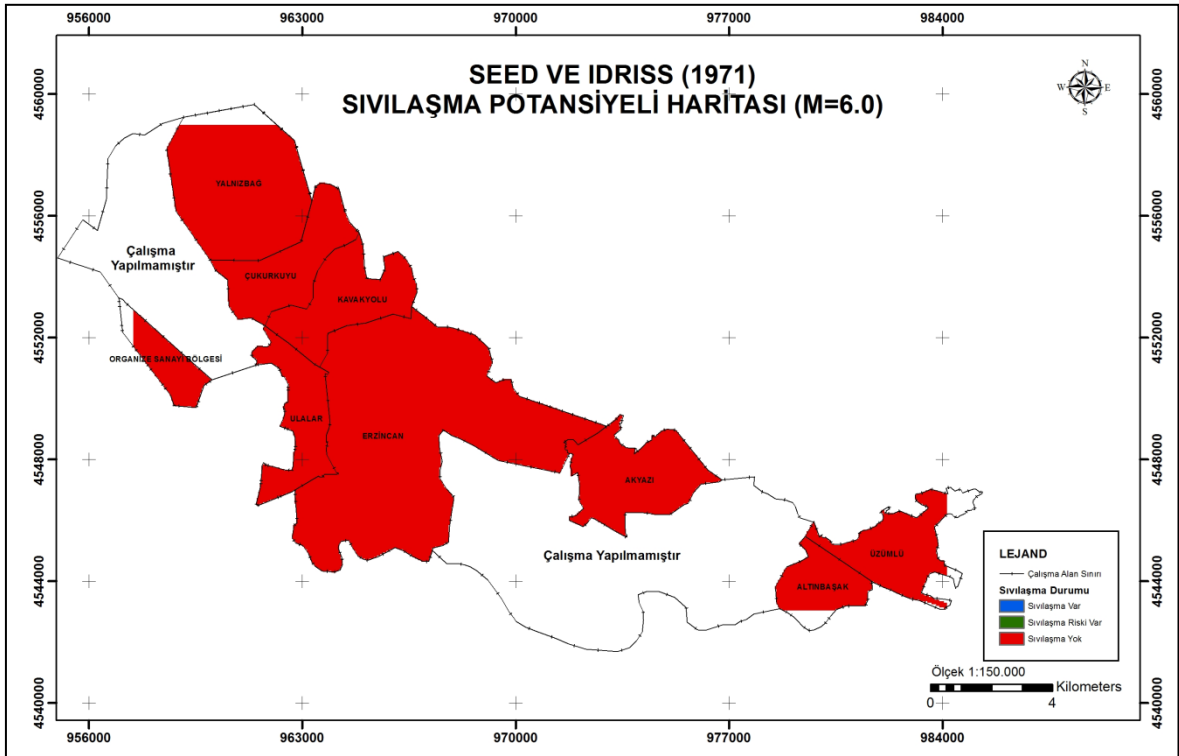
M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için 3 m-12 m arasındaki derinliklerde EF değeri 1.0'dan küçük hesaplanmış, incelenen derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

2.5. Sıvılaşma Potansiyeli Haritalarının Hazırlanması

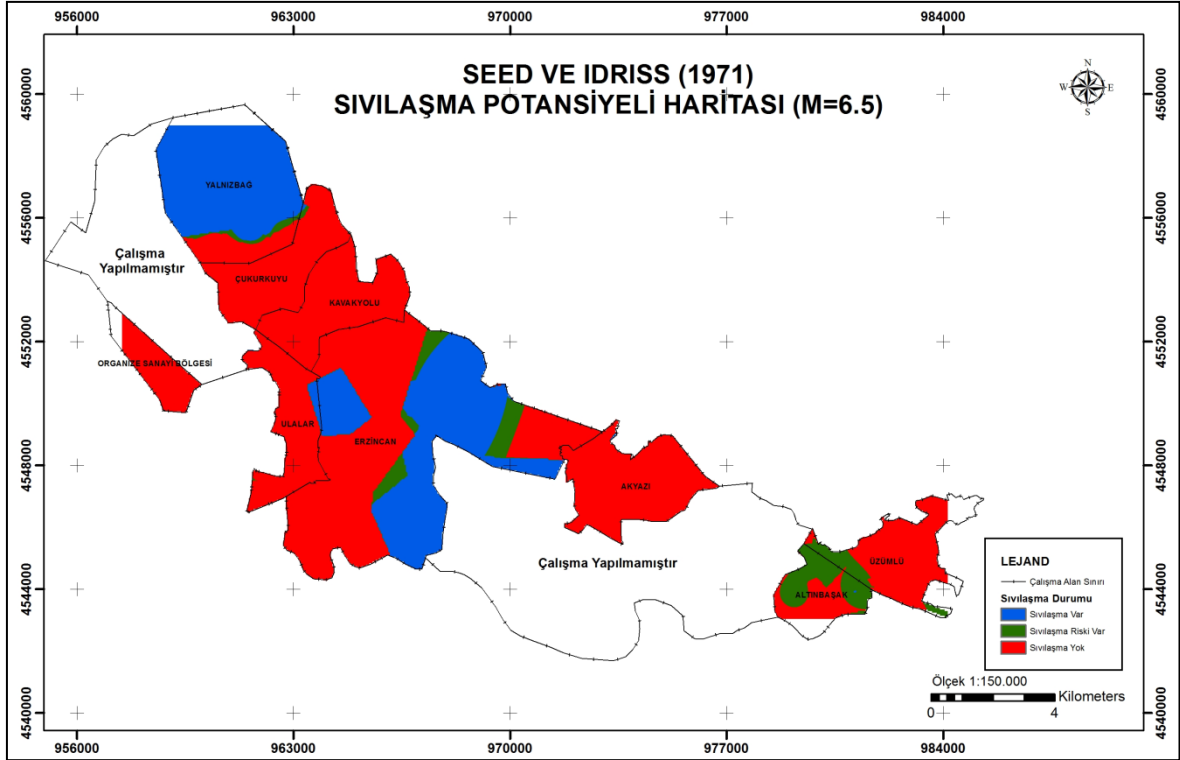
Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) ve Iwasaki vd. (1981) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizleri sonuçlarına göre, M=6.0, M=6.5, M=7.0, M=7.5 deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyeli haritaları, ArcGIS programı kullanılarak hazırlanmıştır. Sıvılaşma potansiyeli haritaları, inceleme alanı zeminlerine ait 63 sondaj verisi için hesaplanan EF (Emniyet faktörü) değerlerinin enterpolasyon yapılarak

elde edilen en uygun değerine göre hazırlanmıştır. Bu duruma göre EF değerinin 1.2 ‘den büyük olan bölgede sıvılaşma meydana gelmeyeceği, 1.0 ve 1.2 arasında olduğu değerlerde bölgenin sıvılaşma riski taşıdığı, 1.0’dan küçük olduğu değerde ise bölgede sıvılaşmanın meydana geleceği kabul edilmiştir.

