

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOTEKNİK BİLİM DALI**

**SALİHLİ (MANİSA) KENT MERKEZİNİN SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ercan OYAN

**Danışman
Doç. Dr. Yusuf ERZİN**



MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Ercan OYAN tarafından hazırlanan "Salihli (Manisa) Kent Merkezinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi" adlı tez çalışması 21/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman Doç. Dr. Yusuf Erzin
Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç.Dr. Selman SAĞLAM
Adnan Menderes Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr.Örg.Üyesi Ender BAŞARI
Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ercan OYAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	III
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1 GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı Ve Temel Yaklaşım	2
1.2 Çalışma Kapsamı	3
2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Sıvılaşma Tanımı ve Mekanizmaları	4
2.1.1 Sıvılaşma Türleri	6
2.2 Zemin Sıvılaşmasının Etkileri	9
2.2.1 Zeminin Taşıma Gücünü Yitirmesi	9
2.2.2 Zemin Oturması	12
2.2.3 Yanal Yayılmalar	13
2.2.4 Akma Türü Kayma (Akma Sıvılaşması)	14
2.2.5 Kum Kaynamaları	16
2.3 Sıvılaşmanın Değerlendirilmesi	17
2.3.1 Zeminlerin Sıvılaşabilirlik Potansiyeli	18
3 MATERYAL VE YÖNTEMLER	25
3.1 Salihli Şehri İle İlgili Genel Bilgi	25
3.1.1 Sosyo-Ekonomik Bilgiler	26
3.2 Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi	26
3.2.1 Jeoloji	26
3.2.2 Jeolojik Birimleri	27
3.2.3 Jeomorfoloji	28
3.2.4 Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR) Değerinin Hesaplanması:	32
3.2.5 Deprem Büyüklüğü Düzeltmeleri: (MSF)	35
3.2.6 Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik (Fs) Katsayısının Hesaplanması:	37
3.3 Sıvılaşma Potansiyel İndeksi (LPI)	37
3.4 Zeminlerin Sismik Performansı	41
3.5 Sıvılaşma Tehlike Haritaları	46
4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	48
4.1 Salihli Şehir Merkezi Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi	48
4.1.1 Sıvılaşma Hesaplamalarında Kullanılan Yazılım	48
4.1.2 Sıvılaşma Hesapları	58
4.1.3 Zemin Verilerinin Toplanması	58
4.1.4 Yeraltı su seviyelerinin değerlendirilmesi	68
4.1.5 Sıvılaşma Tetikleme Analizleri	74
4.1.6 Sıvılaşma Potansiyel İndeksi Analizleri	76
4.1.7 Sıvılaşma Sonrası Oturma Tahmin Analizleri	86
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

NCEER	National Center for Earthquake Engineering Research (Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
LPI	Liquefaction Potantial Index (Sıvılaşma Potansiyel İndeksi)
GÇK	Geliştirilmiş Çin Kriteri
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
USCS	Unified Soil Classification System (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
PI	Plastisite İndeksi
CRR	Çevrimsel Dayanım Oranı (Cyclic Resistance Ratio)
CSR	Çevrimsel Gerilme Oranı (Cyclic Stress Ratio)
LI	Sıvılık İndeksi (Liquefaction Index)
MSF	Deprem Büyüklüğü Düzeltme Katsayısı (Magnitude Scaling Factor)
F_s	Sıvılaşma Güvenlik Katsayısı (Factor of Safety)
CPT	Konik Penetrasyon Deneyi (Conical Penetration Test)
V_s	Kayma Dalgası Hızı
YASS	Yeraltı Su Seviyesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2-1 Sıvılaşma mekanizması oluşum aşamaları [2]	5
Şekil 2-2 Sıvılaşma türleri.....	6
Şekil 2-3 Akma sıvılaşma mekanizması [4].....	7
Şekil 2-4 Adapazarı'nda sıvılaşma nedeniyle yana yatmış bir bina [7].	10
Şekil 2-5 1964 Niigata depreminde sıvılaşma sonucu yana yatmış binalar [8].....	10
Şekil 2-6 Gömülü alt yapı elemanlarında oluşan hasar [9].	11
Şekil 2-7 Kanalizasyon yapılarında ortaya çıkan hasar örnekleri [10].....	11
Şekil 2-8 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda zemine batmış bina [7].	12
Şekil 2-9 Sıvılaşmaya bağlı olarak zeminde oturma nedeniyle 1971 san fernando depreminde hasara uğrayan san fernando barajı [11]	13
Şekil 2-10. Sıvılaşmaya bağlı olarak yanal yayılma [12]	13
Şekil 2-11 Kobe (1995) depremi liman yapısındaki yanal yayılma hasarı [13].....	14
Şekil 2-12 1964 Alaska depreminde oluşan Turnagain Heights heyelanı [14].....	15
Şekil 2-13 Sol:1964 Niigata Depreminde oluşan kum kaynamaları (1), Sağ:1969 Alaşehir depreminde oluşan kum kaynamaları [15].	16
Şekil 2-14 Çin kriterlerinin grafiksel gösterimi [24].	20
Şekil 2-15 Geliştirilmiş çin kriteri [19].	20
Şekil 2-16 Siltli ve killi kumların sıvılaşabilirliği [20].	21
Şekil 2-17 Seed ve diğ. 2003 ince daneli zeminlerin değerlendirme abağı [16].	22
Şekil 2-18 Bray ve Sancio ince daneli zeminlerin değerlendirme abağı [21].	23
Şekil 2-19 . Boulanger ve Idriss ince daneli zeminlerin değerlendirme abağı [22].	24
Şekil 2-20 Bilge tarafından önerilen değerlendirme abağı [23].	24
Şekil 3-1 İnceleme alanının yerbulduru haritası	25
Şekil 3-2 İnceleme alanı ve jeoloji haritası [25].	26
Şekil 3-3 Salihli (Manisa) ve çevresine ait topografik rölyef haritası [26].....	28
Şekil 3-4 Salihli ve çevresindeki aktif fay hatları haritası [27].....	31
Şekil 3-5 Düzeltmiş SPT değeri-çevrimsel mukavemet oranı arasındaki ilişki [28]	33
Şekil 3-6 Deprem büyüklüğü ile düzeltme faktörü arasındaki ilişki [5]	36
Şekil 3-7 Sıvılaşma potansiyeli değerlendirme sistemi	38
Şekil 3-8(a) Sıvılaşabilir katman kalınlığı ile üzerleyen katman kalınlığı arasındaki ilişki ve (b) katman kalınlıklarının değerlendirilmesi için kılavuz [34].	40
Şekil 3-9 Sıvılaşma nedeniyle oluşan yenilme mekanizmaları [16].....	41
Şekil 3-10 SPT ve CSR değerlerine bağlı olarak hacimsel değişim abağı [35].	42
Şekil 3-11 Güvenlik Katsayısı ve zeminin sıkılık değerine bağlı sıvılaşma sonrası hacimsel değişim tasarım abağı [36].	43
Şekil 3-12 Shomoto ve diğ. [37] tarafından geliştirilen rezidüel hacimsel deformasyon tasarım abakları	44
Şekil 3-13 SPT ile CSR değerlerine bağlı hacimsel deformasyon tasarım abağı [38].	45
Şekil 4-1 NCEER sıvılaşma değerlendirme grafiği.....	53
Şekil 4-2 Sıvılaşma tetikleme ve oturma analiz sonuçları	55
Şekil 4-3 LiqIT arazi verileri girdi tablosu	56

Şekil 4-4 Çevrimsel gerilme oranı (CSR) hesaplama tablosu.....	56
Şekil 4-5 Çevrimsel Dayanım Oranı (CRR) hesaplama tablosu.....	57
Şekil 4-6 Doygun kumlarda sıvılaşmaya bağlı oturma hesap tablosu.....	57
Şekil 4-7 Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli hesap tablosu	58
Şekil 4-8 Zemin etüdüleri sondaj lokasyonları	67
Şekil 4-9 Zemin Sondajlarından elde edilen yeraltı su seviyelerinin dağılımı	68
Şekil 4-10 Yeraltı su seviyesi haritası	69
Şekil 4-11 Laboratuvar deneylerinde elde edilen plastiklik eşiği değerlerinin dağılımı.....	71
Şekil 4-12 Laboratuvar deneylerinde elde edilen akışkanlık eşiği değerlerinin dağılımı	71
Şekil 4-13 Platistiklik indis değerlerinin dağılımı	72
Şekil 4-14 Zemin sınıfları dağılımı	73
Şekil 4-15 Zemin grupları dağılımı	73
Şekil 4-16 Sıvılaşma tetikleme analiz sonuçları.....	75
Şekil 4-17 Sıvılaşma Potansiyel Haritası.....	85
Şekil 4-18 LPI Değerlerinin Iwasaki sınıflamasına göre dağılımları	86
Şekil 4-19 Oturma tahmin değerleri haritası	88

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3-1 SPT N_{60} değeri için düzeltme katsayıları açıklamaları.....	34
Tablo 3-2 İnce dane oranı için önerilen düzeltme katsayıları.....	35
Tablo 3-3 Çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanmış deprem büyüklüğü düzeltme katsayıları [5].....	36
Tablo 3-4 Sıvılaşma potansiyel indisine sınır değer aralıkları [32].....	39
Tablo 3-5 Sıvılaşma Potansiyel İndeksi Risk Değerlendirilmesi [30].	39
Tablo 4-1 Program girdi ve çıktı parametreleri.....	49
Tablo 4-2 Örnek zemin değişkenleri	50
Tablo 4-3 Çevrimsel gerilme oranı hesaplaması	51
Tablo 4-4 Çevrimsel dayanım oranı hesaplama sonuçları	52
Tablo 4-5 Iwasaki sınıflandırma yöntemine göre sıvılaşma potansiyeli	53
Tablo 4-6 Doygun kumların oturma değeri	54
Tablo 4-7 Proje için kullanılan zemin sondajlarının özet bilgileri	59
Tablo 4-8 Plastisite limitlerinin istatistiki bilgileri	70
Tablo 4-9 Hesaplanan LPI değerleri	77
Tablo 4-10 LPI değerlerinin Iwasaki sınıflamasına göre istatistiki analizi	86
Tablo 4-11 Ishihara ve Yoshimine yöntemine göre hesaplanan sıvılaşmaya bağlı oturma değerleri.....	89
Tablo 4-12 Sıvılaşmaya bağlı oturma değerlerinin istatistiki bilgileri.....	94
Tablo 4-13 Skempton ve Mac Donalds (1956) tarafından yapılarda temel ve zemin türüne bağlı Maksimum Toplam Oturma için önerilen değerler [41].	94

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yusuf ERZİN'e, çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim, gönlü güzel, kıymetli yol arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Kerem Kadir OĞUZ' a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan eşim, canım Dilek OYAN'a, bu tezin yazımı sırasında kendilerine yeterli derecede vakit ayıramadığım sevgili oğullarım Recep Meriç OYAN ve Kutay OYAN'a ve Annem Bedia OYAN'a gösterdikleri eşsiz sabır ve anlayışlarından dolayı yürekten teşekkür ederim.

Ercan OYAN
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Salihli (Manisa) Kent Merkezinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Ercan OYAN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yusuf ERZİN

Depremler etkilediği bölgelerdeki yapıları çok kısa bir sürede ve çoğu kez yıkım derecesine varacak düzeyde tahrip ederek insan yaşamını da büyük tehdit altında bulunduran sismik olaylardır. Günümüz bilgileri ışığında depremlerin nerelerde olabileceği tahmin edilebilmekte fakat ne zaman olacağı sorusunun cevabı hala bilinmemektedir. Aslında önemli olan depremin ne zaman olacağından ziyade depremin olacağını kabul etmek, zeminde ve yapılarda gerekli tedbirleri alarak deprem hasarlarının kabul edilebilir seviyelerde kalmasını sağlamaktır.

Depremlerin etkilerinden biri olan sismik zemin sıvılaşması tekrarlı deprem yükleri altında gerçekleşen bir zemin yenilme türü olarak tanımlanabilir. Depremin etkisi ile zemin içersine gömülen yapılar, yan devrilmiş binalar, yanal yayılmalar zemin sıvılaşmasına bağlı hasar örneklerindedir. Sismik zemin sıvılaşması zararlarının azaltılmasında en etkili yöntem, planlama çalışmaları öncesinde yerel ölçekte afet tehlikelerini ve risklerini belirlemekten geçmektedir.

Bu çalışmada Salihli (Manisa) kent yerleşim merkezinde bulunan 25 adet mahallede, 2000-2017 yılları arasında kamu ve özel sektör tarafından yapılan zemin etüd raporları derlenerek zemin sıvılaşma hesaplamaları için gerekli olan veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veriler kullanılarak LiqIT 4.4.7 yazılımı yardımıyla sismik sıvılaşma hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar coğrafi bilgi sistemi yazılımı QGIS 2.81 kullanılarak haritalandırılmıştır. Oturma ve sıvılaşma potansiyel değerleri enterpole edilerek 1/1000 ölçekli imar planı haritaları ile karşılaştırılarak sismik sıvılaşmaya bağlı tehlike haritaları oluşturulmuştur.

Hazırlanan sismik zemin sıvılaştırma tehlikesi haritaları, şehir planlamacıları ve bina tasarımcıları sıvılaştırma riskine karşı alınacak önlemlerin planlanmasında yardımcı olmak üzere hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, Deprem, LPI, Oturma, CBS

2019, 111 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Evaluation of Liquefaction Potential of Salihli (Manisa) City Center

Ercan OYAN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yusuf ERZİN

Earthquakes are seismic events that threaten human life by destroying the structures in the affected areas in a very short period of time and often to the degree of destruction. In the light of current knowledge, it is possible to predict where earthquakes might occur, but the answer to the question of when will happen is still unknown. In fact rather than predicting the time of earthquake it is important to accept the fact and take necessary precautions in the soil and structure in order to reduce the earthquake damage to acceptable level.

One of the effects of earthquakes are seismic soil liquefaction which can be defined as soil failure under cyclic earthquake loading. Buried, tilted structures and lateral spreading are some of the effects of seismic soil liquefaction. The most effective method of reducing damage related to seismic Liquefaction come about recognising disaster risk and threats at local scale.

In this study, soil survey reports made by the public and private sector between 2000 and 2017 were compiled in 25 districts of Salihli (Manisa) city center and the database required for soil liquefaction calculations was established. Using this data, seismic liquefaction calculations were performed with the help of LIQIT 4.4.7 software. The results were mapped using the GIS software QGIS 2.8.1. settlement and liquefaction potential values were interpolated and seismic liquefaction-related hazard maps were created by using 1/1000 scale city plan maps.

Seismic ground liquefaction hazard maps, are prepared to assist city planners and building designers in planning the countermeasures to be taken against the risk of liquefaction.

Keywords: Liquefaction, Earthquake, LPI, Settlement, GIS

2019, 111 pages

1 GİRİŞ

İnsanoğlu geçmişten günümüze değin deprem, heyelan, taşkın, çığ, volkan patlaması, kasırđa ve hortum gibi doğal afetler nedeniyle kitlesel kayıplara ve maddi zararlara maruz kalmış ve kalmaya da devam etmektedir. Önlenemez olması, ayrıca etkilediği bölgelerdeki yapıları çok kısa bir sürede ve çoğu kez yıkım derecesine varacak düzeyde tahrip ederek insan yaşamını da büyük tehdit altında bulundurması nedeniyle depremler, en yıkıcı doğal afet türü olarak kabul edilmektedir.

Bu sebepten insanoğlu binlerce yıldır depremler ve onun yıkıcı etkileri hakkındaki araştırmalarını sürdürmektedir. Bilinen en eski deprem kayıtlarına Çin’de rastlanılmış olup bu kayıtlar 3000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Bu konudaki bilgilerin artması ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak araştırma tekniklerine sürekli yenileri eklenmektedir. Günümüz bilgileri işığında depremlerin nerelerde olabileceği tahmin edilebilmekte fakat ne zaman olacağı sorusunun cevabı hala bilinmemektedir. Aslında önemli olan depremin ne zaman olacağından ziyade depremin olacağını kabul etmek, zeminde ve yapılarda gerekli tedbirleri alarak deprem hasarlarının kabul edilebilir seviyelerde kalmasını sağlamaktır. Depremler neticesinde oluşabilecek tehlikeler genel olarak yerel jeoloji ve zemin yapısına bağlı olarak oluşan faylanma, sıvılaşma, heyelan, kaya ve çığ düşmeleri gibi yerel tehlikeler oluşturabilirler. Deprem ve diğer doğal afet zararlarının azaltılmasında en etkili yöntem planlama çalışmaları öncesinde yerel ölçekli afet tehlikelerini ve olası kayıpları (riskleri) belirlemek ve bu tehlike-riskleri önleyebilecek veya en aza indirebilecek nitelikte planlama kararlarını almak olduğu konusunda görüş birliği oluşmuştur.

Yukarıda sayılan deprem kaynaklı afet tehlikelerinden sıvılaşma; granüler zeminlerin deprem etkisiyle boşluk suyu basınçlarının artması ve azalan efektif gerilmeler sonucu zeminin katı halden sıvı gibi davranış gösteren bir hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Depremler sonrasında saha gözlem ve verilerinin derlenerek geri hesap yöntemleri kullanılması suretiyle teorik hesaplama yöntemleri belirlenmiştir. Günümüzde yaygın olarak NCEER yöntemi olarak da bilinen basitleştirilmiş yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca zemin sıvılaşmasına bağlı olarak, Sıvılaşma sırasında ve sonrasında zemin tanelerinin gösterdikleri bir araya gelme eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi ile yüzeyde oturma şeklinde deformasyonlar (yer değiştirmeler) gözlenebilir. Bu koşullarda zeminde gelişen oturma yer değiştirmesi zeminin üzerindeki yapıya da yansiyarak, yapı zeminin içine batar. Sıvılaşmanın yüzeyde gözlenmesi ise kum fıskırması (kum volkanları ve kum kraterleri), kum daykları ve siller, yanal yayılmalar ve kademeli yarıklar şeklinde olur.

İncelenecek sahalardaki zemin bilgilerinin değişik yöntemlerle sıvılaşma analizine tabi tutulması sonucunda elde edilen bilgilerin CBS tabanlı haritalar üzerine işlenmesi neticesinde sıvılaşma kaynaklı tehlike haritaları elde edilmiş olur. Bu durum tehlikelerin önceden belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınarak yapılaşmanın ve mühendislik yapılarının tasarımıyla dayanak teşkil etmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı Ve Temel Yaklaşım

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 1. derece deprem bölgesinde bulunan Salihli kent merkezinin, deprem kaynaklı zemin sıvılaşmasına bağlı tehlike haritalarının oluşturulması ve muhtemel zemin oturma değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Gerek konut gerekse mühendislik yapılarının tasarımına dayanak teşkil edecek öndeğerlendirme haritaları oluşturulmaya çalışılmıştır.

Salihli (Manisa) kent merkezindeki 25 adet mahallede yapılan zemin etütlerinden elde edilen sondaj ve laboratuvar sonuçları kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanının oluşturulmasında özel firmalar ve kamu kurumları tarafından hazırlanan jeolojik raporlara ait 236 adet (toplam 3540 m) araştırma sondajı, 35400 adet SPT testi, 470 adet laboratuvar deney sonucu kullanılmıştır.

Sıvılaşma analizleri Geolosismiki firmasının LiqIT yazılımı 4.7.7.5 sürümü kullanılarak sıvılaşma tetikleme analizleri yapılmış, LPI ve oturma değerleri hesaplanmıştır.

Hesaplanan LPI ve oturma değerleri CBS yazılımını kullanarak harita üzerine koordinatlı olarak işlenmiştir. Bu değerler krigging yöntemi ile ekstrapolasyon yapılarak inceleme alanı bölgelere ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak sıvılaşmaya bağlı risk haritaları oluşturulmuştur.

1.2 Çalışma Kapsamı

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve temel yaklaşımı sunulmuştur.

İkinci bölümde zemin sıvılaşma konusunda yapılan tanımlamalar, sıvılaşmayı etkileyen faktörler, sıvılaşmanın türleri ve yapılar üzerindeki etkileri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde materyal ve yöntemlerde bölgesel jeoloji, tektonik özellikleri zemin sıvılaşması analiz yöntemleri, SPT verilerine göre sıvılaşma tetikleme analiz yöntemi, sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI) ve sıvılaşmaya bağlı zemin oturmaları hakkında literatür bilgileri verilmiştir.

Dördüncü bölümü oluşturan araştırma, bulgular ve tartışma başlığı altında zemin veri tabanı, kullanılan paket program ve hesap yöntemi hakkında bilgi verilmesi, sıvılaşma tetikleme analiz sonuçları, LPI ve oturma hesaplamaları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca sıvılaşmaya bağlı tehlike haritalarının oluşturulması hakkında bilgi verilmiştir.

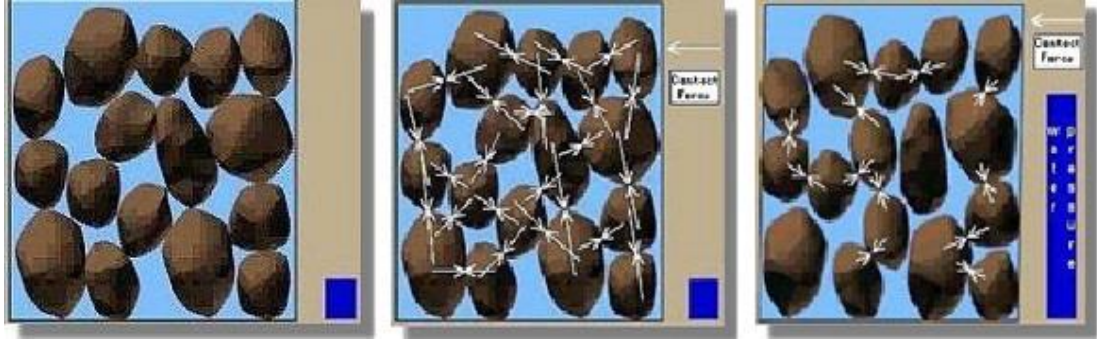
Beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler tartışılmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

Sıvılaşma, önemli bir hasar nedeni olması sebebi ile geoteknik deprem mühendisliği içerisinde üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan birisidir. Sıvılaşmanın yıkıcı etkilerinin geoteknik mühendislerinin dikkatini çekmesi, ilk olarak 1964 yılında üç aylık dönem içinde ardarda meydana gelen Alaska'daki Good Friday ($M_w=9.2$) ve Japonyadaki Niigata ($M_s=7.5$) depremleriyle birlikte olmuştur. Bu depremlerden sonra, 45 yıl boyunca dünyanın birçok yerinde, çeşitli araştırmacılar tarafından, sıvılaşmanın oluşması için gerekli şartlar ve yaratacağı hasar miktarı incelenmiştir. Bir çok farklı terminoloji, prosedür ve analiz yöntemleri önerilmiş olup, diğerlerine kesin olarak üstün gelen bir yaklaşımın doğması mümkün olmamıştır [1].

2.1 Sıvılaşma Tanımı ve Mekanizmaları

1918 yılında Kaliforniya(Amerika) Calaveras Barajında meydana gelen yenilmeyi William Hazen akıcı kum olayı (akma sıvılaşması) olarak açıklamıştır. Granüle zeminlerin sıvılaşması üzerine yapılan ilk çalışma Casagrande (1936) tarafından ortaya atılan kritik boşluk oranı yaklaşımı ile hangi koşullarda sıvılaşma olabileceği yönelik çalışma yapılmıştır. Terim olarak ilk kez kohezyonsuz zeminlerde, drenajsız şartlardaki tekdüze, dengesiz ve tekrarlamalı örselenmeden kaynaklanan zemin deformasyonları ile ilgili değişik olayları nitelemek üzere Mogami ve Kubo (1953) tarafından kullanılmıştır [1]. Sıvılaşma granüler bir zeminin artan boşluk suyu basıncı ve azalan efektif gerilme sonucu katı durumdan sıvı duruma dönüşmesi olarak tanımlanabilmektedir. Boşluk suyu basıncı artışı çevrimli kayma şekil değiştirmelerine maruz kalan granüler zeminin sıkışma eğiliminden kaynaklanmaktadır. Yükleme çevrimlerinin hızlı olmasından dolayı boşluk suyu dışarı çıkamamakta ve sıkışmaya zorlanan suda basınç artışları meydana gelmektedir. Katı durumdan sıvı duruma dönüşüm, düşük geçirimli, gevşek-orta sıkı yerleşimli, siltli kumlar veya az geçirimli kaplama veya ara tabakalar ile boşluk suyunun drene olması engellenen kumlu çakıllı zeminlerde daha hızlı bir şekilde ortaya çıkmakta, sıvılaşma oluşunca zemin yumuşamakta ve büyük kayma şekil değiştirmeleri meydana gelmektedir. Şekil 2-1'de sıvılaşma mekanizmasının oluşum aşamalarını göstermektedir.



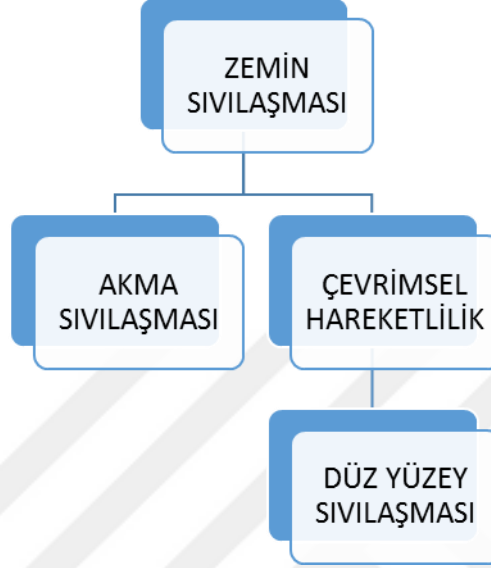
Şekil 2-1 Sıvılaşma mekanizması oluşum aşamaları [2]

Çalışmalarda temiz kumların sıvılaşma davranışının anlaşılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Süreç içinde meydana gelen depremler sonrasında saha üzerinde yapılan araştırma ve gözlemler neticesinde temiz kumların sıvılaşma davranışının yanında, siltli ve/veya çakıllı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli, sıvılaşma sonrası zemin dayanımı ve gerilme – deformasyon davranışı gibi konular üzerinde de çalışılmaya başlanmıştır.

İlk olarak Çin’de meydana gelen 1975 Haichang ve 1976 Tangshan depremlerinin ardından ağırlıklı olarak ince daneli malzeme içeren zemin profillerinde gözlenen yenilme (deformasyon-hasar) vakalarının ardından Wang [3] tarafından bu tip zemin profillerinin değerlendirilmesi amacıyla kendinden sonra birçok araştırmacıya ışık tutacak, günümüzdeki adıyla Çin kriteri olarak bilinen yöntemi önermiştir. Granüle zeminlerde sıvılaşma kavramı üzerinde mutabık kalınmasına rağmen, ince daneli zeminlerde meydana gelen yenilme davranışının ismi konusunda sıvılaşma olarak mı, yumuşama olarak mı adlandırılacağı günümüze kadar devam edegelmiştir. Fakat burada asıl dikkat edilmesi gereken kanımca bu davranışın bilimsel anlamda tanımının ne olacağı, nasıl isimlendirileceğinin ötesinde, deprem sonrası hasarın olup olmayacağı, hangi mertebede hasar görülebileceği, bu tip zeminler üzerinde yapılan yapılar üzerinde yapılan yapılardan beklenen performansın ne olması gerektiği üzerinde durulmalıdır. Bu sonuçlar bize sıvılaşma riski olan alanlarda yapılacak yapıların minimum hasar göreceği düzeyde tasarım için bize rehber olması amaçlanmalıdır.

2.1.1 Sıvılaşma Türleri

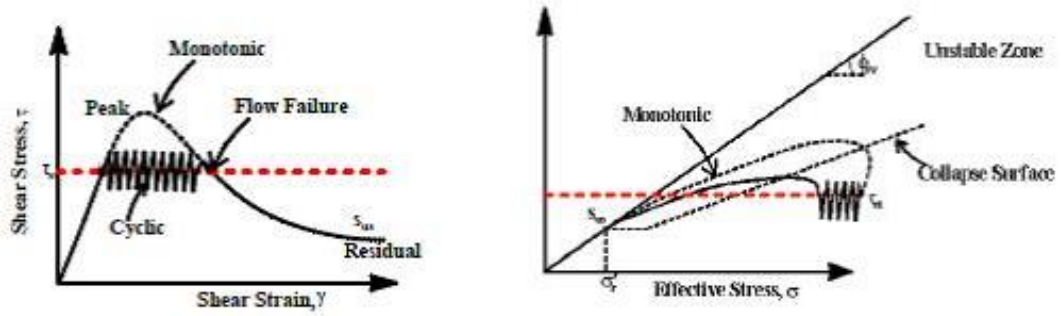
Sıvılaşma tanımları incelendiğinde davranış olarak Şekil 2-2'deki gibi gruplandırılabilir.



Şekil 2-2 Sıvılaşma türleri

2.1.1.1 AKMA SIVILAŞMASI

Sıvılaşma ile ilgili olaylar arasında akma yenilmeleri olarak bilinen ve olağanüstü derecede duraysızlıklara neden olan en çarpıcı etkileri akma sıvılaşması üretir. Akma sıvılaşması, bir zemin kütlelerinin statik dengesi için gerekli kayma gerilmesinin (statik kayma gerilmesi), zeminin sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından büyük olduğu durumda gelişir. Tetiklemeden sonra akma sıvılaşması ile oluşan büyük deformasyonların gerçek nedeni statik kayma gerilmeleridir. Statik kayma gerilmelerinin akma yenilmesi üretecek kadar zeminin dayanımını azalttığı durumda, çevrimsel gerilmeler zemini çok kolay bir şekilde dengesiz duruma getirebilmektedir [1]. Şekil 2-3'te akma sıvılaşması mekanizmasının grafiksel anlatımı görülmektedir.



Şekil 2-3 Akma sıvılaşma mekanizması [4]

Akma sıvılaşmasının özellikleri:

- Yalnızca drenajsız koşullar altındaki zeminlerin yumuşama deformasyonları için geçerlidir.
- Yerindeki kayma gerilmelerinin zeminin drenajsız kayma gerilmelerinin en yüksek değerinden büyük olması gerekmektedir.
- Ya tekdüze veya çevrimsel yüklemeler tarafından tetiklenebilir.
- Bir yamaç gibi zemin yapısında yenilme oluşması için, belirli bir hacimde zeminin deformasyonuna uğraması gerekir. Oluşan yenilme zeminin özelliklerine ve yüzey morfolojisine bağlı olarak kayma ve akma şeklinde olabilir
- Gevşek granüler çökeltiler, çok hassas killer ve silt çökelleri gibi herhangi bir yarı dengeli zeminde görülebilir [4].

Akma sıvılaşması türü yenilmelerin bir diğer özelliği de yenilmelerin oluşumu genellikle çabuktur ve sonuçta oluşan zemin hareketleri de büyüktür. Yenilmeler ilerlemeli olarak gelişebilir (yani; küçük bir hacimdeki zeminde akma sıvılaşmasının başlaması yayılarak büyük akma yenilmeleri oluşabilir) Belirli bir lokasyonda akma sıvılaşması başladığı zaman, kayma direnci sabit durum dayanımına geriler. O lokasyonda karşı konulan statik kayma gerilmeleri komşu noktalara iletilerek, orada da akma sıvılaşması başlatabilir. Gerilmenin yeniden dağılımı devam ederken sıvılaşma zonu da genişler. Sonuçta da büyük bir akma kayması gelişebilir [1].

2.1.1.2 Çevrimsel Hareketlilik

Deprem sarsıntısı sırasında kabul edilemeyecek düzeyde büyük ve kalıcı deformasyonlara neden olan diğer bir olaydır. Çevrimsel hareketlilik akma sıvılaşmasının aksine, statik kayma gerilmesinin, sıvılaşmış zeminin kayma dayanımından küçük olduğu zaman gelişmektedir. Çevrimsel hareketlilik türü yenilmenin neden olduğu deformasyonlar deprem sarsıntısı sırasında kademeli olarak gelişir. Akma sıvılaşmasının aksine, çevrimsel hareketlilik ile oluşan deformasyonlara neden olan faktör, hem çevrimsel gerilmeler hem de statik kayma gerilmeleridir. Yanal yayılma olarak adlandırılan bu deformasyonlar çok az eğimli yamaçlarda veya su kütlelerine komşu düzlüklerde gelişmektedir. Yapıların bulunduğu yerlerde yanal yayılmalar büyük hasarlara yol açabilmektedir.

Çevrimsel hareketliliğin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Çevrimsel yükleme sırasında kayma gerilmeleri her zaman sıfırdan büyük olması gereklidir. Yani kayma gerilmeleri tersinir gelişmez.
- Sıfır efektif gerilme gelişmez
- Çevrimsel yükleme sırasında deformasyonlar sabitlenecek (stabilize olacak, zemin çok gevşek ve akma sıvılaşması tetiklenmiştir).
- Çevrimsel yükleme büyüklüğü ve süresi yeterince büyük olması şartıyla hemen hemen her kumda oluşabilir, fakat kayma gerilmeleri tersinir olmaz.
- Killi zeminlerde çevrimsel hareketliliği tecrübe edebilirsiniz, fakat deformasyonlar akma oranı etkisiyle kontrol edilir [4].

2.1.1.3 Çevrimsel Yumuşama

Çevrimsel hareketliliğin özel bir durumu düz yüzey sıvılaşmasıdır. Yatay deformasyonları üretebilecek statik yatay kayma gerilmeleri mevcut olmadığından, düz yüzey sıvılaşması bir deprem sırasında zemin dalgalanması olarak bilinen büyük boyutlu ve düzensiz karakterli hareketi oluşturmakta fakat çok küçük bir kalıcı deformasyona sebep olmaktadır. Düz yüzey sıvılaşması türü yenilmelere neden olan faktör, depremin neden olduğu aşırı boşluk suyu basıncının sönmülmesi sırasında suyun yukarı doğru akışıdır. Hidrolik dengeye ulaşmak için gerekli olan zamanın uzunluğuna bağlı olarak, düz yüzey sıvılaşması, deprem sona erdikten uzun bir süre

sonra da meydana gelebilir. Aşırı düşey oturma ve bunun sonucunda düşük kotlu zemin akması ve kum kaynamalarının gelişmesi, düz yüzey sıvılaşması türü yenilmenin en belirgin özellikleridir.

Akma sıvılaşması ve çevrimsel hareketlilik belirli bir sahada hasara neden olabilir ve sıvılaşma tehlikesinin eksiksiz bir şekilde değerlendirilmesi için, bunların her birinin potansiyelinin de ele alınması gerekmektedir. Arazide deprem yükünden dolayı en çok görülen sıvılaşma, çevrimsel yumuşamadır. Bunun için, zemin sıvılaşması araştırmalarında, çevrimsel yumuşama konusunda sıvılaşmayı başlatan nedenlerin bulunması için çalışmalar yapılmaktadır [5].

2.2 Zemin Sıvılaşmasının Etkileri

Sıvılaşmanın arazi ve yapılar üzerindeki etkileri beş ana madde halinde sıralanabilir.

1. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi
2. Zeminin oturması
3. Yanal yayılma
4. Akma türü kayma
5. Düz yüzey sıvılaşması

Sıvılaşma sırasında ve sonrasında zemin tanelerinin gösterdikleri bir araya gelme eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi ile yüzeyde oturma şeklinde deformasyonlar (yerdeğiştirmeler) gözlenebilir. Bu koşullarda zeminde gelişen oturma yer değiştirmesi zeminin üzerindeki yapıya da yansyarak, yapı zeminin içine batar. Sıvılaşma yalnızca üst yapıları değil alt yapıları da olumsuz etkilemektedir. Sıvılaşmanın yüzeyde gözlenmesi ise kum fişkırması (kum volkanları ve kum kraterleri), kum daykları ve siller, yan al yayılmalar ve kademeli yarıklar şeklinde olur [6].