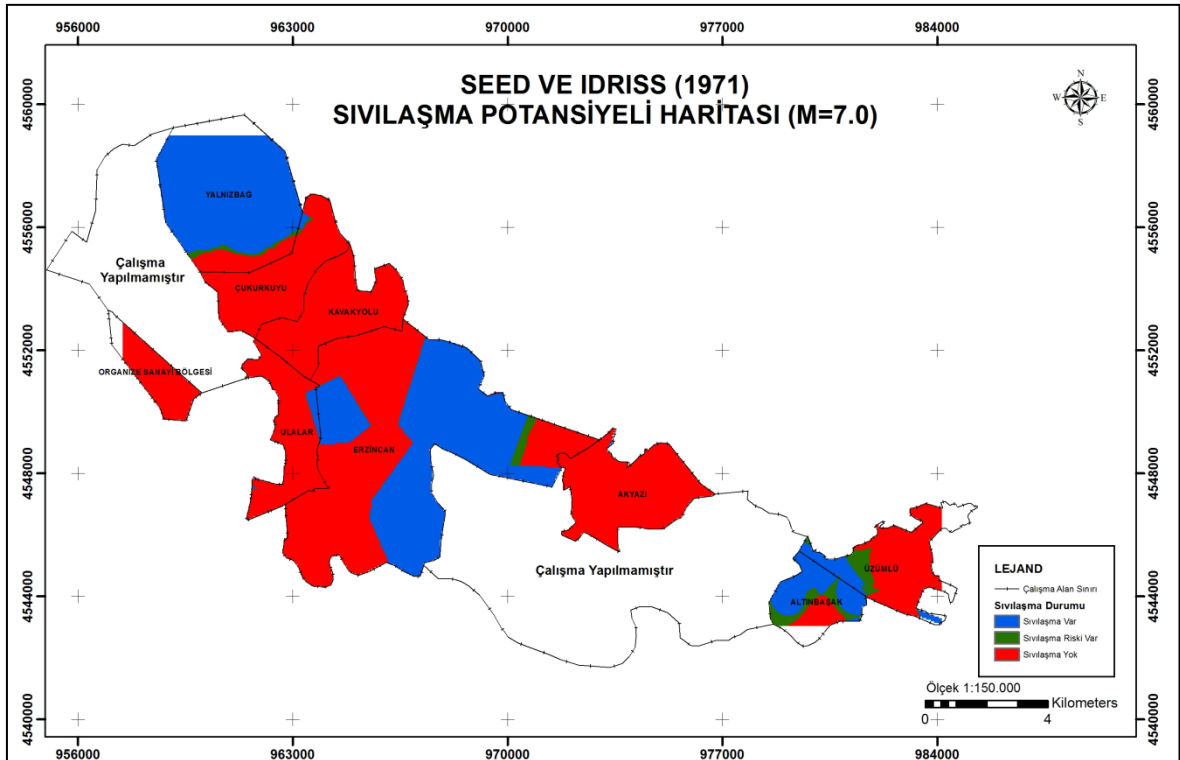
Seed ve Idriss (1971) yöntemi sıvılaşma analizleri sonuçlarına göre hazırlanan haritalar şekil 41-43 ve 44’de görülmektedir.



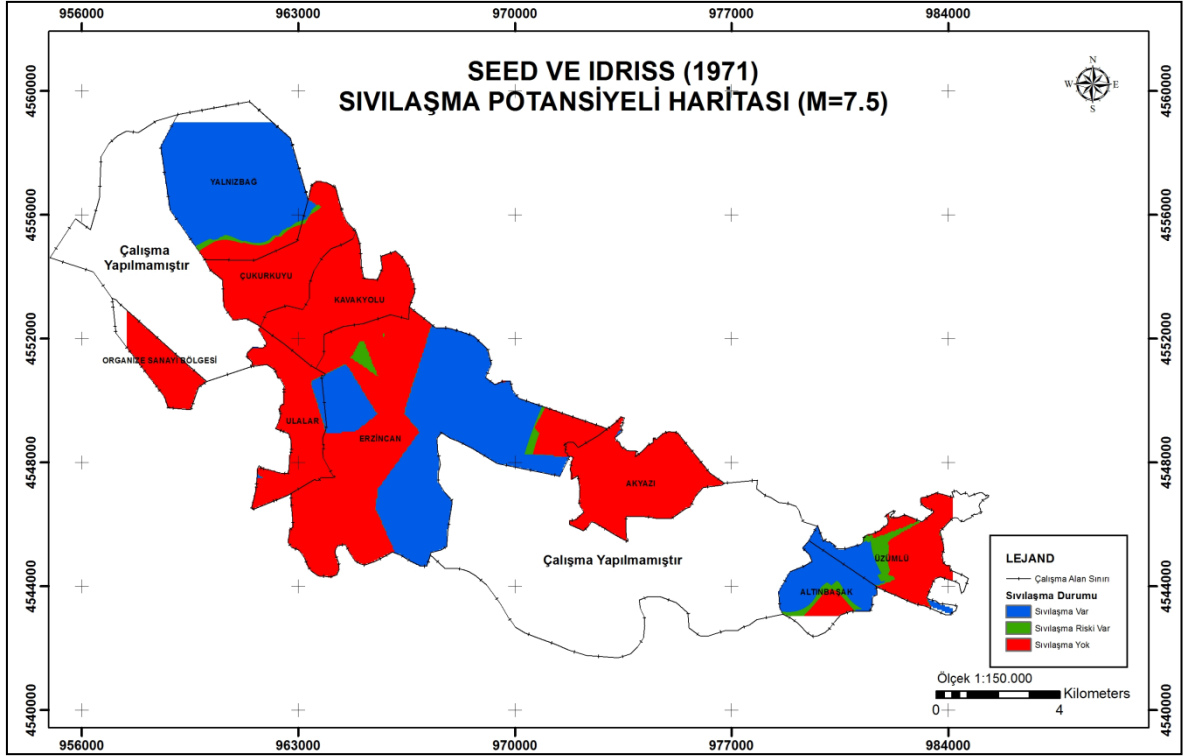
şekil 41. M=6.0 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası



Şekil 42. M=6.5 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritası

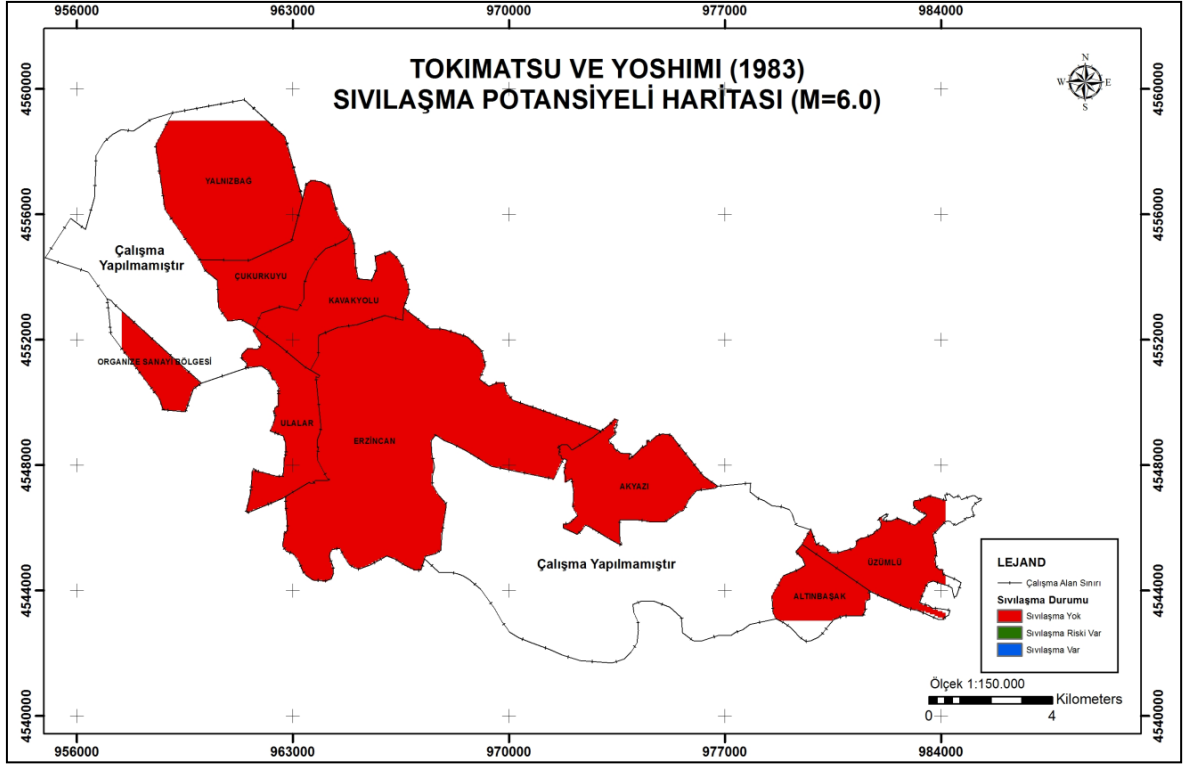


Şekil 43. M=7.0 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritası

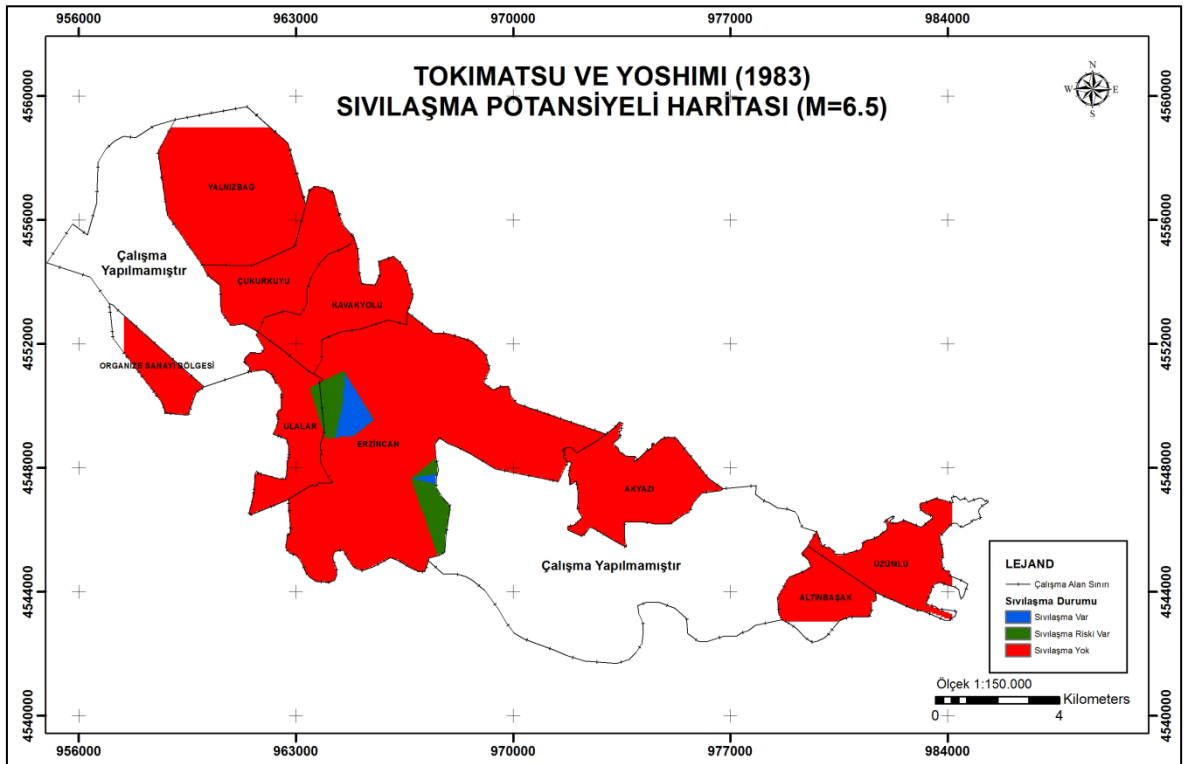


Şekil 44. M=7.5 deprem büyüklüğünde Seed ve Idriss(1971) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası

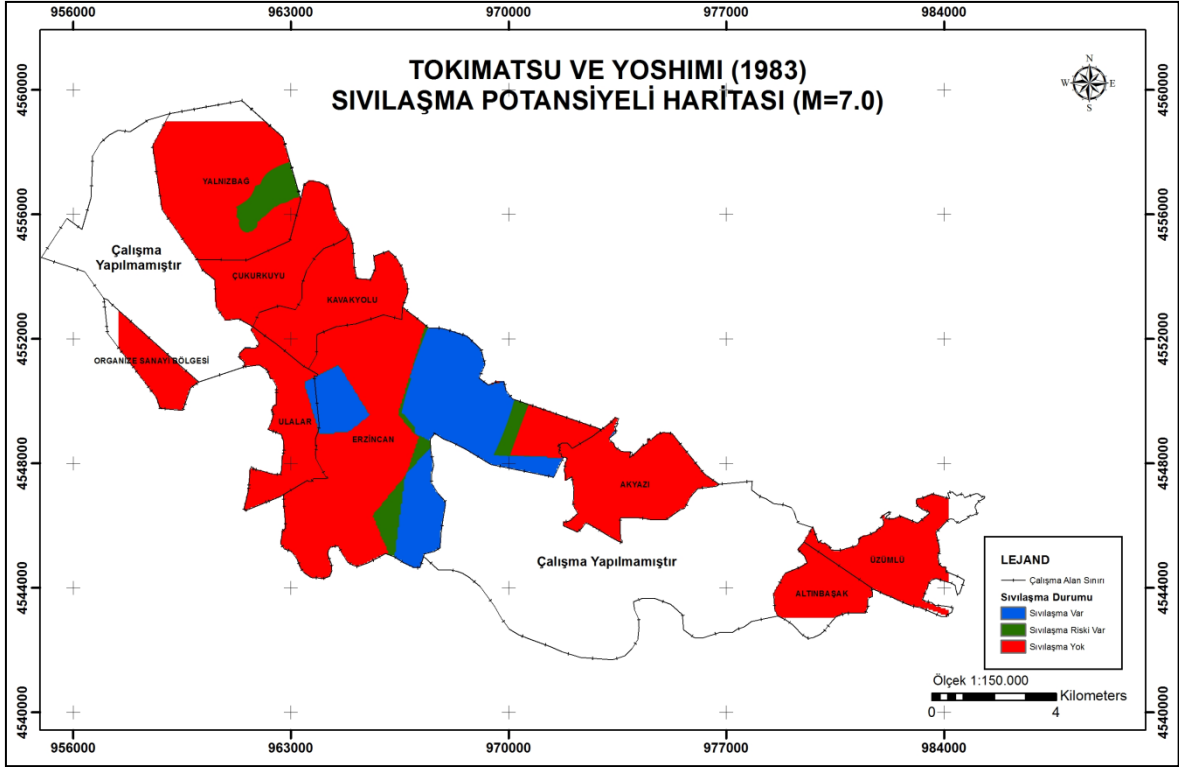
Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemi sıvılaşma analizleri sonuçlarına göre hazırlanan haritalar Şekil 45-47 ve 48'da görülmektedir.