2.2.1 Zeminin Taşıma Gücünü Yitirmesi

Yapıları taşıyan zemin, sıvılaşığı zaman taşıma gücünü yitirerek deformasyona maruz kalır. Sıvılaşan kum yüzeye doğru yükselirken zemini

zayıflatır, dolayısıyla dayanımını yitiren zemin yapının aktardığı yükleri taşıyamaz duruma gelir. Bu gelişmeye bağlı olarak, zeminin üzerindeki yapılarda öne veya geriye doğru yatar, ya da domino taşı gibi devrilir. Şekil 2-4’de 1999 Doğu Marmara Depremi [7] ve Şekil 2-5’de 1964 Niigata Depremi’ndeki yana yatmış binalar görülmektedir [8].

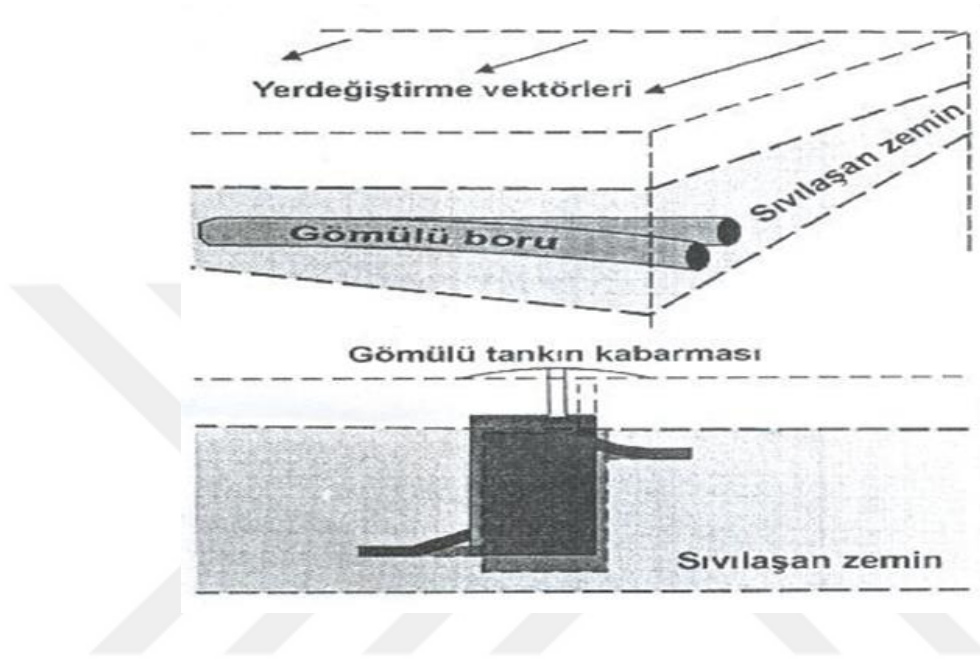


Şekil 2-4 Adapazarı’nda sıvılaşma nedeniyle yana yatmış bir bina [7].



Şekil 2-5 1964 Niigata depreminde sıvılaşma sonucu yana yatmış binalar [8]

Sıvılaşma nedeniyle zeminin taşıma gücünü yitirmesiyle binalarda gözlenen davranışın aksine, sıvılaşan zeminlerin içinde gömülü tanklar ve borular ise, yüzeye doğru yükselme (kabarma) eğilimi gösterirler ve kırılmaya, ya da bükülmeye maruz kalırlar. Şekil 2-6 ve 2-7’de boru, tank vb. gibi zemine gömülü alt yapı elemanlarının sıvılaşma sonucu yüzeye doğru hareket ederek kabarmaları görülmektedir [9].



Şekil 2-6 Gömülü alt yapı elemanlarında oluşan hasar [9].



Şekil 2-7 Kanalizasyon yapılarında ortaya çıkan hasar örnekleri [10].

2.2.2 Zemin Oturması

Sıvılaşma sırasında tanelerin gösterdikleri bir araya gelme eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi yüzeyde oturma şeklinde bir deformasyona (yer değiştirmeye) neden olabilir. Bu koşullarda zeminde gelişen oturma yer değiştirmesi zeminin üzerindeki yapıya da yansyarak, yapının zeminin içine doğru batmasına neden olur. Şekil 2-8’de 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarı’nda giriş katları zemine batan binalar [7] , Şekil 2-9’da 1971 San Fernando (ABD) depreminde San Fernando Barajı’ndaki hasar zemin oturmasının tipik örnekleridir [11].

Oturma sadece depremden kaynaklanan boşluk suyu basıncı sönmölenirken gelişebilir. Bu oturmanın oluşması için gerekli zaman, zeminin geçirgenliği ile sıkışabilirliğine ve drenaj yolunun uzunluğuna bağlıdır. Birkaç dakikadan bir güne kadar değişebilir (1).



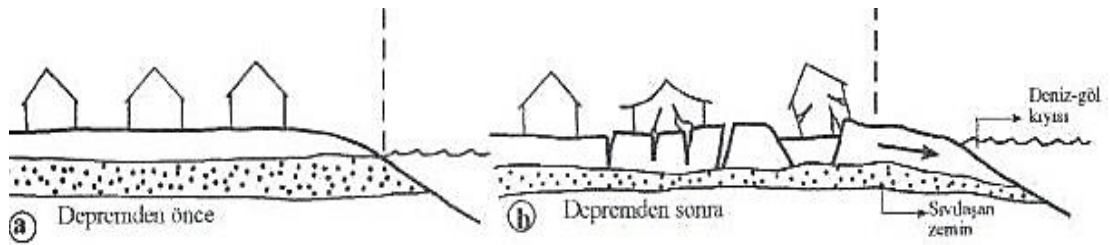
Şekil 2-8 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı’nda zemine batmış bina [7].



Şekil 2-9 Sıvılaşmaya bağlı olarak zeminde oturma nedeniyle 1971 san fernando depreminde hasara uğrayan san fernando barajı [11]

2.2.3 Yanal Yayılmalar

Genellikle %5 eğimden küçük arazide gözlenen yanıl yayılma, sıvılaşmadan kaynaklanan kayma dayanımı kaybının neden olduğu bir yüzey hareketidir. Yüzeyde belirli kalınlıktaki katman "sıvılaşan katman"ın üzerinde hareket eder. Şekil 2-10'da sıvılaşmaya bağlı olarak yanıl yayılma görülmektedir [12].



Şekil 2-10. Sıvılaşmaya bağlı olarak yanıl yayılma [12]

Yüzeyde gözlenen bu hareket sonucunda binalar ve özellikle rijit binalarda çekme gerilmelerinde kaynaklanan ciddi çatlaklar-farklı oturmalar oluşur. Değirmendere'nin Çınarcık lokasyonunda kıyı şeridinin bir bölümü körfeze doğru kaymıştır. Sapanca gölünün güney kıyısında da zemin sıvılaşmasından kaynaklanan önemli yanal hareketler olmuştur [12].

Yanal yayılmaya maruz kalan zeminlerin içinde bulunan yapı temelleri, atıksu şebekeleri ve boru hatları ile diğer altyapı tesisleri hasar görürler veya eklem yerlerinden koparlar. Ayrıca, kaymanın topuk bölgesindeki (kıyıdaki) yapılar sıkışır ve bükülürler. Dolayısıyla, yanal yayılmanın neden olduğu hasarlar, zeminin üzerindeki yapıların yoğunluğuna da bağlı olarak, bir felaket düzeyine ulaşabilmektedir (1). Şekil 2-11'de 1995 Kobe Depreminde kıyı şeridinde bulunan, yanal yayılmaya maruz kalmış liman görülmektedir [13].



Şekil 2-11 Kobe (1995) depremi liman yapısındaki yanal yayılma hasarı [13].

2.2.4 Akma Türü Kayma (Akma Sıvılaşması)

Akma hareketi prensip olarak yanal hareketin daha geniş bir bölgeye yayılmış biçimi olup, genellikle %5 eğimden daha büyük arazide oluşur. Binalarda yanal yer değiştirmeler, farklı oturmalarından dolayı ciddi yapısal hasarlar söz konusudur.

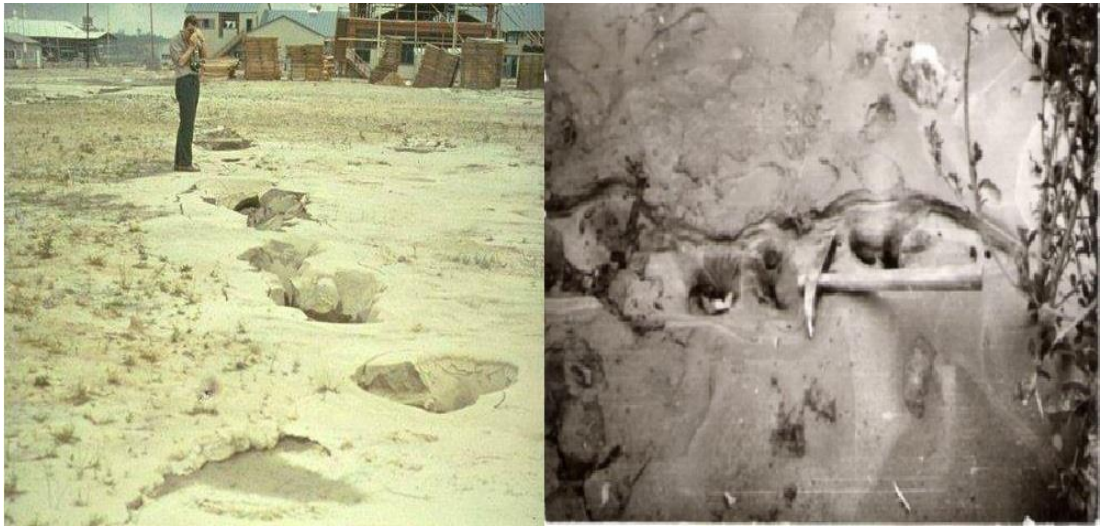
Binaların maruz kalacağı "farklı oturma" değerleri "yapısal hasarların" düzeyini belirler. Gerek yanal yayılma gerekse akma hareketinde gözlenen maksimum çökme değerleri binalarda izin verilebilir çökme değerlerinden (50-60 mm) daha büyüktür [11]. Günümüze değin geniş çapta ve büyük hasarlara neden olan akma hareketlerinin önemli bir bölümü kıyılarda gelişmiştir. Su altında gelişmesi durumunda, akma hareketleri kıyılardaki yapıların, limanların ve diğer tesislerin hareket eden zeminle birlikte derinlere sürüklenmesine yol açmaktadır. Bu tür olayların tipik örnekleri ülkemizde 1999 Kocaeli Depremi sırasında meydana gelmiş ve İzmit Körfezi'nin güney kıyısındaki Değirmendere'de kıyı topoğrafyasının eğimi daha dik olup, sivilaşmayla birlikte akma hareketi için gerekli ortam koşulları sağlanmıştır. Şekil 2-12'de akma türü kaymaya örnek olarak, 1964 Alaska Depreminde meydana gelen Turnagain Heights Heyelanı görülmektedir. Akma türü kaymanın en tahrip edici düzeyde yaşandığı deprem, Çin'de meydana gelen 1920 Kansu Depremi'dir. Bu depremde malzeme 1,6 km boyunca akmış ve yaklaşık 200000 kişinin yaşamını yitirmesine neden olmuştur [1].



Şekil 2-12 1964 Alaska depreminde oluşan Turnagain Heights heyelanı [14]

2.2.5 Kum Kaynamaları

Sıvılaşma olayları çoğu zaman kum kaynamaları ile birlikte gelişir. Bir deprem sarsıntısı sırasında ve sonrasında, depremden kaynaklanan aşırı boşluk suyu basıncı çoğu zaman yukarı doğru akan gözenek suyu tarafından sönmümlendirilir. Bu akış şekli, zemin partiküllerinde yukarı doğru etkiyen kuvvetler oluşturur (bu kuvvetler çökelin üst kısmını gevşetmek suretiyle o zemini gelecekte oluşacak depremlerde sıvılaşmaya duyarlı hale getirebilir [12]. Akışı sağlayan hidrolik eğimin kritik değere ulaşması halinde, düşey efektif gerilme sıfıra düşer ve zemin akıcı bir kıvama dönüşür. Arazide zemin şartlarının üniform olduğu durumlar çok nadir olup, kaçma eğilimindeki gözenek suyu, lokalize olmuş kırık veya kanallarda yüksek hızda akma eğilimindedir. Kum partikülleri bu kanallardan taşınarak zemin yüzeyine atılır ve sonuçta kum kaynaması gelişir. Kum kaynamalarının gelişmesi karmaşık ve biraz da rastgele bir süreçtir. Aşırı boşluk suyu basıncının büyüklüğüne ve yüksek aşırı boşluk suyu basınç zonunun üzerine gelen katmanın kalınlığına, geçirgenliğine ve örselenmemişlik derecesine bağlıdır. Sıvılaşmanın kanıtı olarak kum kaynamalarına güvenmek aldattıcı olabilir. Büyük derinliklerde veya ince katmanlarda gelişen sıvılaşma, kum kaynamaları oluşturmayabilir. Ayrıca, yüksek aşırı boşluk suyu basınçları gelişse bile, siltli kumun düşük geçirgenliği kum kaynaması oluşturan gözenek suyunun çabucak akmasını engelleyebilir (1).



Şekil 2-13 Sol:1964 Niigata Depreminde oluşan kum kaynamaları (1), Sağ:1969 Alaşehir depreminde oluşan kum kaynamaları [15].

2.3 Sıvılaşmanın Değerlendirilmesi

Zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesi Seed vd. [16] tarafından beş farklı aşamada incelenmesini önermişlerdir. Bu aşamalara ek olarak sıvılaşma tetikleme analizine geçmeden önce zeminlerin sıvılaşabilirlik potansiyelinin değerlendirilmesi gerekecektir. Böylece tetikleme analizlerinin gereksiz yere yapılmasının da önüne geçilebilecektir. Zemin sıvılaşma tetkikinin aşamaları beş adımda sıralanabilir;

1. Zemin sıvılaşmasının başlama veya tetiklenme olasılığının değerlendirilmesi
2. Sıvılaşma sonrası dayanım ve genel duraylılığın (stabilitenin) değerlendirilmesi
3. Sıvılaşma sebebiyle oluşabilecek deformasyon ve deplasmanların belirlenmesi
4. Deformasyon ve deplasmanların zemin ve üstyapı davranışına etkilerinin değerlendirilmesi
5. Gerek görülürse hasar azaltıcı önlemlerin uygulanması

Zemin sıvılaşma tetkikinde ilk adım (1) zeminin sıvılaşma potansiyeli ya da riskinin belirlenmesidir. İkinci aşama (2) sıvılaşma sonrası zemin dayanımının belirlenmesine ek olarak sıvılaşma sonrası genel stabilitenin (arazinin ve/veya yapının) incelenmesini de içermektedir. Eğer sıvılaşma sonrası stabilite sağlanamazsa, deformasyonlar potansiyel olarak büyük olmakta, sıvılaşmayı önleyici ya da deformasyonları sınırlayıcı önlemler gerektirmektedir.

Sıvılaşma sonrası genel stabilite kabul edilebilir seviyelerde ise bir sonraki aşama (3) deformasyonların belirlenmesidir. Bu aşama uygulamanın yumuşak karnı olmaya devam etmekte ve yeni mühendislik metotlarının geliştirilmesi ve kalibre edilmesine ihtiyaç duymaktadır. Benzer olarak [4] sıvılaşma sonucunda oluşan temel deformasyonlarının yapı davranışına etkisi ve kabul edilebilir deformasyon ve davranış kriterleri konularında da genel görüş birliği oluşmamıştır.

Son olarak mühendislik tasarımlarında kabul edilebilir zemin ve/veya yapı davranışının mevcut koşullar altında garanti edilemediği durumlarda [5] zemin ve/veya yapı iyileştirmeleri gerekmektedir [16].

2.3.1 Zeminlerin Sıvılaştırılabilirlik Potansiyeli

Zeminlerin sıvılaştırmaya duyarlılığının değerlendirilmesi konusunda etkili olan birçok parametre vardır; bunlardan bazıları zemin sınıfı ve tabakalanma yapısı, yer altı su seviyesi, sismik sarsıntının süresi ve şiddeti, rölatif sıklığı, tane şekli, tane boyu dağılımı, tarihsel ölçütleri, drenaj şartları, jeolojik ölçütler vb. olarak sıralanabilir [17]. Zemin sıvılaştırma analizinin ilk adımı potansiyel olarak sıvılaştırılabilir zemin tabakalarının söz konusu zemin profilinde bulunup bulunmadığının belirlenmesidir. Bu hangi zeminlerin sıvılaştırılabilir olduğu gibi önemli bir soruyu doğurmaktadır. Zeminleri üç ana gruba ayırarak değerlendirme yapabiliriz.

1. Temiz kum
2. İri taneli ve çakıllı zeminler
3. İnce taneli zeminler (silt-kil)

1. Grup, “Temiz” kumların potansiyel olarak sıvılaştırılabilirliği uzun zamandan beri bilinmektedir. Ancak siltli ya da siltli killi kumlar ile çakıllı zeminlerin sıvılaştırılabilirliği konusunda görüş birliği olmadığı gibi bu konularda bir karmaşa da mevcuttur.

2. Grup, İri daneli ve çakıllı zeminler potansiyel olarak sıvılaştırılabilirler. Çakıllı zeminlerin sıvılaştırılabilirliğini gösteren, iyi dökümente edilmiş örnekler mevcuttur. Ancak bu tip zeminler (daha ince daneli kumlu zeminlere göre) davranış olarak iki önemli farklılık gösterir:

- a) Daha geçirimli olduklarından sismik yükleme sırasında oluşan tekrarlı boşluk suyu basıncı daha çabuk dağılabilmektedir;
- b) Kumlu zeminlerin gevşek durumda sıklıkla rastlanmalarına karşın, çakıllı iri daneli zeminlere gevşek halde fazla rastlanılmaz.

Çakıllı zeminlerin bilinen yüksek geçirimlilik avantajı şu durumlarda bozulabilir:

- Daha az geçirimli tabakalar arasında sıkıştığında,
- İnce daneli malzemelerin çakıllı danelerin boşluklarını doldurduğu durumlarda
- Çakıllı tabaka oldukça kalın ve buna bağlı olarak drenaj mesafesi uzunsa; deprem yükü gibi ani yükler uygulandığında.

- Bu gibi durumlarda iri daneli malzemelerin de sıvılaşabileceği bilinmeli ve gerekli sıvılaşma hesapları yapılmalıdır.

İnce daneli kohezyonlu silt ve kil karışımlarının sıvılaşabilirliği ise çok daha tartışmalı bir konu olarak dikkatleri üzerine çekmektedir . Çin’de yaşanan 1975 Haicheng ve 1976 Tangshan depremlerinin ardından, ağırlıklı olarak ince daneli malzeme içeren zemin profillerinde gözlenen yenilme vakalarıyla bu konudaki çalışmalar başka bir yöne kaymıştır. Bu tip zeminlerin sıvılaşabilirliği gündeme gelmiş, Wang [5] tarafından bu amaçla, daha sonra birçok araştırmacı tarafından küçük değişikliklerle yenilenecek olan ve bugün Çin Kriterleri olarak anılan çalışma sunulmuştur. Öncü bir çalışma olarak, değişik formlarıyla 30 yılı aşkın bir süre kullanılan bu kriterlerin güvenilirliği hakkında yakın zamanlarda yaşanan 1989 Loma-Prieta, 1994 Northridge ve özellikle 1999 Kocaeli ve Chi-Chi depremlerinin ardından önemli soru işaretleri belirlemiştir [18].

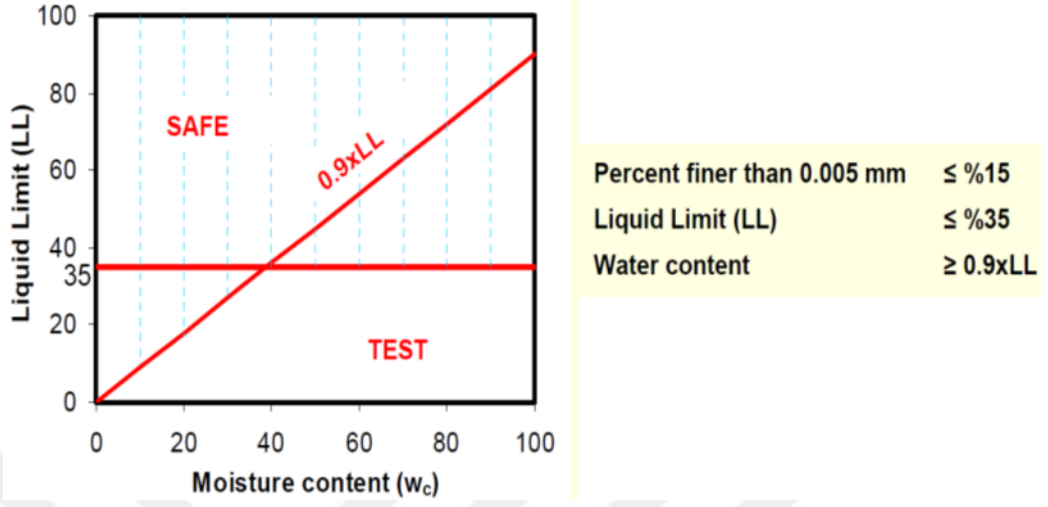
İnce taneli zeminlerin sıvılaşabilirliğinin belirlenebilmesine yönelik yapılan çalışmaları tarihsel olarak sıralarsak;

1. Çin kriteri Wang (1979) [3]
2. Geliştirilmiş çin kriteri (Finn vd. 1994) [19]
3. Andrews ve Martin (2000) [20]
4. Seed vd. (2003) [16]
5. Bray ve Sancio (2006) [21]
6. Boulanger ve Idriss (2006) [22]
7. Bilge (2010) [23]

2.3.1.1 Çin Kriteri Wang (1979)

Çin kriteri olarak bilinen yöntem değişik ince dane ve kil oranlarına sahip zeminlerin yaygın olarak sıvılaştığı 1975 Haichang ve 1976 Tangshan depremlerinden sonra önerilmiştir. Çin kriteri zeminin sıvılaşabilirlik duyarlılığını kil oranı ($< 0,005\text{mm}$ dane büyüklüğü), su içeriği ve likit limite dayanarak tanımlanmıştır. Bu kriter % 15’den fazla kil oranına sahip zeminleri sıvılaşmaz

olarak kabul eder. Şekil 2-14’ de Çin Kriteri için önerilen tasarım abağı görülmektedir.

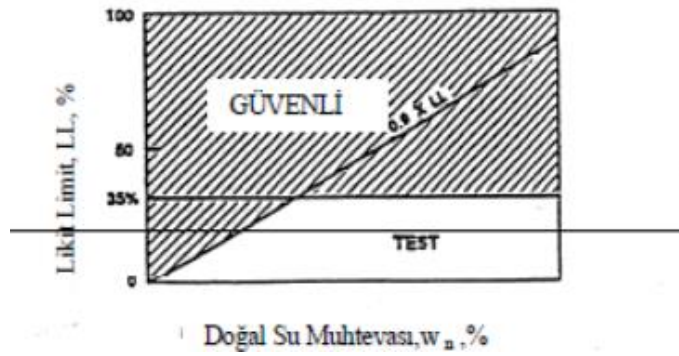


Şekil 2-14 Çin kriterlerinin grafiksel gösterimi [24].

2.3.1.2 Geliştirilmiş Çin Kriteri

“Geliştirilmiş Çin Kriterleri” Finn ve diğ. [19] tarafından tartışılmış fakat metodun tahmin kalitesi konusunda bir görüş birliği oluşmamıştır. Çalışma sonuçlarını özetleyen kriterler Şekil 2-15’de gösterilmiştir.

1. 0.005 mm den küçük dane yüzdesi $\leq 15\%$
2. Likit Limit, LL $\leq 35\%$
3. Su Muhtevası $\geq 0.9 \times LL$



Şekil 2-15 Geliştirilmiş Çin kriteri [19].

“Geliştirilmiş Çin Kriterlerinin (GÇK) sınıflandırılabilir zemin tanımını özetlemektedir. Bu kritere göre aşağıda belirtilen durumlarda zeminler potansiyel olarak sınıflandırılabilirler:

- (a) % 15’ten az killi malzeme içeriyorsa (killi malzeme Çin kriterlerine göre 0.005 mm’den küçük malzeme olarak tanımlanır),
- (b) Likit limit (LL) ≤ 35 %, 3) Su muhtevası likit limitin % 90’ına eşit ya da daha fazlaysa.

2.3.1.3 Andrews ve Martin (2000),

Seed ve diğerleri [23] tarafından oluşturulmuş sınıflandırma veritabanını yeniden değerlendirmiştir. ASTM standartlarında tanımlanan USCS zemin sınıflamasına uygun olacak şekilde GÇK’yı ($< 0,002$ mm’den küçük boyutlu malzeme kil olarak) yeniden tanımlamıştır. Bu çalışmanın sonuçları Şekil 2-16’da özetlenmiştir.

	Likit Limit ¹ < 32	Likit Limit ≥ 32
Kil İçeriği ² $< 10\%$	Sınıflandırılabilir	İleri çalışma gerekir <i>(Plastik kil harici boyutlu dane olduğu düşünülerek- Mika gibi)</i>
Kil İçeriği ² $\geq 10\%$	İleri çalışma gerekir <i>(Plastik olmayan kil boyutlu dane olduğu düşünülerek- maden veya ocak atığı gibi)</i>	Sınıflandırılmaz

Not:

1. Casagrande tipi darbe aleti ile belirlenen likit limit

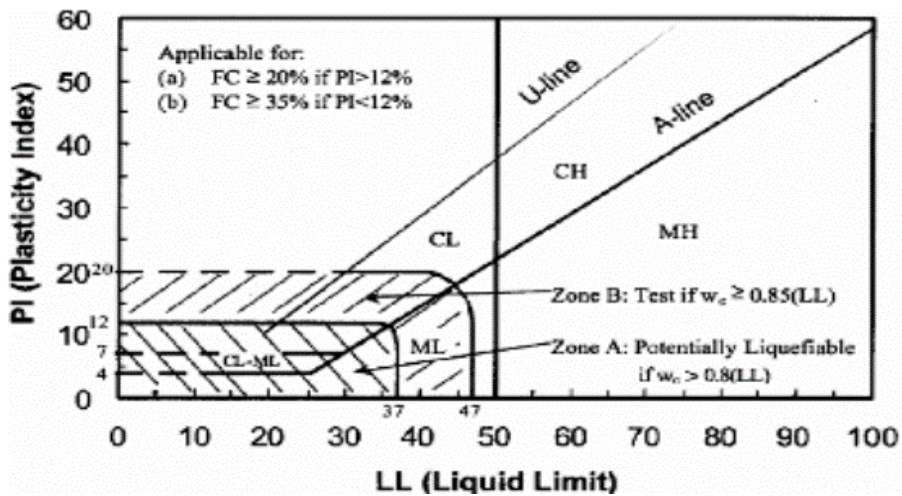
2. Kil 0.002 mm den küçük dane olarak tarif edilir.

Şekil 2-16 Siltli ve killi kumların sınıflandırılabilirliği [20].

Andrews ve Martin, % 10'dan az killi ($< 0.002\text{mm}$) malzeme içeren ve 40 no.lu elekten geçen malzemenin likit limitinin (LL) % 32'den az olduğu durumlarda sıvılaşmanın olası olduğu belirtmektedir. Kil muhtevası % 10'dan fazla ve likit limitinin % 32'den fazla olduğu durumlarda sıvılaşma olasılığının çok düşük olduğu ve bu iki uç arasında kalan zeminlerde sıvılaşabilirliğin belirlenmesi için test edilmesini önermektedir. Bu çalışma ile GÇK bir parça daha basitleşmiş ve standart malzeme tanımlarını kullandığı için daha yaygın kullanım görmüştür. Hem laboratuvar çalışmalarından hem de gerçek arazi davranışlarından anlaşıldığı üzere belli bir miktarın üzerindeki siltli ($\leq 0.074\text{mm}$; 200 No.lu eleği geçen malzeme miktarı) malzemenin varlığı, genel zemin davranışının bu ince daneli malzemelerin özellikleri tarafından belirlenmesi sonucunu doğurmuştur.

2.3.1.4 Seed ve diğ. (2003)

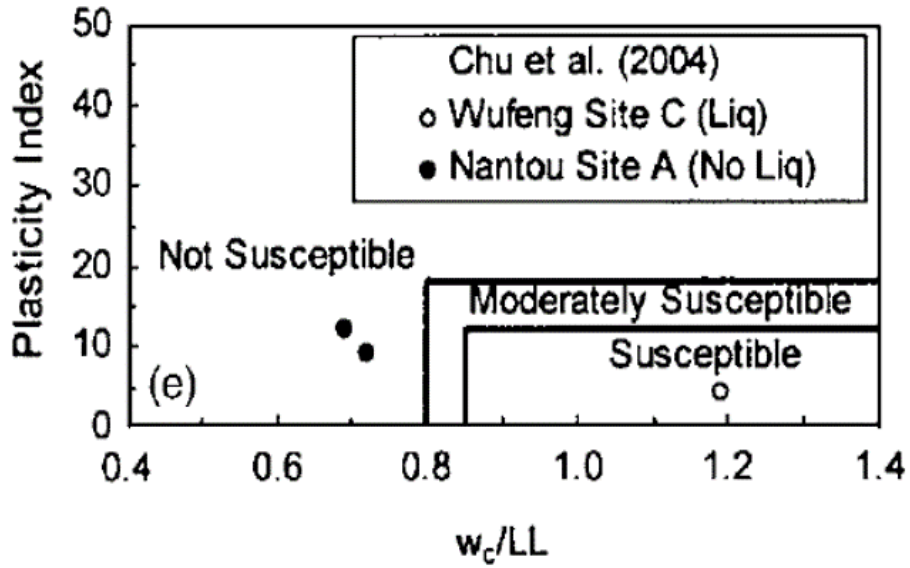
Araştırmacılar çalışmalarında deprem sonrası saha gözlemleri ve laboratuvar deneylerine dayanarak likit limit (LL), plastisite indeksi (PI) ve su içeriği ile likit limit oranına (w/LL) göre plastisite abağı üzerinde bir değerlendirme yöntemi sunmuşlardır. Ayrıca kil boyutu dane oranından ziyade zemin içerisindeki kil minerallerinin ve aktivilerinin davranış açısından daha önemli olduğu belirtmişlerdir. Sadece zeminin kil oranına bakılıp söz konusu özelliklere bakılmadığında sıvılaşabilen bir zemin sıvılaşmaz olarak nitelendirilebilir [14]. Çalışma sonuçları Şekil 2-17'de özetlenmiştir.



Şekil 2-17 Seed ve diğ. 2003 ince daneli zeminlerin değerlendirme abağı [16].

2.3.1.5 Bray ve Sancio (2006)

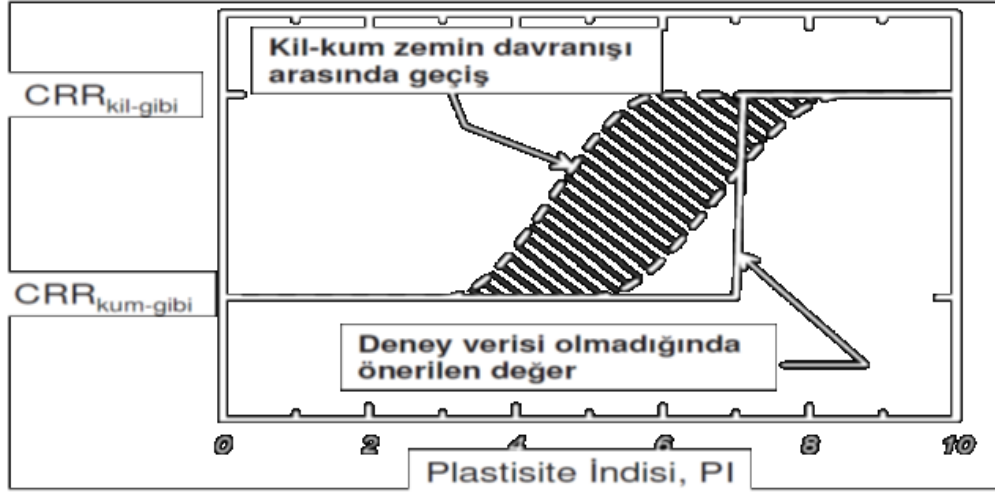
Adapazarı silt ve kil karışımları üzerinde yapılan üç eksenli tekrarlı deney sonuçları üzerine önerilmiştir. Bu çalışma sıvılaşılabirliği PI ve w_c/LL değerlerine göre tayin etmektedir. Önerilen kriterin, LL değerini kullanmaması ML, MH ve CL tipi (aynı PI değerine sahip olabilecek) zeminlerin davranışsal farklılıklarını yakalama şansını ortadan kaldırmıştır. Daha önemlisi ise, yazarların deney programlarını tamamen Adapazarı deprem ve saha koşulları üzerine kurmuşlardır. Çalışma sonuçları Şekil 2-18’de özetlenmiştir.



Şekil 2-18 Bray ve Sancio ince daneli zeminlerin değerlendirme abağı [21].

2.3.1.6 Boulanger ve Idriss (2006)

Laboratuvar deney sonuçlarına ve büyük ölçüde yazarların kendi mühendislik yargılarına bağlı olarak geliştirilen kriter diğer önemli çalışma olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışma kapsamında yazarlar, zeminlerin davranışını “kum” veya “kil” gibi şekilde sınıflandırmışlardır. “sıvılaşma” konseptini sadece “kum-gibi” davranan zeminlere atfederek, bu ayrım için de PI değerini kullanmayı uygun görmüşlerdir. Boulanger ve Idriss tarafından önerilen kriter Şekil 2-19 ile özetlenmiştir.

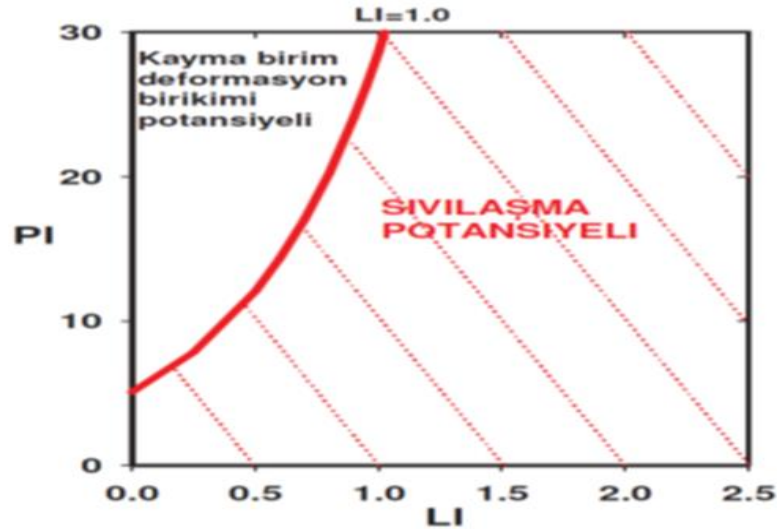


Şekil 2-19 . Boulanger ve Idriss ince daneli zeminlerin değerlendirme abağı [22].