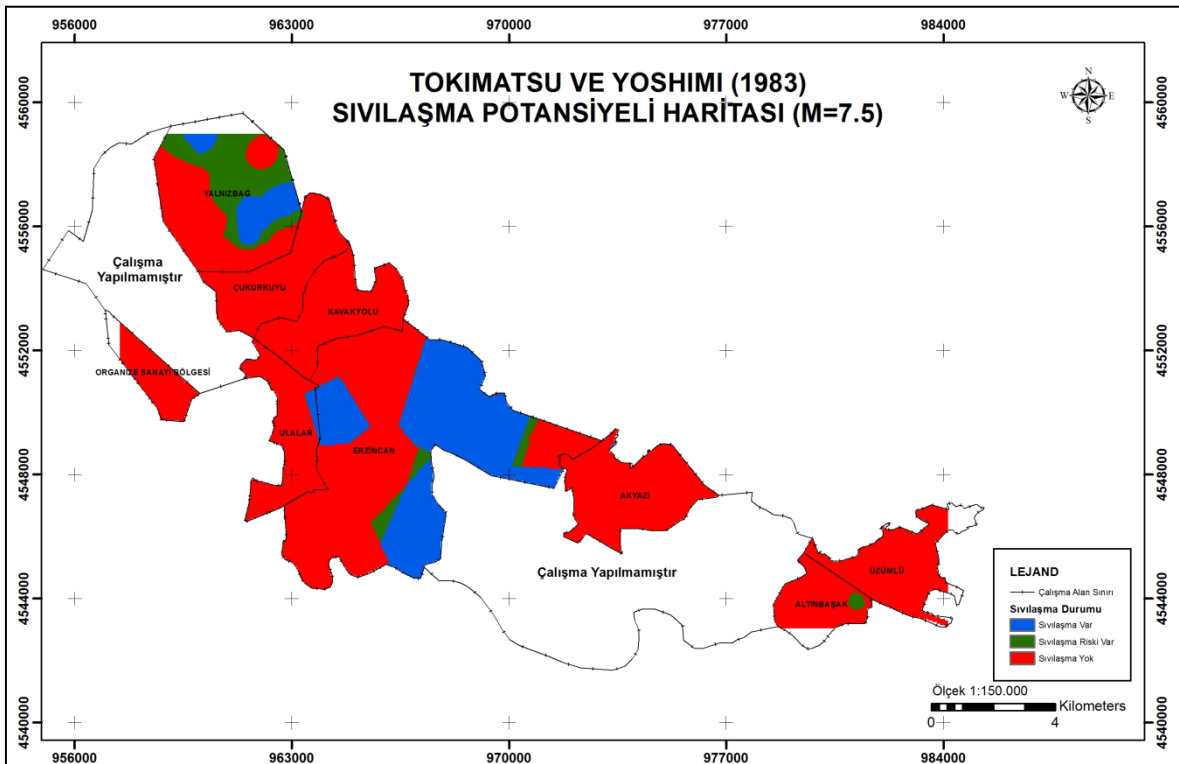
Şekil 45. M=6.0 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası



Şekil 46. M=6.5 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası

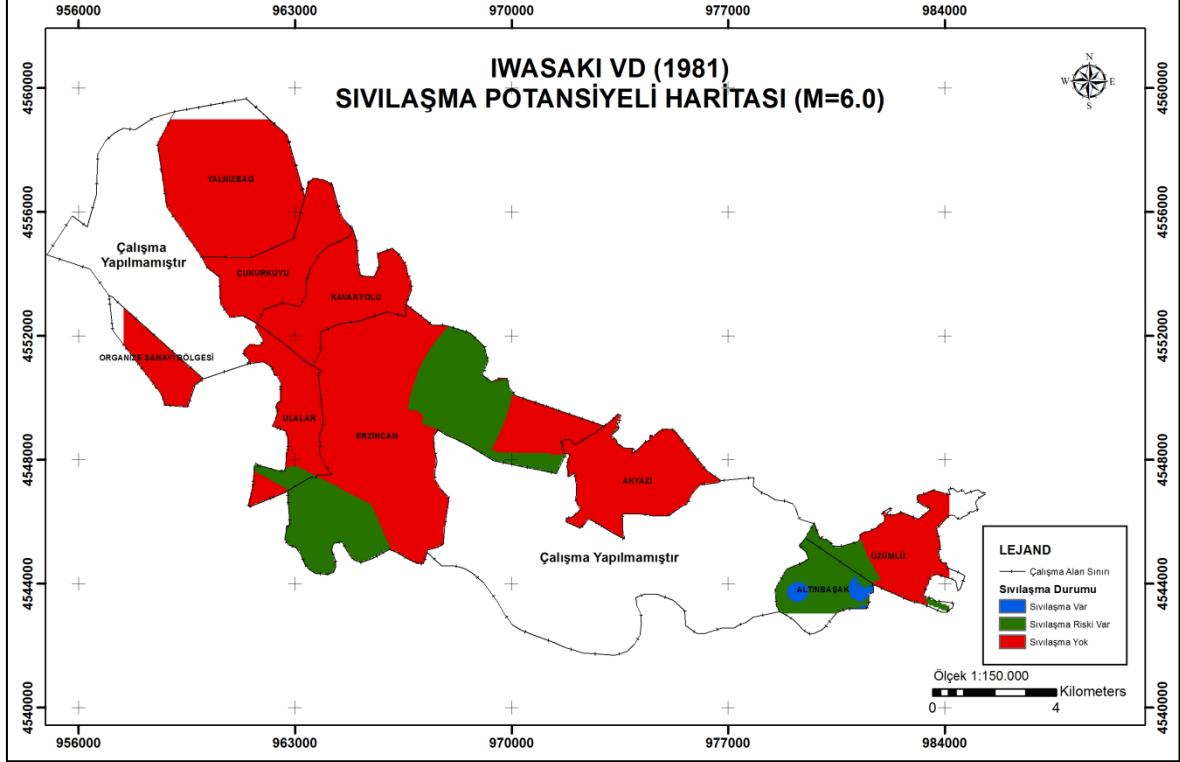


Şekil 47. M=7.0 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası

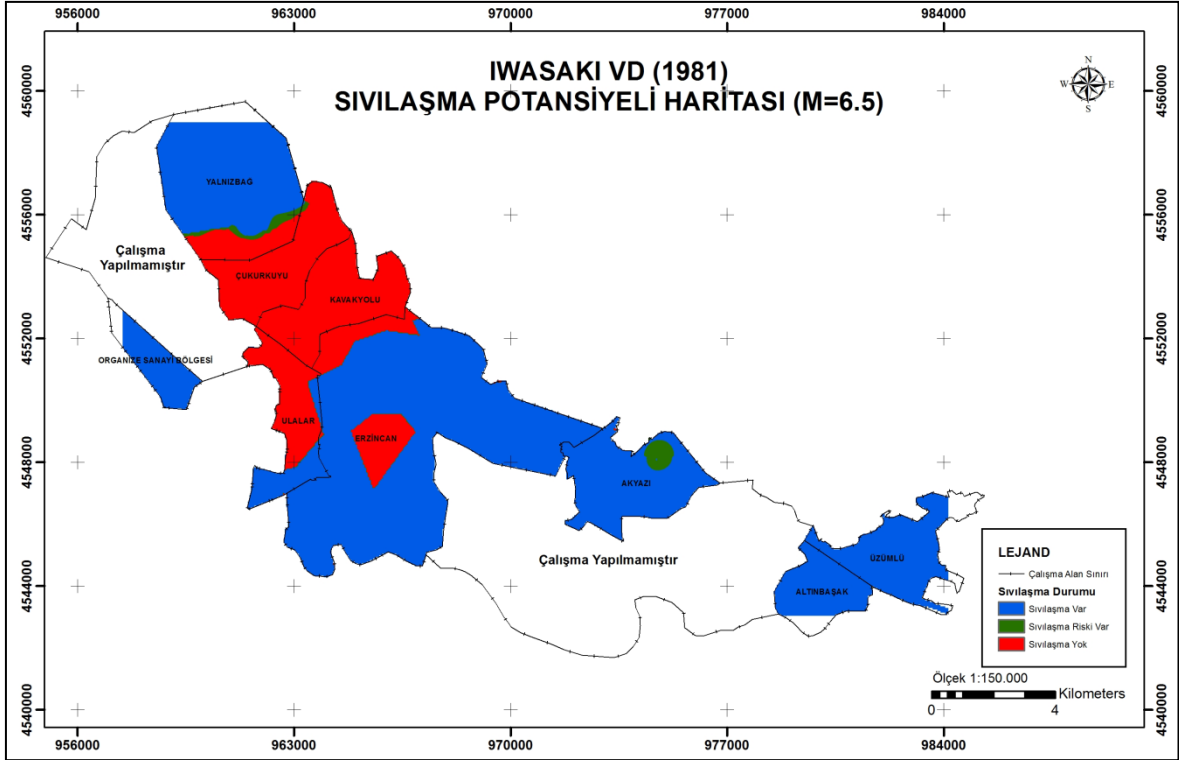


Şekil 48. M=7.5 deprem büyüklüğünde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hazırlanan sıvılaşma potansiyeli haritası

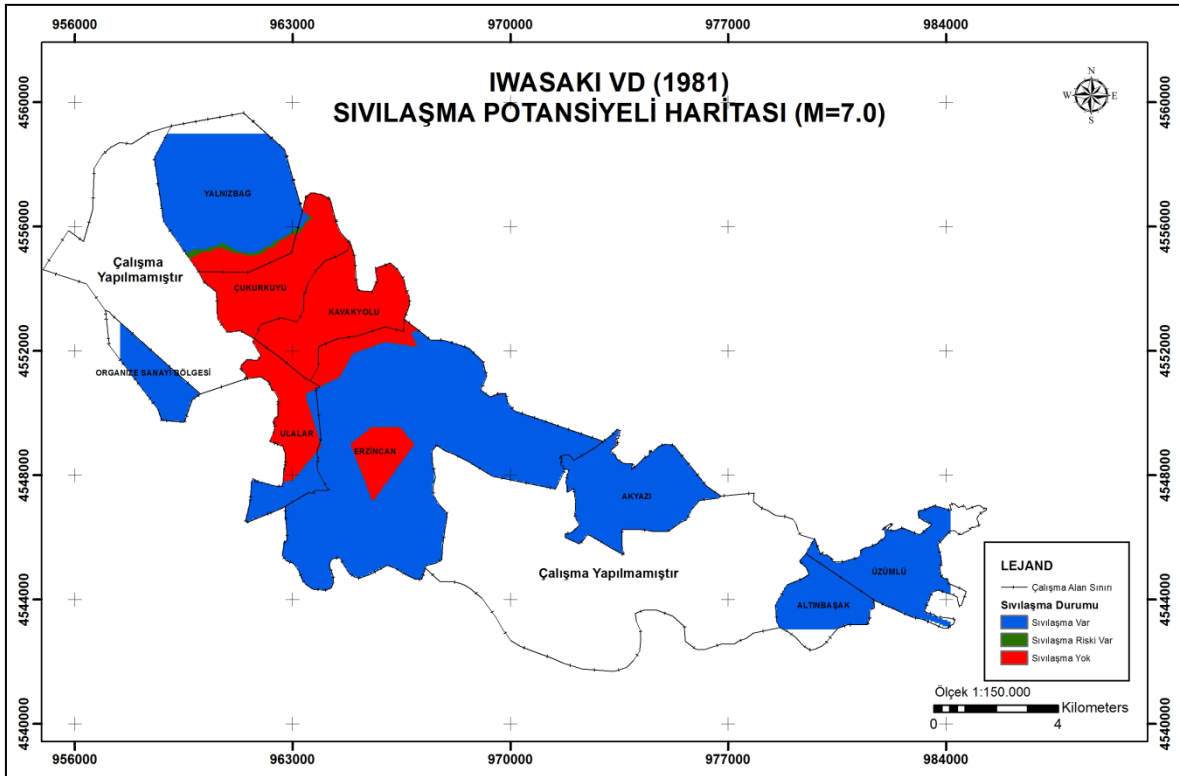
Iwasaki vd. (1981) yöntemi sivilaşma analizleri sonuçlarına göre hazırlanan haritalar Şekil 49-51 ve 52’de görülmektedir.