2.3.1.7 Bilge (2010)

PI ve sıvılık indisine (LI) bağılı olarak sıvılaşılabirlik kriteri tanımlanmıştır [18]. Bu kriter gere, $PI < 30$ koşulunun sağlanmadığı zeminler doğrudan “sıvılaşmaz” olarak tanımlanıp sadece makaslama birim deformasyon birikimi problemi için tetkik yapılması önerilirken, PI değeri 30’dan küçük olan zeminler sıvılık indisinin (“liquidity index”) aşağıdaki koşulun sağlanması durumunda “sıvılaşılabir” olarak tanımlanmışlardır. Çalışmanın sonuçları Şekil 2-20’ de özetlenmiştir.

$$LI^3 = 0.578 \times \ln(PI) - 0.940 \quad (2-1)$$

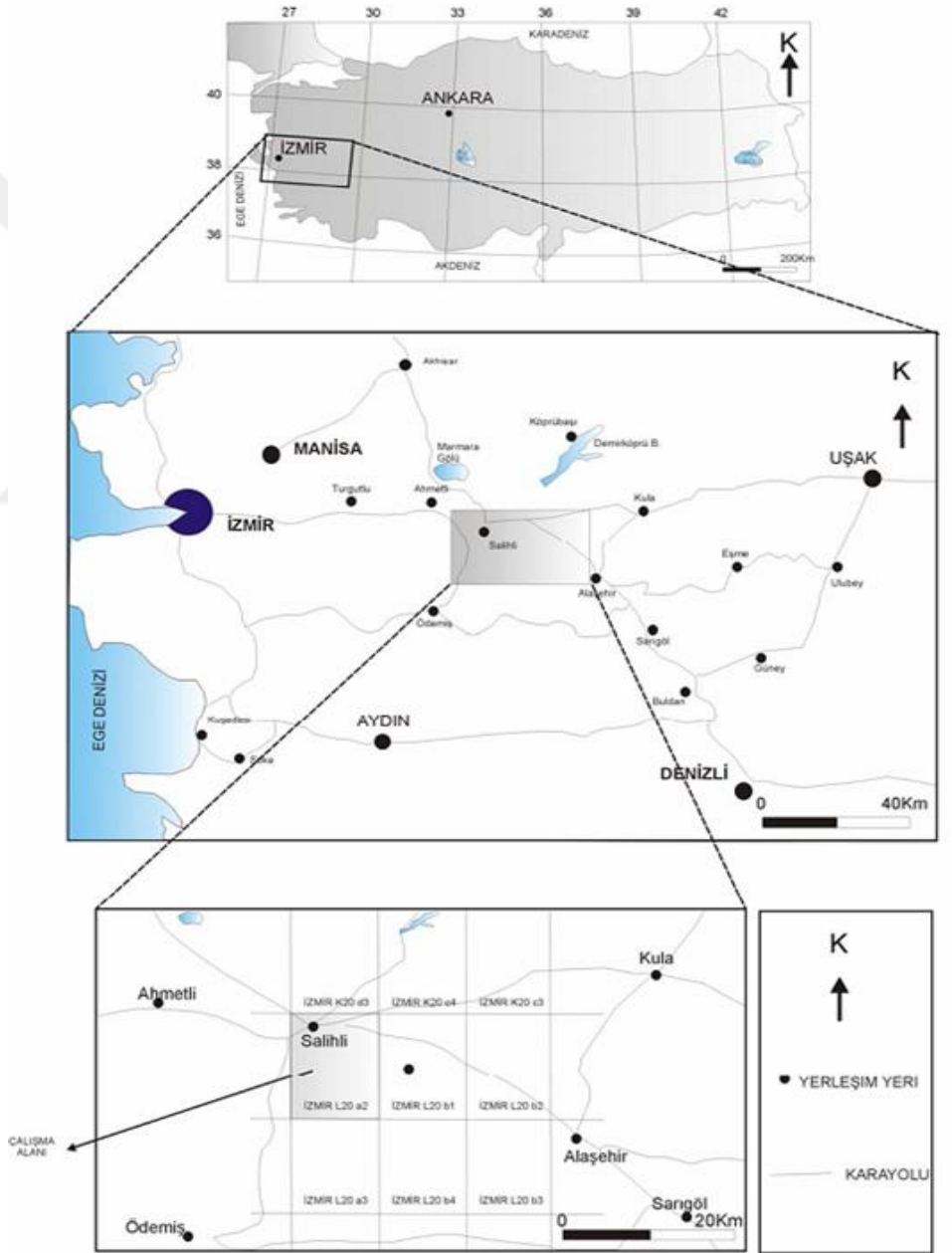


Şekil 2-20 Bilge tarafından önerilen değerlendirme abağı [23].

3 MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Salihli Şehri İle İlgili Genel Bilgi

Salihli ilçe merkezi tarihsel dönemlerden günümüze kadar ulaşım ve ticaretin merkezinde bulunmuştur. Konum olarak izmir'e 96km, Denizli'ye 138km ve Uşak iline ise 120km uzaklıkta bulunmaktadır. İnceleme alanı yer bulduru haritası Şekil 3-1' de gösterilmektedir.



Şekil 3-1 İnceleme alanının yerbulduru haritası

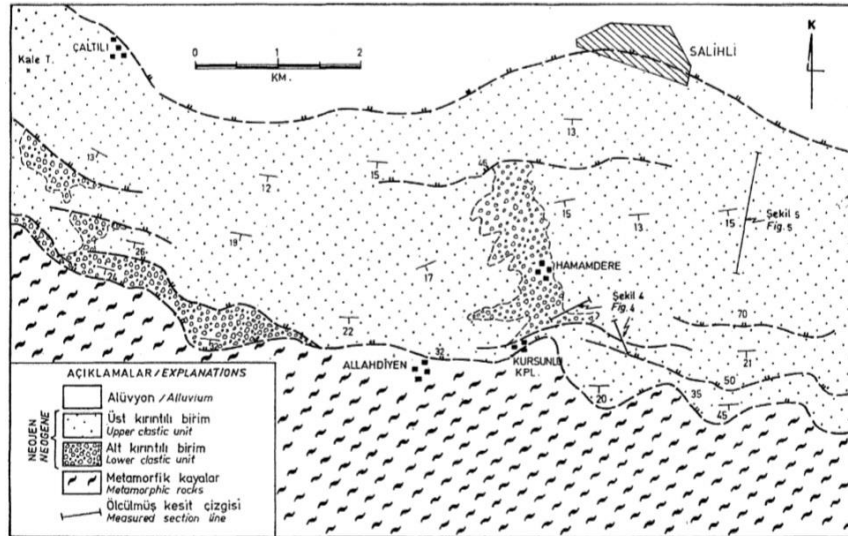
3.1.1 Sosyo-Ekonomik Bilgiler

Salihli Manisa iline bağlı bir ilçedir. Yüzölçümü 1302 kilometrekare, 2014 yılı TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemine göre nüfusu 156.861'dir. İlçe ekonomisinde, tarım ve tarıma dayalı ticaret ve sanayi ağırlıktadır. Kent toplamda 102 mahalleden oluşmakta, ağırlıklı olarak merkez 25 mahalle nüfusun büyük bölümünü barındırmaktadır. Yeraltı suyu kaynakları açısından hem sıcak hemde soğuk su rezervlerine sahiptir. İlçe merkezinde jeotermal enerji ile merkezi ısıtma yapılmakta, ayrıca jeotermal enerji ile sera ısıtmacılığı ve elektrik üretimi yapılmaktadır.

3.2 Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi

3.2.1 Jeoloji

Gediz Grabeni, Menderes Masifinin kuzeyinde, Kemalpaşa - Sarıgöl arasında uzanan, D-B gidişli ve güneye içbükey olan 140 km uzunluktaki çöküntü havzasıdır. Bu çöküntü havzası, Sarıgöl-Salihli arasında morfolojik olarak çok belirgin olmakla beraber havzayı sınırlayan faylar, temel kayaç olan metamorfikleri, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökelleri kesmektedir [25].İnceleme alanına ait jeoloji haritası Şekil 3-2 de gösterilmektedir.



Şekil 3-2 İnceleme alanı ve jeoloji haritası [25].

3.2.2 Jeolojik Birimleri

Çalışma alanı ve yakın çevresinde dağılım gösteren kaya birimlerini başlıca üç grup içinde toplamak mümkündür. Bunlar alttan üste doğru,

- I. Metamorfik temel kayaları,
- II. Neojen yaşlı birimler
- III. Yamaç molozları ve Alüvyonlardır.

Metamorfik Temel Kayaları

Salihli'nin güneyinde Bozdağ yükseltisini meydana getiren ve Menderes Masifine ait olan metamorfik temel kayaları başlıca gnays, mikaşist, mermer, fillit, arduvaz ve kuvars- şistler ile yersel olarak bunları kesen granitlerden yapıldır. Gnayslar ve bunlara eşlik eden yüksek dereceli metamorfikler, Menderes Masifinin çekirdek bölgesinde yayılım gösterirler. Buna karşın, mikaşist, mermer, fillit ve arduvaz gibi düşük dereceli metamorfik kayalar, daha çok masifin üst bölümünde yer alır.

Neojen Yaşlı Birimler

Salihli güneyinde yer alan ve büyük bölümü ile kaba kırıntılı tortullardan oluşan Neojen istif, Yağmurlu [24] tarafından alt ve üst kırıntılı birim olmak üzere iki farklı birime ayrılmıştır.

Güncel alüvyonlar(Qal)

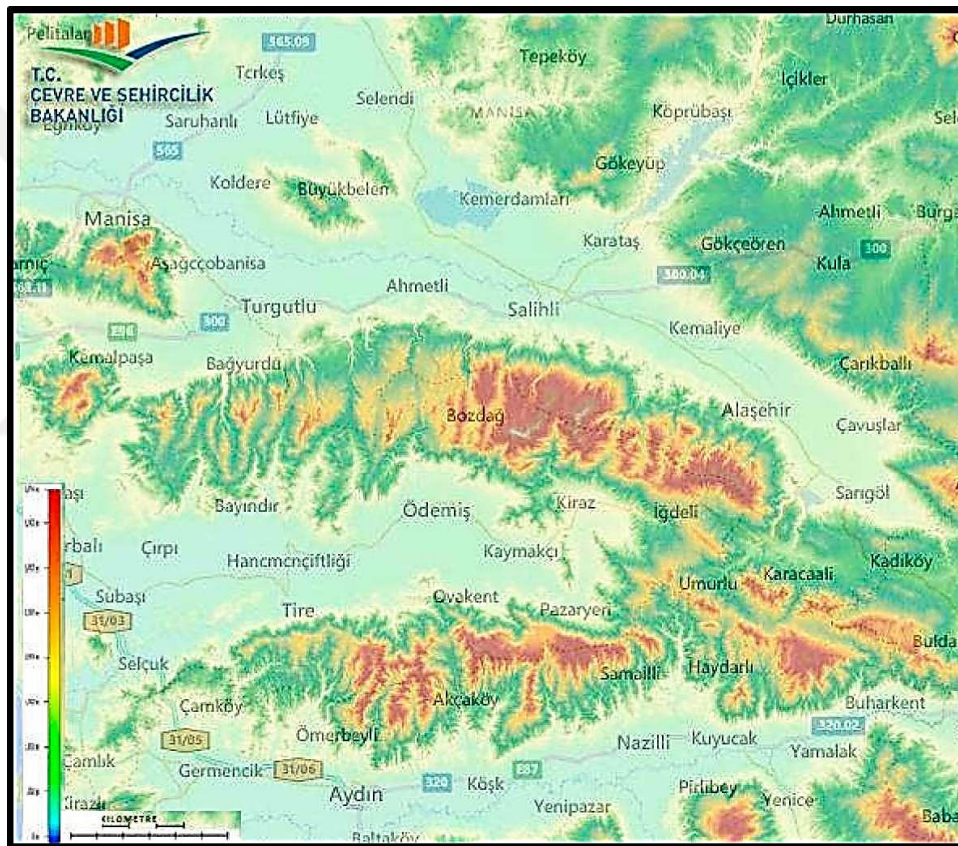
Kuvarterner yaşlı alüvyonlar Graben havzasında geniş yayılım gösterir. Yamaç molozları, büyük bölümü ile altta bulunan Neojen yaşlı kırıntılı tortulların yeniden aşınıp işlenmesi ile oluşan zayıf pekleşmiş ve kötü boylanmalı çakıllı çamurtaşı, çamurtaşı ve çakıltaşı ara katkılarından oluşur. Yamaç molozları ve bunlara eşlik eden alüvyal ve kolüvyal oluşuklar, altta bulunan Neojen yaşlı kırıntılı birimlere ait tabakaları aşınmalı uyumsuz bir dokanakla üstler.

Yamaç molozu ve kolüvyal oluşukların alttaki Neojen yaşlı kırıntılı birimler ile olan dokanak özellikleri, Gaffar Okkan ile Çukuroba Mahalleleri arasında daha

önceden açılmış olan yarmalarda ve çalışma alanında açılmış olan hendeklerde açık olarak gözlenir. Alüvyon çalışma alanı içerisinde yer alan dere yatakları içinde ve Salihli ovasını meydana getiren düzlüklerde geniş yayılım gösterir.

3.2.3 Jeomorfoloji

Salihli ilçesi, güneyinde Bozdağlar Silsilesi (2.157 m), kuzeyinde Gediz Ovası ile kaplı olup, ovanın kuzeyinde Dibek Dağları (1.120 m), kuzeydoğusunda Üşümüş Dağları (2095 m) bulunmaktadır. Salihli ve çevresine ait topografik rölyef görüntüsü Şekil 3-3'de görülmektedir.



Şekil 3-3 Salihli (Manisa) ve çevresine ait topografik rölyef haritası [26].

3.2.3.1 Diri Faylar

Ege güncel morfolojik yapısı, genellikle simetrik yapı özelliği gösteren yaklaşık DB uzanımlı graben sistemleriyle biçimlendirilmiştir. Belirtilen graben sistemleri, birbirine koşut olarak dizilmiş irili ufaklı çöküntü alanlardan meydana gelmiştir. Bunlar kuzeyden güneye doğru Simav, Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes

ve Büyük Menderes grabenleri şeklinde dizilim göstermektedir. Gediz Grabeni, yaklaşık 200 km ye ulaşan uzunluğu ile Ege Graben sisteminin en önemli çöküntü alanlarından birini oluşturur. Salihli güneyinde Neojen tortulların yayılım gösterdiği alanlar, derin açılmış dereler ve dik falezlerin gözlemlendiği oldukça sarp ve genç bir topografya sunar. Hızlı aşınmayı yansıtan bu yükseltiler, olasılıkla günümüz aktif olan genç fayların meydana getirdiği basamaklı bir yapı özelliği gösterir. Menderes masifine ait metamorfik kayaların yayılım gösterdiği alanlar, 2500 m yüksekliğe ulaşan D-B uzanımlı Bozdağ silsilesini meydana getirmektedir.

Bölgedeki kırıntılı tortulların metamorfik temel kayaları ile olan dokanağı çoğu yerde faylıdır. Faya yakın kesimlerde tortul kalınlaşması, katmanların temele doğru eğimlenmesi, sıcak ve soğuk su kaynakları ve metamorfik kayalarda gözlenen birleşmeler olağandır.

3.2.3.2 Gediz Grabeni Diri Fayları

Menderes masifinin kuzeyine karşılık gelen Kemalpaşa-Sarıgöl arasında 140 km uzunluğunda kabaca D-B uzanımlı ve güneye içbükey olan bir çöküntü havzası yer almaktadır. Kenarları normal faylarla sınırlı olan bu çöküntü havzası graben özelliğinde olup, Gediz Grabeni olarak adlandırılmıştır. Doğu ucunda daralarak sonlanan, buna karşılık batı bölümünün Morfolojik sınırlarını çizmenin zor olduğu bu alanda, Graben yapısı özellikle, Sarıgöl-Salihli arasında belirgindir. Grabeni çevreleyen yüksek bölümleri oluşturan metamorfikler gnays, mermer, kuvarsit ve şistlerden oluşur. Grabeni sınırlandıran faylardan bazıları bu metamorfik temel kayalarla miyosen, pliyosen ve Kuvarterner yaşlı, çökel kayalar arasında dokanak oluşturmuştur. Genelde grabenin kenarlarında yüzeylenen üst miyosen, yaşlı kireçtaşı, konglomera ve kumtaşları, pliyosen yaşlı kumtaşı ve kireçtaşlarının oluşturduğu kayalarla tutturulmamış detritiklerden oluşan, Kuvarterner çökelleri graben fayları tarafından kesilmiştir.

Gediz grabeninin kuzeyden sınırlayan fayların izlenebilen en batı ucu Marmara Gölü KD suna da, kuzeyden güneye doğru, kabaca birbirine paralel 4 fay görülmektedir. En kuzeyde yer alan yaklaşık 9 km uzunluğundaki fay Menderes Masifi metamorfikleri içerisinde izlenir ve Pliyosen yaşlı aşınım yüzeylerini keser. KB-GD doğrultusundadır ve aşınım yüzeylerini güneye doğru basamaklandırmıştır.

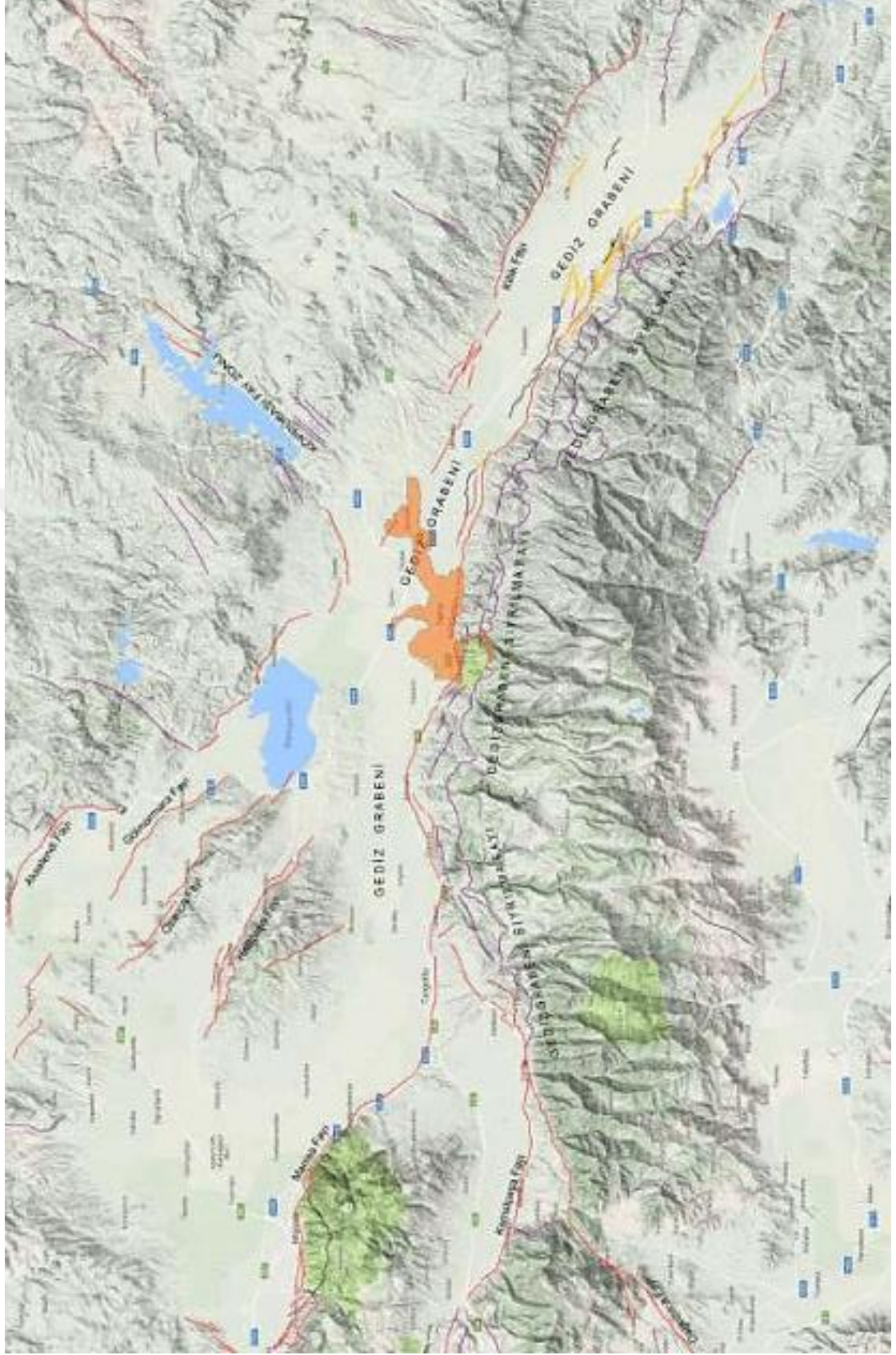
Bu fayın güneyinde 10 km uzunluğunda ve K64B genel doğrultulu 2. bir fay yer alır. Bu fay batıda metamorfiklerle Pleyistosen (1,7-0.01 milyon yıl) yaşlı kayalar arasında dokanak oluşturur. Doğu bölümünde tamamen metamorfikler içerisinde uzanır ve Kırdamları yöresinde son bulur. Daha güneyde yer alan diğer fay ise Yağbasan - Sarısığırlı köyleri arasında uzanır. Yaklaşık 28 km uzunluğunda, güney doğrultusu KB-GD olan bu fay, güneye hafif kavislidir. Metamorfiklerle Pliyo-Kuvarterner (5 milyon yıl-günümüz) yaşlı kayaları birbirinden ayırmaktadır. Fayın 1-2 m'lik düşey atımı gözlenmiştir. Bu fay ve güneyinde yer alan yaklaşık 15 km uzunluğundaki diğer bir fay Villafrankiyen (4,5-1,0 milyon yıl) yaşlı aşınım yüzeylerini basamaklandırmıştır. Kemerdamları köyünden geçen bu fay genç alüvyon yelpazelerini etkilemiştir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında MTA tarafından hazırlanan Salihli ve çevresine ait aktif fay haritası Şekil 3-4'de gösterilmektedir.

Sismik sebepli zemin sıvılaşma hesaplarının ilk aşaması sıvılaşmanın olabilirliğinin sayısal yöntemlerle belirlenmesidir. Bu amaca yönelik iki yöntem vardır:

- 1) Örselenmemiş numunelerin laboratuvar ortamında test edilmesi,
- 2) Arazi davranışları ile "index" test parametlerine dayalı deneysel bağıntıların kullanılması.

Laboratuvar testlerinin kullanılması numune alımı ve numunenin arazideki gerilmelere konsolidasyonu sırasındaki örselenmeler sebebiyle oldukça zordur. Tekrarlı basit kayma testi her ne kadar arazide oluşan sismik yükleri en iyi modelleyebilen test olsa da her projede uygulanabilirliği testin zor ve pahalı olması bakımından kısıtlıdır. Üç eksenli dinamik testlerin uygulanabilirliği hem sismik arazi yüklerini iyi modelleyememesi, hem de zor ve pahalı olmaları bakımından kısıtlıdır. Örselenme sorunları, dondurularak örnekleme yöntemleri ile alınan numuneler üzerinde tekrarlı basit kayma ya da bükmeli kayma testlerinin uygulanması ile aşılabilir. Ancak deneylerin zorluğu ve ekonomik olmamaları gibi sebepler, bu narin laboratuvar yöntemlerinin tipik mühendislik uygulamalarında kullanımlarını kısıtlar.



Şekil 3-4 Salihli ve çevresindeki aktif fay hatları haritası [27].

Bilindiği üzere arazi testlerinin kullanımı mühendislik uygulamalarında oldukça yaygındır. 1964 yılında meydana gelen Alaska ve Niigata depremlerinden sonra Seed ve Idriss [28] tarafından, deprem yüklemeleri sırasında zeminlerin sıvılaşmaya direncini içeren basitleştirilmiş yöntem yayınlanmıştır.

Bu yöntemde zeminlerin sıvılaşma direncini hesaplamak için iki değişken tanımlanmıştır. Bir tasarım depreminin yol açtığı yer hareketinin etkisi çevrimsel kayma gerilme oranı, CSR (Cyclic Stress Ratio), zeminin bu etkiye karşı tepkisi olan çevrimsel direnç kapasitesi, CRR (Cyclic Resistant Ratio), tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu hesaplanan CRR, CSR değerlerinin oranının (CRR/CSR) 1 den küçük olması durumunda sıvılaşma olayı meydana gelmektedir.

3.2.4 Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR) Değerinin Hesaplanması:

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times r_d \quad (3-2)$$

a_{max} : Yüzeyde pik yatay yer ivmesi(m/s²)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

σ_v : Toplam düşey zemin gerilmesi (kPa)

σ'_v : Efektif düşey zemin gerilmesi (kPa)

r_d : Zeminin esnek yapısının dikkate alınması amacıyla gerilme azaltma katsayısı

M_w : Tasarım Deprem Büyüklüğü

d : İlgili zemin tabakasının yüzeyden derinliği (m)

V_s : Kayma Dalgası Hızı ($V_s=61,4 \times N^{0.50}$)

r_d 'nin tahmini için değişik araştırmacıların sunduğu bazı denklemler bulunmaktadır. Seed ve Idriss (12) rutin pratik uygulamalar ve kritik olmayan projeler için aşağıdaki basit bağıntıyı önermiştir:

eğer $z < 9.15m \Rightarrow r_d = 1 - 0.00765z$

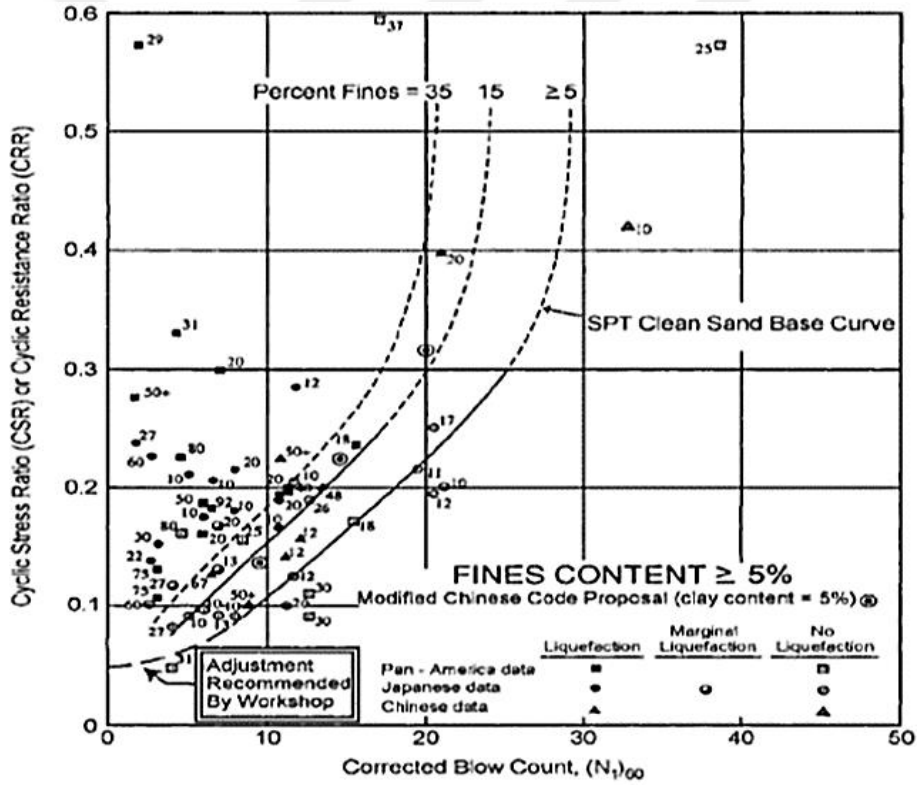
eğer $z = 9.15 - 23 m \Rightarrow r_d = 1.174 - 0.0267z$

Derinliğe bağlı azaltma faktörü için Blake denklem 3-3'ü önermiştir [28].

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.41113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (3-3)$$

Benzer biçimde Idriss ve Boulanger 'da [28] çalışmalarında denklem 3-4'ü önermişlerdir:

$$\begin{aligned} \ln(r_d) &= \alpha(z) + \beta(z)M \\ \alpha(z) &= -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73}\right) + 5.133 \\ \beta(z) &= 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28}\right) + 5.142 \end{aligned} \quad (3-4)$$



Şekil 3-5 Düzeltilmiş SPT değeri-çevrimsel mukavemet oranı arasındaki ilişki [28]

Denklem 3-2, (N₁)₆₀ değerinin 30'dan küçük olduğu durumlar için geçerlidir. (N₁)₆₀ değeri 30'dan büyük ise, iri daneli ve temiz zeminlerin sıvılaşmayacak kadar sıkı olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca araştırmacılar %5'ten fazla ince dane içeren iri daneli zeminlerde ince dane düzeltmesinin yapılmasının gerektiğini

belirtmektedirler. Buna göre denklemlerde $(N_1)_{60}$ değeri yerine $(N_1)_{60CS}$ değeri alınmalıdır.

Burada; $(N_1)_{60}$: SPT deneyini etkileyen tüm faktörler dikkate alınarak düzeltilmiş darbe sayısı

$$N_{1,60} = N' \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (3-5)$$

Formül (3-5) içerisinde bulunan düzeltme katsayılarının açıklamaları Tablo 3-1'de belirtilmiştir.

Tablo 3-1 SPT N_{60} değeri için düzeltme katsayıları açıklamaları.

$N' = 15 + \frac{N - 15}{2}$	YAS altında ve siltli, ince kumlu zeminlerde SPT darbe sayısının düzeltilmiş değeri (15'ten büyük ham darbe sayılarına uygulanır)N : Arazide yapılan düzeltilmemiş SPT N Değeri
$C_N = \frac{2.2}{1.20 + \frac{\sigma_v}{101}}$	SPT yapılan derinlikteki efektif düşey zemin gerilmesinin, referans gerilme olarak kabul edilen 1 atmosfere (101 kPa) normalize edilmesi amacıyla uygulanan düzeltme katsayısı
$C_E = \frac{ER}{\%60}$	SPT şahmerdanın standart enerji verimi oranı %60'tır. Şahmerdan enerji veriminin farklı olması halinde uygulanması gereken düzeltme katsayısı. ER: Şahmerdan enerji verim oranı (Burada %45 kabul edilmiştir.
$C_B = 1$	Sondaj delgi çapının standarttan (6,5 cm-11,5 cm) farklı olması halinde uygulanan düzeltme katsayısı (Burada delgi çapı 8,6 cm olduğundan $C_B = 1$ alınmıştır.)
C_R	Tij uzunluğuna göre 0.75- 1 arasında değişen düzeltme katsayısı
C_S	Standart olmayan numune alıcı için düzeltme katsayısı ($1.1 \leq C_S \leq 1.3$)

$(N_1)_{60CS}$: Zeminin ince tane içeriğine göre düzeltilmiş SPT darbe sayısını ifade etmektedir. İnce dane oranı için önerilen düzeltme katsayıları Tablo 3-2 de gösterilmiştir.

$$N_{1,60cs} = \alpha + \beta(N_{1,60}) \quad (3-6)$$

Tablo 3-2 İnce dane oranı için önerilen düzeltme katsayıları

$\alpha=0$ N	FC≤%5 için
$\alpha = \exp\left[-\frac{1}{100} \left(1.76 - \frac{190}{FC}\right)^2\right]$	(%5 FC %35 için)
$\alpha=5$	(FC %35 için)
$\beta=1$	(FC %5 için)
$\beta = (0,99 + (FC^{1,5} / 1000))$	(%5 FC %35 için)
$\beta= 1,2$	(FC %35 için)

3.2.5 Deprem Büyüklüğü Düzeltmeleri: (MSF)

Farklı büyüklükteki depremler için CRR değerinin MSF katsayısı ile düzeltilmesi gereklidir. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen deprem büyüklüğü düzeltme faktörleri, farklı büyüklükteki depremler için hesaplanmış olup tablo 3-3'de verilmiştir.

Görüldüğü üzere katsayılar arasında yöntem çeşitliliklerinden kaynaklanan farklılıklar gözükmemektedir. Şekil 3-6'da deprem büyüklüğü ile deprem büyüklüğü düzeltme faktörü arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için NCEER [5] çalışma grubu tarafından bağıntı 3-7 önerilmiştir.

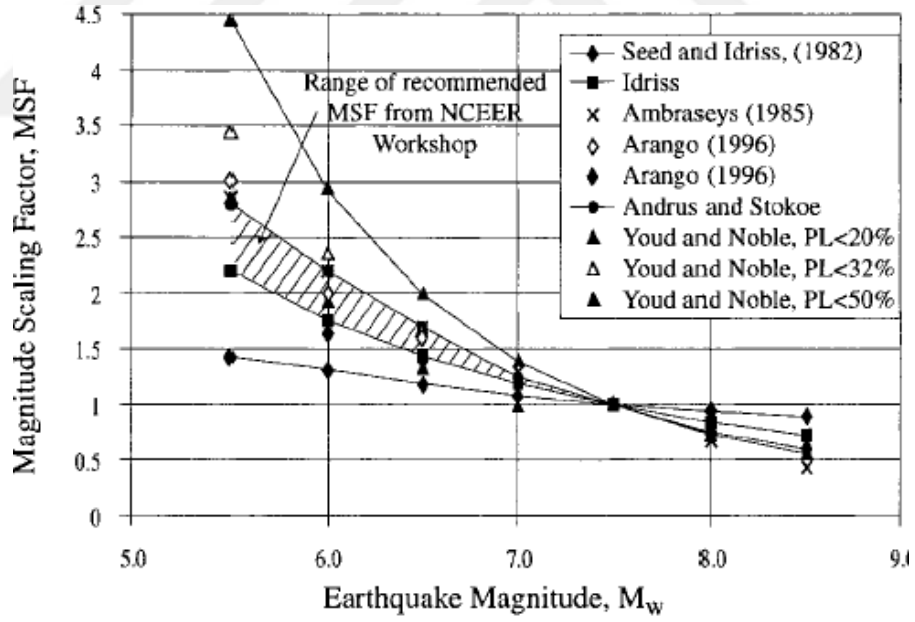
Tablo 3-3 Çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanmış deprem büyüklüğü düzeltme katsayıları [5]

Magnitude, <i>M</i>	Seed and Idriss (1982)		Ambraseys (1988)	Arango (1996)		Andrus and Stokoe (1997)	Youd and Noble (1997b)		
	Idriss	Idriss ²		Distance based	Energy based		$P_L < 20\%$	$P_L < 32\%$	$P_L < 50\%$
5.5	1.43	2.20	2.86	3.00	2.20	2.8	2.86	3.42	4.44
6.0	1.32	1.76	2.20	2.00	1.65	2.1	1.93	2.35	2.92
6.5	1.19	1.44	1.69	1.60	1.40	1.6	1.34	1.66	1.99
7.0	1.08	1.19	1.30	1.25	1.10	1.25	1.00	1.20	1.39
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—	—	1.00
8.0	0.94	0.84	0.67	0.75	0.85	0.8?	—	—	0.73?
8.5	0.89	0.72	0.44	—	—	0.65?	—	—	0.56?

Note: ? = Very uncertain values.