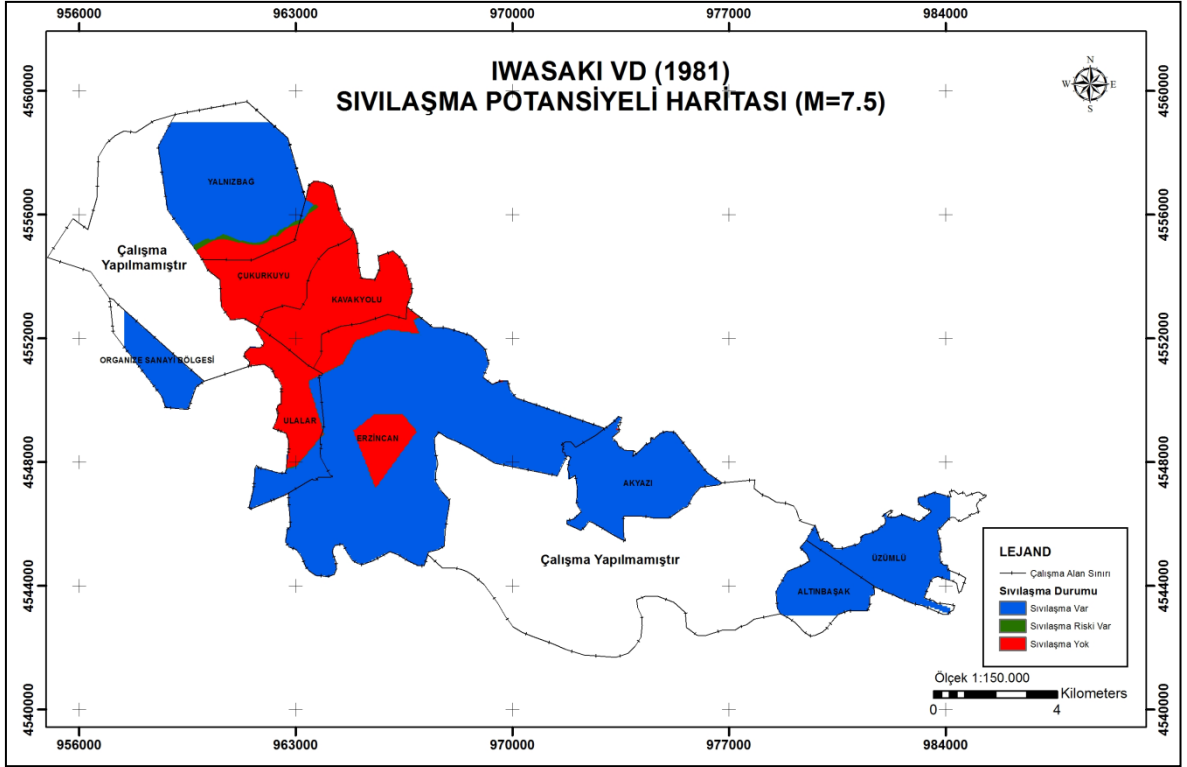
Şekil 49. M=6.0 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritası



Şekil 50. M=6.5 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritası



Şekil 51. M=7.0 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritası



Şekil 52. M=7.5 deprem büyüklüğünde Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritası

3. SONUÇLAR

Erzincan şehir merkezi ve çevresindeki zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla, inceleme alanı içerisinde derinlikleri 1.5 m ile 20 m arasında değişen 63 sondaj çalışması ile Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış ve bu deneyden elde edilen veriler kullanılarak, farklı deprem büyüklükleri için ($M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$, $M=7.5$) Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) ve Iwasaki vd. (1981) yöntemlerine göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, ArcGIS programı kullanılarak, farklı deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyeli haritaları çizilmiş ve aşağıda yorumlanan sonuçlar elde edilmiştir.

1. $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklükleri için hesaplanan a_{max} (zeminde en büyük yatay yer ivmesi) değerleri sırasıyla 0.52g, 0.82g, 1.27g, 2.00g olarak tespit edilmiştir.

2. Erzincan şehir merkezinde yer alan İl Özel İdare binası zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 12 m olduğu, 4 m-20 m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 22-36 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin 18.5 kN/m^3 , zemin sınıfının 4 m-8 m arasında CL (inorganik killer), 8 m-20 m arasında SC (killi kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 4 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$ deprem büyüklüğünde ilk 4 m'de sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 8 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 4 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 4 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$ deprem büyüklüğünde 4 m-8 m derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 12 m derinlikte sıvılaşma riskinin olduğu, 16 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir. $M=7.0$ deprem büyüklüğünde 4 m-8 m derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 16 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, $M=7.5$

deprem büyüklüğünde ise 4 m derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği 8 m-20 m arasındaki derinliklerde meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0 deprem büyüklüğünde 4 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde ise 4 m-20 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

3. Erzincan şehir merkezinde yer alan Özel Neon Hastanesi zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 22 m olduğu, 3 m-18 m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 22-35 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 19 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m derinlikte CL (inorganik killer), 3 m-18 m arasında SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983), Iwasaki vd. (1981) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0 deprem büyüklüğünde 12 m-18 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde ise 12 m-18 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

4. Erzincan şehir merkezinde yer alan Devlet Hastanesi B Blok zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 30 m olduğu, 3m-18m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 22-35 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 19 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-20m derinlikte GM (Siltli çakıllar)-SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), Iwasaki vd. (1981) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde ise 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0, M=6.5, M=7.0 deprem büyüklüğünde 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, M=7.5 deprem büyüklüğünde ise 3 m'de sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

5. Erzincan şehir merkezinde yer alan Karayolları 164. Şube Şefliği zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 19

m olduğu, 3 m-18 m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 14-25 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 20 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-6 m arasındaki derinliklerde GC (Killi çakıllar), 6 m-9 m arasındaki derinliklerde SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m'de sıvılaşma riskinin olduğu 6 m-9 m arasındaki derinliklerde ise sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m - 9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

6. Erzincan şehir merkezinde yer alan Huzurevi zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 9.5 m olduğu, 3 m-15 m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 26-45 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 18.9 kN/m^3 zemin sınıfının 3 m derinliğe kadar SM (siltli kumlar), 4.5 m-9 m arasındaki derinliklerde CL (inorganik killler), 9 m-15 m arasındaki derinliklerde ise SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde ise sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$ deprem büyüklüğünde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

7. Erzincan şehir merkezinde yer alan Arıtma Tesisi zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1m olduğu, 3 m-10.5 m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 19-30 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 18.9 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde CL (inorganik killer), 6 m'de SC (killi kumlar), 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde ise CL (inorganik killer) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde ise sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m'de sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, 9 m'de ise gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde ise 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

8. Organize Sanayi Bölgesi zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olduğu, 3 m-12 m derinlikler arasında SPT- N_{arazi} değerlerinin 26-42 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 18.6 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-12 m arasındaki derinliklerde SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, M=6.0 deprem büyüklüğünde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklüklerinde ise 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

9. Üzümlü zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 3 m olduğu, 3 m-15 m derinlikler arasında $SPT-N_{arazi}$ değerlerinin 21-44 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 18.7 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m'de CL (inorganik killer), 3 m-15 m arasındaki derinliklerde SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3m-6m arasındaki derinliklerde sıvılaşma meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte ise sıvılaşmanın meydana gelebileceği tespit edilmiştir. $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 4.5 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$, $M=6.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=7.0$, $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-6 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m'de sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-6 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 7.5 m derinlikte sıvılaşma riskinin olduğu tespit edilmiştir. $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

10. Yalnızbağ zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 33 m olduğu, 3 m-22.5 m derinlikler arasında $SPT-N_{arazi}$ değerlerinin 20-42 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 18.6 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-22 m arasındaki derinliklerde SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), Iwasaki (1981) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-22.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma meydana gelmeyeceği, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-22.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-12 m arasındaki derinliklerde

sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$ deprem büyüklüğünde 3 m-7.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 9 m-12 m'de sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir. $M=7.0$, $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-4.5 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 6 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

11. Akyazı zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yeraltı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 31 m olduğu, 3 m-15 m derinlikler arasında $SPT-N_{arazi}$ değerlerinin 28-49 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 18.6 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-15 m arasındaki derinliklerde SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