²1995 Seed Memorial Lecture, University of California at Berkeley (I. M. Idriss, personal communication to T. L. Youd, 1997).

$$MSF = 10^{2.24} / M_W^{2.56} \quad (3-7)$$



Şekil 3-6 Deprem büyüklüğü ile düzeltme faktörü arasındaki ilişki [5]

3.2.6 Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik (Fs) Katsayısının Hesaplanması:

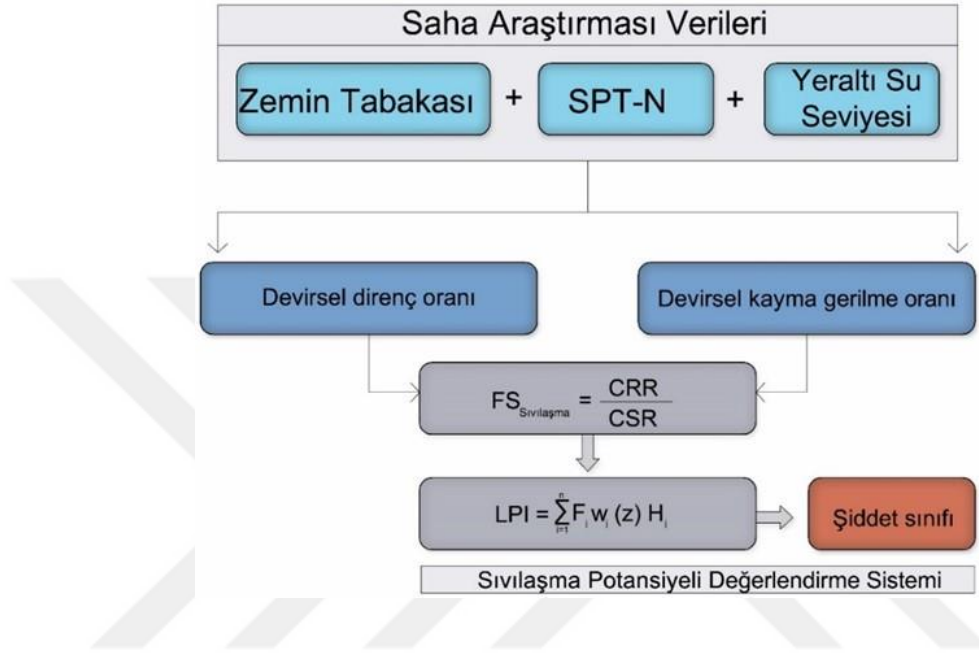
Standart penetrasyon deneyi verileri ile yapılan sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi sonucu elde edilen sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (Fs) bulunmuştur. Yapılan değerlendirme sonucunda Fs in değeri 1'den küçükse sıvılaşmaya karşı duyarlı, 1'den büyükse sıvılaşma yoktur kanısına varılır. Fakat 1'den biraz büyük değerlerde zeminde sıvılaşma olup olmayacağı konusunda karar vermek güçtür. Ayrıca Jeolojik ve sismolojik şartlar sıvılaşma analizi için gerekli verilerde bir miktar belirsizlik içerirler. Bu yüzden sınır denge şartı sıvılaşma irdelenmesi için uygun değildir. Literatürde bu zorluğun giderilmesi için çeşitli yaklaşımlar belirlenmiştir. Örneğin Seed ve Idriss [29] (Fs) değeri için 1,25-1.50 arasındaki değerlerin kabul edilebileceğini, Sönmez [30] tarafından önerilen yaklaşımda ise sınır değer aralıkları güvenlik katsayısına bağlı olarak aşağıdaki gibi önermişlerdir.

Eğer $FS \leq 0.95$ ise sıvılaşma var
Eğer $0.95 < FS \leq 1,2$ ise sıvılaşabilir
Eğer $FS > 1,2$ ise sıvılaşma yok

3.3 Sıvılaşma Potansiyel İndeksi (LPI)

Sıvılaşma tetikleme analizleri neticesinde zemin sıvılaşması beklenen alanların, depremler sırasında zeminlerden beklenen performans kriterlerinin karşılanıp karşılanmayacağı, deprem sonrasında zeminin fiziksel parametrelerinde ne gibi değişikliklerin olabileceği, üzerine ve içerisine yapılacak değişik mühendislik yapılarının hangi etkilere maruz kalabileceği ve yapılardan bu etkilere karşı beklenecek performansların tahmin edilmesinde sıvılaşma potansiyel haritaları önemli yer tutmaktadır. Sıvılaşma potansiyel haritaları, Power ve Holzer [31] tarafından sıvılaşma tehlike haritalarının 4 tipinden biri olarak değerlendirilir. Haritaların oluşturulmasına esas teşkil edecek hesap yöntemlerinden aşağıda bahsedilmiştir.

Iwasaki ve diğ. [32] tarafından yer yüzeyininin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilebilmesi için her tabakanın sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değerleri ve sıvılaşabilir tabaka kalınlığı ile orantılı bir indeks önermişlerdir. Esas olarak sıvılaşma potansiyel değerlendirme sistemine ilişkin işlem aşamaları şekil 3-7’de açıklanmıştır.



Şekil 3-7 Sıvılaşma potansiyeli değerlendirme sistemi

Araştırmacılara göre sıvılaşmanın büyüklüğü aşağıdaki etkenlerle orantılıdır;

- (a) Sıvılaşan tabaka kalınlığı;
- (b) Sıvılaşır tabakanın yüzeye olan yakınlığı;
- (c) Güvenlik Katsayısının (F_s) 1’den küçük olduğu miktar.

Burada F_s sıvılaşmaya karşı direncin deprem tarafından oluşturulan yüke oranını göstermektedir. Iwasaki ve diğ. [32]’nin önerdiği sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI) bağıntı 3-8’de ifade edilmektedir.

$$LPI = \int_0^{20\ m} Fw(z)dz \quad (3-8)$$

$$F(z) = 1 - FS \quad \text{for } FS < 1.0$$

$$F(z) = 0 \quad \text{for } FS \geq 1.0$$

$$W(z) = 10 - 0.5z \quad \text{for } z \leq 20\text{m}$$

$$W(z) = 0 \quad \text{for } z > 20\text{m}$$

Burada z derinlik (0-20m), dz derinlik artışı ve Fz ise güvenlik katsayısının fonksiyonu olan sıvılaşma şiddetini, w(z) ise ağırlıklı (ortalama) fonksiyonunu ifade etmektedir. Bir ağırlıklı ortalama fonksiyonu yüzeye daha yakın tabakalar için daha yüksek değerler vermekte, lineer olarak azalarak 20 m derinlikte sıfıra düşmektedir. Tablo 3-4’de LPI değeri için belirlenen sınır değerler belirtilmiştir.

Tablo 3-4 Sıvılaşma potansiyel indisine sınır değer aralıkları [32].

LPI	LPI=0	0<LPI<5	5<LPI<15	LPI>15
Sıvılaşmanın Riski	Az-yok	Küçük	Orta	Büyük

Sönmez [30] tarafından önerilen F_s eşik değerinin 1,20 olması durumu için önerilen LPI hesaplama denklemlerinde gerekli değişiklikler yapılmış ve önerilen değerler bağıntı 3-9 ile değiştirilmiş sıvılaşma potansiyel sınır değerleri Tablo 3-5’de belirtilmiştir.

$$F_s \geq 1.20 \text{ için } F = 0$$

$$1.20 > F_s > 0.95 \text{ için } F = 2 \times 10^6 e^{-18.427F_s} \quad (3-9)$$

$$F_s < 0.95 \text{ için } F = 1 - F_s$$

Tablo 3-5 Sıvılaşma Potansiyel İndeksi Risk Değerlendirilmesi [30].

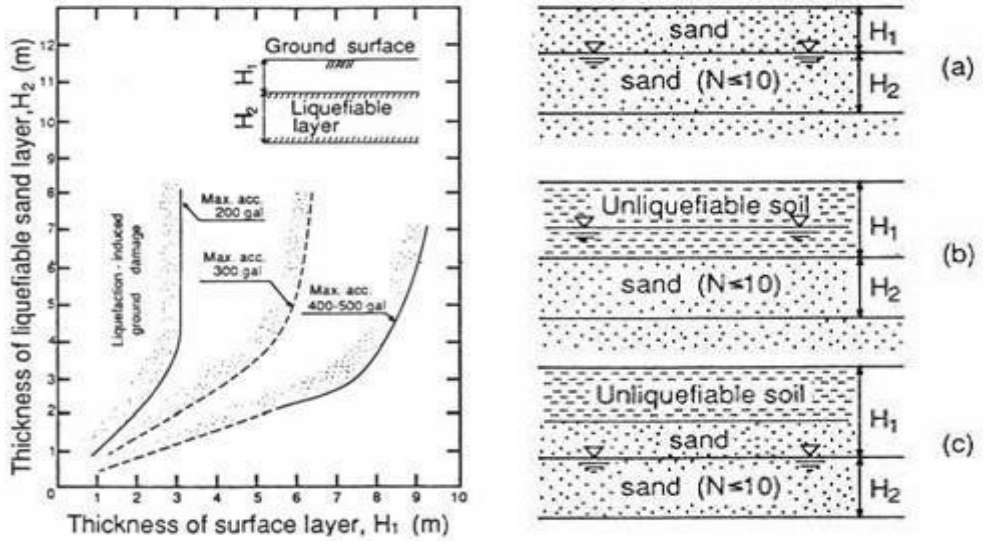
LPI	0	0<LPI≤2	2<LPI≤5	5<LPI≤15	LPI>15
Sıvılaşma Riski	Sıvılaşmaz	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek

Özocak ve Sert [33] ise 1999 Marmara depreminden sonraki gözlem ve çalışmalarında Adapazarı'nda sıvılaşma olayının üst 10 metrelik zemin profili içinde etkin olduğunu, 10 metrenin altında sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminlerin 7.4 büyüklüğündeki depremde zemin yüzeyinde sıvılaşma etkisi yaratmadıklarını ve sıvılaşma potansiyeli taşıyan zemin tabakaları zemin yüzeyine yakın derinliklerde yer alıyor ve bunun altında sıvılaşma potansiyeli taşımayan tabakalar mevcut ise 20 metrelik hesap sonucu sıvılaşma değerlendirmesi için kullanılacak LPI değerini gerçekten küçük verdiğini belirterek, LPI analizinde 10 metre derinlik için analizin yeterli ve daha gerçekçi olduğu görüşünü getirmişler ve 3-10, 3-11 bağıntılarını önermişlerdir.

$$LPI = \int_0^{10\text{ m}} Fw(z)dz \quad (3-10)$$

$$w(z)=20-0.5z \quad (3-11)$$

Yukarıdaki öneriyi destekleyen bir çalışma olarak Ishihara [34] tarafından önerilen sıvılaşma gözlenenebilecek zemin türlerinde, farklı zemin ivme değerleri için değişik tabaka katman kalınlıklarının ve yer altı su seviye durumlarına göre sıvılaşır zeminlerin yüzeye olan etkileri için düzenlenen kılavuz Şekil 3-8 'de gösterilmiştir.

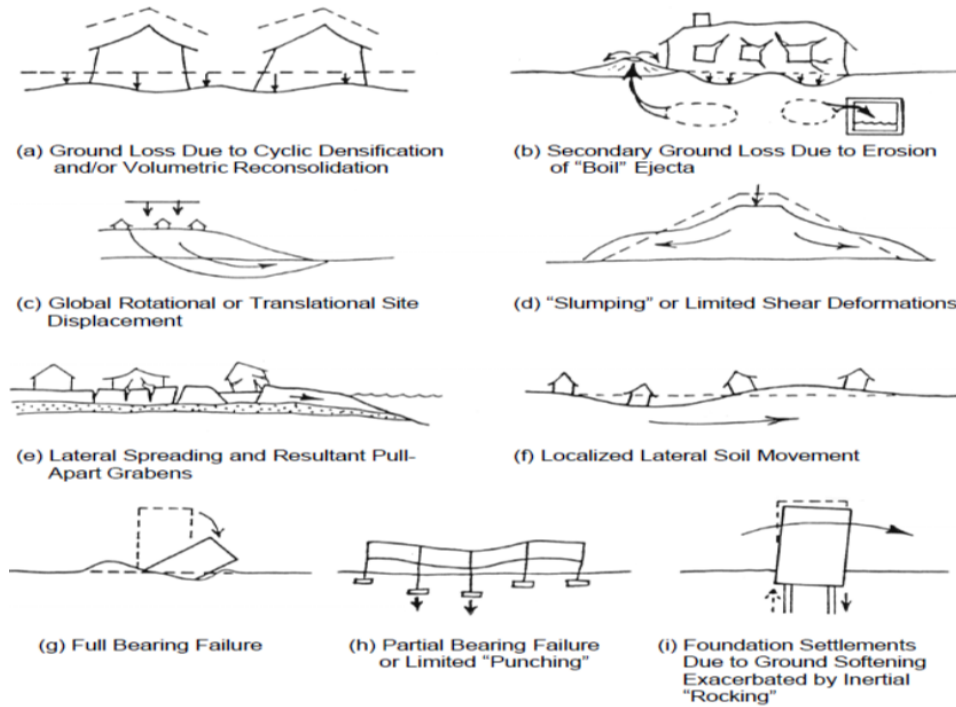


Şekil 3-8(a) Sıvılaşabilir katman kalınlığı ile üzerleyen katman kalınlığı arasındaki ilişki ve **(b)** katman kalınlıklarının değerlendirilmesi için kılavuz [34].

3.4 Zeminlerin Sismik Performansı

Günümüzde mühendislik uygulamalarının büyük bir hızla performans tabanlı yöntemlere doğru kaydığı görülmektedir. Sismik zemin davranışı açısından konu ele alındığında, incelenmesi gereken konular olarak mukavemet ve deformasyon performansları gündeme gelmektedir.

Zeminlerin sismik yükler etkisinde gösterecekleri deformasyon ve deplasmanların değerlendirilmesi, geoteknik deprem mühendisliği problemlerinin en zor konularından biri olarak gösterilmektedir. Buna karşın, mühendislerin en çok ihtiyaç duyabilecekleri bilgiler de muhtemelen bu değerlendirmeler sonrasında elde edilmektedir. İnşaa edilecek yapının önemine bağlı olarak, sıvılaşmanın tetiklenmesi ve 5 cm civarındaki deplasmanlar kimi zaman önemsiz olabilecekken (örneğin, sıradan binalar) kimi zaman da sıvılaşmanın tetiklenmediği ama milimetre mertebesindeki çok düşük genlikli deplasmanların, örneğin nükleer enerji santralleri gibi yapılar için çok büyük sorunlar yaratabileceği bilinmektedir. Sıvılaşma sonrası oluşan büyük yenilme mekanizmaları Şekil 3-9'de gösterilmiştir [16].

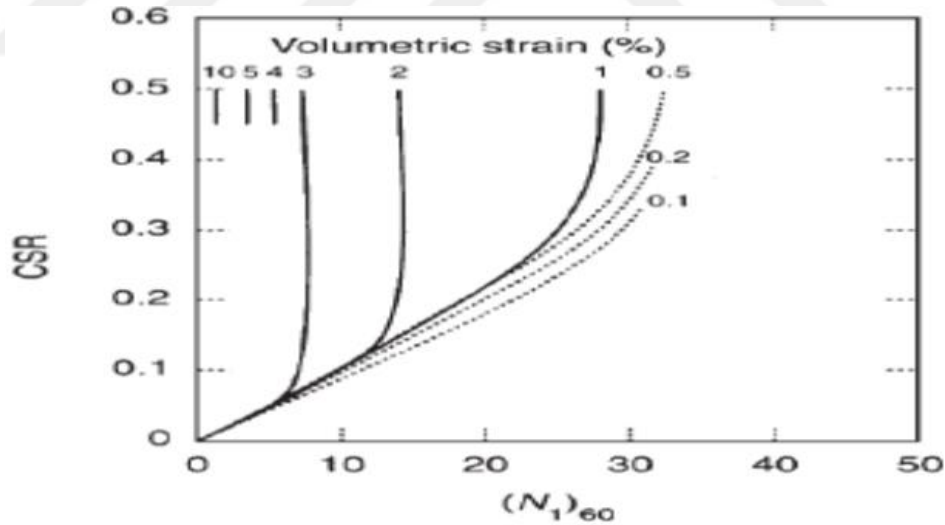


Şekil 3-9 Sıvılaşma nedeniyle oluşan yenilme mekanizmaları [16]

Değişik araştırmacılar tarafından önerilen sıvılaşmaya bağlı oturma hesaplama yöntemlerine aşağıda kısaca değinilmiştir.

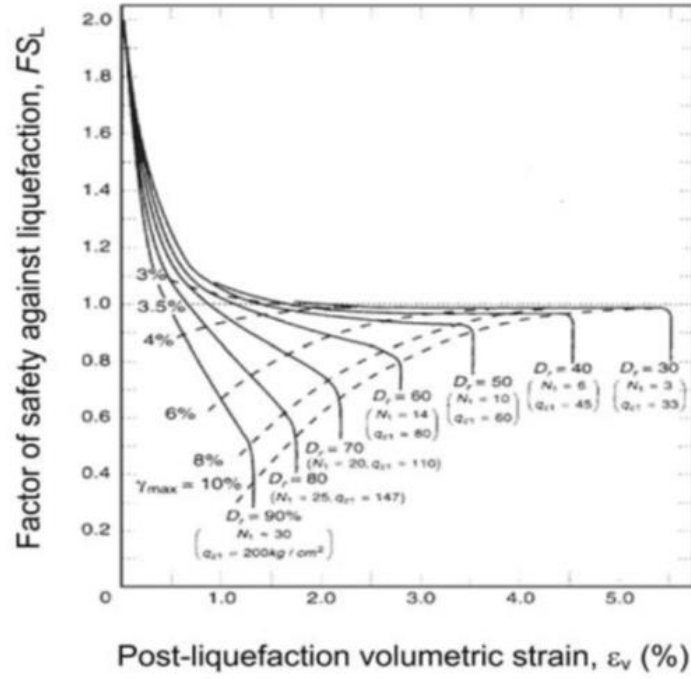
Tokimatsu ve Seed [35] geçmiş laboratuvar veri sonuçları yeniden gözden geçirmiş, sıvılaşma sonrası hacimsel deformasyonların relatif sıkılık ve pik kayma deformasyonları ile ilişkili olduğunu göstermişler ve bağıntı 3-12'yi önermişlerdir. SPT deney sonuçlarına bağlı sıkılık ile çevrimsel gerilme oranının pik kayma deformasyonu arasında $(N_1)_{60}$ ile CSR arasında hacimsel deformasyonları veren bir eğri geliştirmişlerdir. Şekilden görüleceği üzere kuvvetli titreşim düzeyleri için zeminde sınırlı hacimsel değişiklikler görülür. Tokimatsu ve Seed [35] zemin yüzeyindeki oturmaların hesaplanması için sıvılaşabilir tabakaların yol açtığı derinlikteki deformasyon birleştirerek geliştirilen hesap yöntemi Şekil 3-10'da gösterilmiştir.

$$\Delta H = \int \varepsilon_v dz \quad (3-12)$$



Şekil 3-10 SPT ve CSR değerlerine bağlı olarak hacimsel değişim abağı [35].

Ishihara ve Yoshimine [36] sıvılaşma sonrası oturmaların hesaplanması için benzer bir yöntem geliştirmişlerdir. Burada zemindeki hacimsel deformasyonu belirlemek için sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı ile zeminin yoğunluğu arasında bir bağıntı elde edilmiştir. Yöntem için geliştirilen tasarım abağı Şekil 3-11'de gösterilmiştir.