12. Altınbaşak zeminlerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yer altı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1 m olduğu, 3m-15m derinlikler arasında $SPT-N_{arazi}$ değerlerinin 19-38 arasında değiştiği, zeminin doğal birim ağırlık değerinin ortalama 19 kN/m^3 , zemin sınıfının 3 m-15 m arasındaki derinliklerde SM (siltli kumlar) olduğu tespit edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-9 m derinlikleri arasında sıvılaşma meydana gelmeyeceği, 12 m derinlikte ise sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir. $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde 3 m-12 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-12 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, $M=6.5$, $M=7.0$ deprem büyüklüğünde 3 m-9 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği, 12 m'de ise sıvılaşma

olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir. $M=7.5$ deprem büyüklüğünde ise 3 m-12 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Iwasaki vd. (1981) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlarda, $M=6.0$, $M=6.5$, $M=7.0$ ve $M=7.5$ deprem büyüklüklerinde ise 3 m-12 m arasındaki derinliklerde sıvılaşma olayının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

13. Tamamı killi yapı gösteren Devlet hastanesi, Kavakyolu, Ula, Çukurkuyu zeminlerinde sıvılaşma olayının meydana gelmeyeceği kabul edilmiştir.

Her üç yöntem kullanılarak yapılan analizlere ait sonuçlar ve hazırlanan haritalarda da görüldüğü üzere, Erzincan İl merkezi ve çevresindeki zeminlerin genelin sıvılaşma tehdidi altındadır. Bunun nedeni, yer altı suyu ve kumlu-siltli zeminlerin varlığı, özellikle de bölgenin sismik özellikleridir.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada, Erzincan ili ve çevresinin sıvılaşma potansiyeli Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Benzer çalışmaların konik penetrasyon testi (CPT) ve kayma dalga hızı (V_s) deneyi arazi verileri kullanılarak, ayrıca laboratuvar ortamında gerçekleştirilen üç eksenli basınç ve basit kesme kutusu deneyleri ile de yapılabileceği düşünülmektedir.

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılırken, zeminlerden her 1.5 m'de bir örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınarak, zemin tabakaları için fiziksel özellikler belirlenebilir. Belirlenen bu özellikler yardımıyla daha kesin analiz sonuçları elde edilebilir.

Sıvılaşma potansiyeli haritaları göz önüne alındığında, sıvılaşma meydana gelebilecek bölgelerde yapılaşma sırasında zemin temel etütleri hassas bir şekilde yapılmalı ve yapının inşa edileceği zeminde mutlaka gerekli önlemler alınmalıdır.

Detaylı sıvılaşma analizleri yapılarak, sıvılaşma riski belirlenen yerlerde dinamik kompaksiyon, sıkıştırma enjeksiyonu veya drenaj teknikleri gibi yöntemlerden bir veya birkaçı beraber uygulanarak sıvılaşmaya karşı önlem alınabilir.

Zeminin içinde gömülü durumda bulunan atık su şebekesi ve su borusu gibi alt yapı elemanlarının sıvılaşmadan kaynaklanabilecek hareketlerden ve oturmalarından etkilenmemesi için bağlantılarının yapımına özen gösterilmelidir.

5. 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.
- Arioğlu, 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.
- Baykal, R., 2010. Örneklerle Temel MATLAB, Murathan Yayınevi, Trabzon.
- Bayrak, O. Ü., 2007. Örneklerle Temel MATLAB Ders Notları.
- 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 Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Çakmak, B., Haşıloğlu, A.S., Kaymaz, İ. ve Karacalı, T., 2005. MATLABda Programlama Ders Notları.
- 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 Açısından 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 Sinir 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 Eksisi’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.
- 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 Mekaniği 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. Overbuden 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 Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara.

- 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 In Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 111, 12, 1425-1445.

- 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.
- URL-1, www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx, 15/09/2012.
- URL-2, <http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler>, 23/12/2012
- Yanık, 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.
- Yılmaz, Y., 2006. Değişik Gradasyonlu Kumların Dinamik Üç Eksenli Deneyi ile Tespit Edilen Sıvılaşma Dirençleri ile Geleneksel Direkt Kesme ve Hidrolik İletkenlik Deney Bulgularının İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.

6. EKLER

Ek 1. İnceleme Alanına ait sondaj logları

SULAR MÜHENDİSLİK										
TEMEL SONDAJ LOGU										
İŞ SAHİBİ	AKYAZI E-PARSEL	MAKİNE TİPİ	D500	SONDAJ METN.	ROTARI	KOORDİNAT - E	KOORDİNAT - N	LOGU HAZIRLAYAN	DERİNLİK (m)	SONDAJ No
									15m	1
BAŞLAMA TARİHİ		BİTİŞ TARİHİ				BAHADIR SÜ		YER ALTI SUYU DURUMU	DERİNLİK (m)	31m
ZEMİN KOTU						JEOLOJİ MÜHENDİSİ				
SONDÖR	bsu									
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Deneyleri				Zemin Deneyleri				Jeolojik Kesit	Zemin Sınıflama:
	SPT									
				Darbe Sayısı						
				N						
1				1	2	3	---			
2				8	13	15	28			
3				8	14	17	31			
4				8	14	19	33			
4.5				8	8	29	37			
5				8	11	28	39			
6				8	12	30	42			
7				R	R	R	R			
7.5				8	11	15	45			
8				R	R	R	R			
9				R	R	R	R			
10				R	R	R	R			
10.5				R	R	R	R			
11				R	R	R	R			
12				R	R	R	R			
13				R	R	R	R			
13.5				R	R	R	R			
14				R	R	R	R			
15				R	R	R	R			
16				R	R	R	R			
16.5				R	R	R	R			
17				R	R	R	R			
18				R	R	R	R			
19				R	R	R	R			
19.5				R	R	R	R			
20				R	R	R	R			
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT				KAYA NİTELİĞİ				AYRILMA	ÇATLAK ŞİKLİ	
İnce Taneli (Kohezyonlu)	İn Taneli (Kohezyonsuz)	ROD (%)		DERESESİ (W)		ŞİKLİ (# m)				
N 0-2 Çok Yumuşak	N 0-4	0-25	Çok Zayıf	W ₁ Taze (ayrılmamış)	> 1 Masif					
N 3-4 Yumuşak	N 5-10	25-50	Zayıf	W ₂ Az Ayrılmış	1-3 Az Çatlaklı - Kırı					
N 5-8 Orta Kab	N 11-30	50-75	Orta	W ₃ Orta Derecede Ayr	3-10 Kırık					
N 9-13 Kab	N 31-50	75-90	İyi	W ₄ Ayrılmış	10-50 Çok Çatlaklı-İ					
N 14-30 Çok Kab	N >50	90-100	Çok İyi	W ₅ Az Tamamen Ayrılmış	>50 Parçalanmış					


Ek Şekil 1. Akyazı zeminlerine ait sondaj logu

Ek 1'in devamı

SULAR MÜHENDİSLİK											
TEMEL SONDAJ LOGU											
İŞ SAHİBİ		ALTNBAŞAK		KOORDİNAT - E		558579		DERİNLİK (m)		SONDAJ No	
MAKİNE TİPİ		D500		KOORDİNAT - N		4388450		25m		1	
SONDAJ METH.		ROTAJİ		LOGU HAZIRLAYAN		BAHADİR SU		YER ALTI SUYU DURUMU			
BAŞLAMA TARİHİ		25/01/2011						DERİNLİK (m)		4m	
BİTİŞ TARİHİ		25/01/2011									
ZEMİN KOTU		1154m									
SONDÖR		bsu		JEOLOJİ MÜHENDİSİ							
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Deneyleri				Zemin Deneyleri				Jeolojik Kesit	Zemin Sınıflaması	
	SPT										
	Darbe Sayısı										
1											
2											
3											
4											
4.5											
5											
6											
7											
7.5											
8											
9											
10											
10.5											
11											
12											
13											
13.5											
14											
15											
16											
16.5											
17											
18											
19											
19.5											
20											
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT				KAYA NİTELİĞİ				AYRISMA DERECESESİ (W)		ÇATLAK SKLİĞİ (# m)	
İnce Tanek (Kohezyonlu)		İn Tanek (Kohezyonsuz)		RQD (%)							
N 0-2	Çok Yumuşak	N 0-4		0-25	Çok Zayıf			W ₁	Taze (ayrışmamış)	> 1	Masif
N 3-4	Yumuşak	N 5-10		25-50	Zayıf			W ₂	Az Ayrışmış	1-3	Az Çatlaklı - Kırı
N 5-8	Orta Kab	N 11-30		50-75	Orta			W ₃	Orta Derecede Ayr	3-10	Kırık
N 9-13	Kab	N 31-50		75-90	İyi			W ₄	Ayrışmış	10-50	Çok Çatlaklı-kır
N 14-30	Çok Kab	N >50		90-100	Çok İyi			W ₅	Az Tamamen Ayrışmış	>50	Parçalanmış

Ek Şekil 2. Altınbaşak zeminlerine ait sondaj logu

Ek 1'in devamı

SULAR MÜHENDİSLİK											
TEMEL SONDAJ LOGU											
İŞ SAHİBİ		Özel Neon Hastanesi		DERİNLİK (m)		SONDAJ No		SAYFA 1			
MAKİNE TİPİ		D500		20.00m		1		1			
SONDAJ METH.		ROTARİ		YER ALTI SUYU DURUMU							
BAŞLAMA TARİHİ		17.03.2010		DERİNLİK (m)		22m					
BİTİŞ TARİHİ		20.03.2010		BAHADIR SU							
ZEMİN KOTU		1215m		LOGU HAZIRLAYAN							
SONDÖR		ZİYA GÜMÜŞ		JEOLJİ MÜHENDİSİ							
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Deneyleri				Zemin Deneyleri				Jeolojik Kesit	Zemin Sınıflaması	
	SPT										
	Darbe Sayısı										
	15		30		45		N				
1											Nebati Toprak
2											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
3			7	9	13	22					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
4											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
4,5			8	9	15	24					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
5											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
6			8	13	15	28					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
7											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
7,5			8	14	16	30					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
8											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
9			9	15	16	31					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
10											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
10,5			9	13	16	29					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
11											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
12			10	14	15	29					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
13											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
13,5			10	14	16	30					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
14											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
15			11		19	31					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
16											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
16,5			12	15	17	32					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
17											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
18			13	16	17	33					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
19											GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
19,5			12	15	16	31					GM-SM(irili ufaklı çakıl siltli kum)
20											&KUYU SONU&
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT				KAYA NİTELİĞİ				AYRIŞMA		ÇATLAK SIKLIĞI	
İnce Taneli (Kohezyonlu)		İri Taneli (Kohezyonsuz)		RQD (%)		DERECESİ (W)		(# m)			
N 0-2	Çok Yumuşak	N 0-4		0-25	Çok Zayıf	W ₁	Taze (ayrışmamış)	> 1 Masif			
N 3-4	Yumuşak	N 5-10		25-50	Zayıf	W ₂	Az Ayrışmış	1-3 Az Çatlaklı - Kırıklı			
N 5-8	Orta Katı	N 11-30		50-75	Orta	W ₃	Orta Derecede Ayr	3-10 Kırıklı			
N 9-13	Katı	N 31-50		75-90	İyi	W ₄	Ayrışmış	10-50 Çok Çatlaklı - Kırı			
N 14-30	Çok Katı	N >50		90-100	Çok İyi	W ₅	Az Tamamen Ayrışmış	>50 Parçalanmış			
N 30	Sert										

Ek Şekil 3. Özel Neon Hastanesi zeminlerine ait sondaj logu

Ek 1'in devamı

SULAR MÜHENDİSLİK											
TEMEL SONDAJ LOGU											
İŞ SAHİBİ		KAVAKYOLU		KOORDİNAT - E		582865		DERİNLİK (m)		SONDAJ No	
MAKİNE TİPİ		D500		KOORDİNAT - N		4406923		20m		1	
SONDAJ METH.		ROTARI		LOGU HAZIRLAYAN		BAHADIR SU		YER ALTI SUYU DURUMU			
BAŞLAMA TARİHİ		16/05/2012						DERİNLİK (m)		---	
BİTİŞ TARİHİ		16/05/2012									
ZEMİN KOTU											
SONDÖR		ersin baki		JEOLOJİ MÜHENDİSİ							
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Deneyleri				Zemin Deneyleri				Jeolojik Kesit	Zemin Sınıflaması	
	SPT										
	Darbe Sayısı				Z						
0,5				1	2	3	---				
1											
2											
3				4	11	12	23				
4											
4,5				5	9	13	22				
5											
6				7	10	11	21				
7											
7,5				9	10	11	21				
8											
9				11	12	13	25				
10											
10,5				10	12	14	26				
11											
12				9	12	20	32				
13											
13,5				11	18	28	46				
14											
15				R	R	R	R				
16											
16,5				R	R	R	R				
17											
18				R	R	R	R				
19											
19,5				R	R	R	R				
20											
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT				KAYA NİTELİĞİ				AYRISMA DERESESİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)	
İnce Taneli (Kohezyonlu)		İri Taneli (Kohezyonsuz)		RQD (%)							
N 0-2	Çok Yumuşak	N 0-4		0-25	Çok Zayıf	W ₁	Taze (ayrışmamış)			> 1 Masif	
N 3-4	Yumuşak	N 5-10		25-50	Zayıf	W ₂	Az Ayrışmış			1-3 Az Çatlaklı - Kırık	
N 5-8	Orta Katı	N 11-30		50-75	Orta	W ₃	Orta Derecede Ayr			3-10 Kırık	
N 9-13	Katı	N 31-50		75-90	İyi	W ₄	Ayrışmış			10-50 Çok Çatlaklı-kır.	
N 14-30	Çok Katı	N >50		90-100	Çok İyi	W ₅	Az Tamamen Ayrışmış			>50 Parçalanmış	

Ek Şekil 4. Özel Neon Hastanesi zeminlerine ait sondaj logu

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Rize ilinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Rize’de tamamladı. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne araştırma görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmekte olan Esra SUBAŞI DUMAN İngilizce bilmektedir.