Şekil 3-11 Güvenlik Katsayısı ve zeminin sıklık değerine bağlı sıvılaşma sonrası hacimsel değişim tasarım abağı [36].

Shomoto ve diğ. [37] maksimum rezidüel hacimsel deformasyonlarını $(E_{vr})_{max}$ tanımlamak için temel zemin mekaniği ilkelerini kullanmıştır ve başlangıç yoğunluğu (SPT direnç değerine ince tane düzeltmesi uygulanmış) ile CSR arasında bir fonksiyon geliştirmiştir. Çalışmanın sonuçları Şekil 3-12’de gösterilmiştir.

$$(D_s)_{max} = \int (\varepsilon_{vr})_{max} dz \quad (3-13)$$

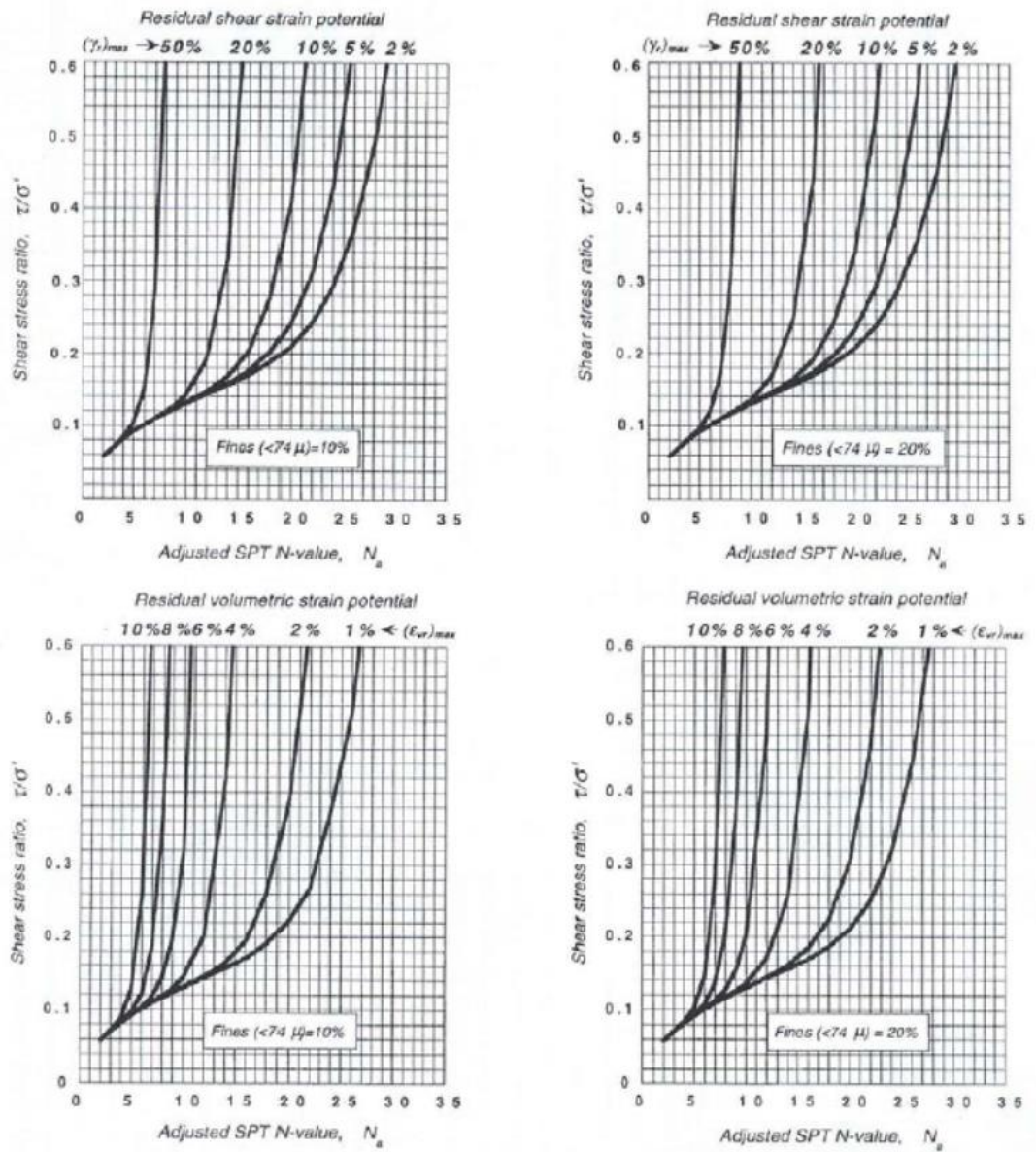
Bu formüle göre yapılan hesaplama sonucu bulunan oturma değerleri aşırı güvenli tarafta kalmıştır. Geçmiş deprem vakalarının incelenmesi neticesinde görülen oturmalar denklem (3-13)’e göre hesaplanan oturma değerinin yaklaşık %84’ü kadardır. Böylece Shamoto [37] 3-14 denklemi son halini aşağıdaki belirtilen şekilde revize etmiştir.

$$D_s = 0.84 \int (\varepsilon_{vr})_{max} dz \quad (3-14)$$

Shamoto yönteminde SPT direncide temiz kumlar için düzeltme faktörü için Na terimi kullanılmıştır,

$$N_a = N_1 + \Delta N_f, \quad (3-15)$$

	0	$FC \leq 5$
ΔN_f	FC-5	$5 < FC < 10$
	$0,10 * FC + 4$	$FC \geq 10$



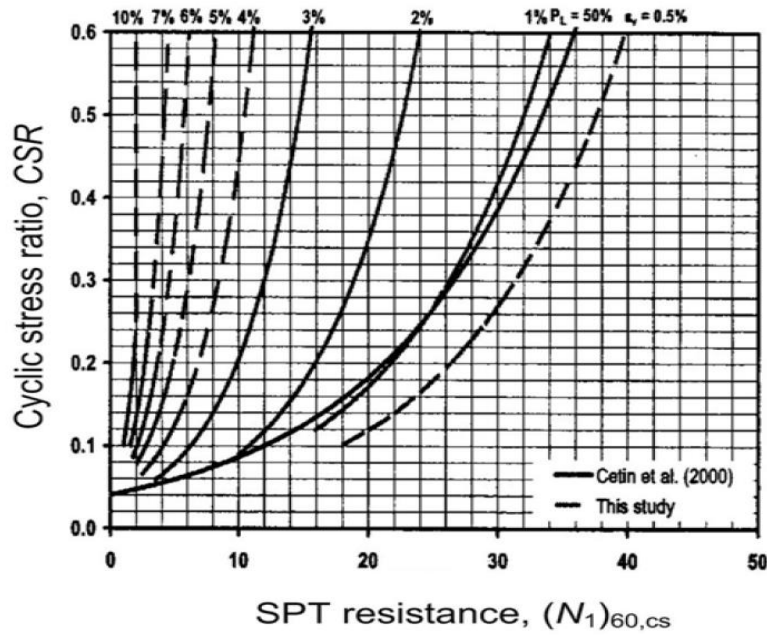
Şekil 3-12 Shamoto ve diğ. [37] tarafından geliştirilen rezidüel hacimsel deformasyon tasarım abakları

Ishihara ve Yoshimine [36] ve Shamoto vd. [37] tarafından önerilen yöntemlerin ikisinde de Japonyada uygulanan SPT deney prosedürü gereği SPT direnç sayısı $N_1 = 0,833 * (N_1)_{60}$ enerji düzeltme oranı uygulanmalıdır.

Wu ve Seed [38], Tokimatsu ve Seed [35] yöntemine benzer bir model geliştirmiştir. Basit çevrimsel kesme deneyi (tek bir kum üzerinde) sonuçları ile geçmiş deprem vakalarında elde edilen sonuçları kullanarak $(N_1)_{60cs}$, CSR ve hacimsel deformasyon arasında bir bağıntı geliştirmişlerdir.

SPT direnç değerleri için ince tane oranı düzeltmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermişler ve Şekil 3-16'daki tasarım abağını geliştirmişlerdir.

$$(N_1)_{60,cs} = \begin{cases} (N_1)_{60} & FC \leq 5 \\ (N_1)_{60} \cdot \left[1 + 0.004FC + 0.05 \frac{FC}{(N_1)_{60}} \right] & 5 < FC < 35 \\ (N_1)_{60} \cdot \left[1.14 + \frac{1.4}{(N_1)_{60}} \right] & FC \geq 35 \end{cases} \quad (3-16)$$



Şekil 3-13 SPT ile CSR değerlerine bağlı hacimsel deformasyon tasarım abağı [38].

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin hepsinde hesaplanan hacimsel değişim oranları herbir tabaka için tabaka kalınlığı ile çarpılarak beklenen oturma değerleri hesaplanır ve bulunan değerler toplanarak zemin tabakasının hesaplanan derinlik için toplam oturma değeri bulunur.

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n t_i \varepsilon_{v,i} \quad (3-17)$$

Burada n: tabaka sayısıdır.

Yer altı su seviyesi yüksek olan tipik bir sıvılaştırılabilir zeminin CSR değeri derinlikle azalır. Bu bilgi kohezyonsuz zeminin sıvılaştırılabilirliğinin artan derinlikle azaldığı bilgisi ile neden 15-20 m den daha derinlerde yüzeye etki yapabilecek sıvılaştırmanın gözlemlenmediğini açıklamaya yardımcı olur.

Tokimatsu ve Seed (1984) metodu ABD geoteknik uygulamalar için en çok kullanılan yöntem olup Ishihara ve Yoshimine (1992) yöntemi bunu takip etmektedir. İki daha yeni prosedür probleme daha detaylı laboratuvar deneylerinin sonuçlarını getirmektedir. Dört prosedürün hepsi oturmaları yaklaşık aynı hassasiyetle belirlemesine karşın, herbiri değişik vakalar için değişik yöntemle oturmaları tahmin etmektedir. Bazı vakalar için bazı prosedürler tarafından gözlenen oturmalarından daha fazla yada daha az oturma tahmin etmiştir. Dört prosedürün ortalamasını kullanarak tahmin hassasiyetini artırma potansiyeli vardır. Bu aynı zamanda dört prosedürün içerdiği laboratuvar testleri, vaka analiz veri tabanları ve hacimsel deformasyon modellerinin kazançlarından yararlanmayı ve oturma değerleri için daha doğru tahmin yapılmasını sağlar [39].

3.5 Sıvılaştırma Tehlike Haritaları

Sıvılaştırılan zemin alanlarında bulunan yapılar özellikle temel altlarında bulunan zeminlerin heterojen yapısı nedeniyle farklı yer hareketlerine maruz kalırlar. Yerleşim yerlerinin sismik tehlikeleri değerlendirmek için zemin sıvılaştırma olasılığının değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Deprem riski azaltma çalışmaları kapsamında sıvılaşma tehlike haritalarının kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. İlk olarak sadece akademisyenlerin özellikli araştırma konuları arasında yer almasına rağmen yerel yönetimler ve afetler ile mücadele eden kurumların sismik güvenlik planlarına dâhil olmaya başlamıştır. Sıvılaşma tehlike haritaları genel olarak sıvılaşma tehlikesinin jeolojik haritalarla karşılaştırılması sonucu elde edilir.

Sıvılaşmanın sınıflandırılması yapılırken Iwasaki tarafından önerilen ölçekler yaygın olarak kullanılmıştır. Bu sınıflandırmalar genellikle zeminlerin sıvılaşma hasar potansiyeli ihtimalini karakterize etmeye çalışır. Elde edilen haritaların kullanım alanlarından kısaca bahsedilmektedir.

Oluşturulan bu haritalar şehir yönetiminde, plancılar, mimar ve mühendisler, bina sahipleri yerel yönetimler, afetler ile mücadelede etkin bir şekilde kullanılabilir. Özellikle mühendislik yapılarının tasarımında yapı yapılacak alana özgü jeolojik ve geoteknik özelliklerin belirlenmesi, uygun zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi için bilgi sağlamaktadır. Kullanım alanlarında ilişkin bazı örnekler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Sıvılaşma duyarlılık haritaları deprem sarsıntılarının sonucu sıvılaşma olabilecek alanları tahmin etmemize yarar. Bina yapımında görev alan yetkililer ve inşaat mühendisleri yeni inşaat yapımı öncesinde ve yenilenecek binaların(güçlendirilecek binaların) tasarımında daha detaylı geoteknik çalışmalar gereken alanları belirleyebilirler. Acil durum yöneticileri kritik tesislerin ve yaşamsal önem taşıyan altyapı tesislerinin tehlikeli alanlarda kalıp kalmadığına karar verebilirler. Kurum ve kuruluşların tesis yöneticileri okullar da dahil olmak üzere kamu güvenliğini ent üst düzeye çıkarmak ve depremden kaynaklı hasar ve kayıpları en aza indirmek için alınabilecek önlemleri belirler ve yol haritası oluşturabilirler. Sigorta şirketleri göreceli sismik risklerin belirli olması sayesinde deprem risklerinin belirlenmesinde ve prim hesaplamalarında referans kabul edebilirler. Özel mülk alacak kişilerin satın alma eğilimlerini belirlemede kullanabilirler. Şehir plancıları yüksek risk içeren arazilerin kullanımını için uygun imar ve arazi kullanım önerileri geliştirebilirler.

4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Salihli Şehir Merkezi Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Salihli kent merkezine bağlı 25 adet merkez mahallesinin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi ve sıvılaşmaya bağlı zemin oturma değerlerinin hesaplanması için, belediye jeoloji birimi arşivinde bulunan 236 adet zemin edüt raporu ayrıntılı bir incelemeye tabi tutulmuştur. Raporların büyük bir çoğunluğunda zemin verilerinin elde edilmesi için SPT deney yöntemi kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde SPT deney sonuçlarına göre yaygın bir uygulama alanı olan NCEER yöntemi benimsenmiştir.

Bu yöntem kullanılan zemin etüd raporlarının sayısı dikkate alındığında çok sayıda matematiksel işlem gerektirmektedir. Bu sebeple işlemleri pratik bir şekilde yapabilmek için sıvılaşma analizi yazılımı kullanılmış ve programın kısa bir tanıtımı bir sonraki bölümde yapılmıştır.

4.1.1 Sıvılaşma Hesaplamalarında Kullanılan Yazılım

Sıvılaşma analizleri Geologosismiki firmasının LiqIT v.4.7.7.5 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Yaygın olarak kullanılan arazi deney (SPT, CPT ve Vs) verilerine dayalı olarak, zeminin sıvılaşma potansiyelini irdeleyen bir yazılımdır. Program girdi ve çıktı parametreleri Tablo 4-1 gösterilmiştir.

Tablo 4-1 Program girdi ve çıktı parametreleri.

PROGRAM GİRDİ PARAMETRELERİ	PROGRAM ÇIKTI PARAMETRELERİ
<ul style="list-style-type: none">- Proje başlığı- Proje alt başlığı- Kullanılan arazi deney türü- Yeraltı su seviyesi derinliği- Analiz tipi, deprem büyüklüğü- Analiz yöntemi- Maksimum yer ivmesi- Spt n30 değeri- Birim hacim ağırlık- İnce tane oranı- Spt tipi- Derinlik düzeltme faktörünün hesap yöntemi,- Güvenlik katsayısının değeri	<ul style="list-style-type: none">- Güvenlik katsayısı,- Sıvılaşma potansiyel indeksi- Oturma değeri

Program genel olarak 4 ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm jeolojik araştırmalar sonucu elde edilen zemin bilgilerinin programa aktarıldığı bölümdür. Burada arazide yapılan deney türüne (SPT, CPT ve V_s) göre deneyin yapıldığı derinlik, deneyden elde edilen sonuç, ince dane oranı yüzdesi ve tabaka kalınlık bilgileri, her bir sondaj noktası için proje başlığı oluşturularak veri hazırlanır.

Örnek zemin değişkenleri tablo 4-2 gösterilmektedir. Tablodaki değişkenler sırasıyla:

Derinlik (depth); zemin yüzeyi ile SPT deneyinin yapıldığı yer arasındaki düşey mesafe(m)

SPT N_{30} (Field N_{spt}) ; deney yapılan derinlik için elde edilen SPT değeri(vuruş sayısı/30 cm)

Birim hacim ağırlık (unit weights); Laboratuar deney sonuçları elde edilen değeri(kN/m³)

İnce tane oranı (fines content); % olarak 200 nolu elekten geçen miktarı temsil etmektedir.

Tablo 4-2 Örnek zemin değişkenleri

Point ID	Depth	Field Nspt	Unit weight	Fines content
	(m)	(blows/30)	(kN/m ³)	(%)
1	1.50	10.00	17.00	36.00
2	3.00	7.00	17.00	36.00
3	4.50	9.00	17.00	36.00
4	6.00	19.00	17.00	36.00
5	7.50	23.00	17.00	36.00
6	9.00	30.00	17.00	36.00

İkinci bölüm, sıvılaşma tetikleme analizi için gerekli olan hesaplama ölçütlerinin belirlendiği aşamadır. Burada ilk olarak etkin yer ivmesinin yerçekimi ivmesi cinsinden değeri, tasarım için deprem büyüklüğü ve yeraltısu seviyesinin zemin yüzeyinden uzaklığı belirtilir. Deprem büyüklüğü düzeltmesi için uygun düzeltme katsayısı seçilir, derinlik düzeltmesi için belirlenen düzeltme katsayısı seçilir, ksigma için düzeltme katsayısı belirlenir. Sıvılaşma tetikleme analizi için güvenlik katsayısı belirlenir ve analizin yapılacağı maksimum derinlik belirlenir.

Üçüncü bölümde hesap yönetmi olarak SPT, CPT ve Vs arazi deney sonuçlarını kullanarak deterministik ve istatistiksel hesap yöntemlerini kullanarak sıvılaşma potansiyeli aşağıda belirtilen hesap yöntemlerinden biri tarafından gerçekleştirilebilir.

1. Eurocode 8
2. NCEER (1997)
3. Seed's deterministic method (2004)
4. Boulanger & Idriss deterministic method (2004)
5. Seed's probabilistic method (2004)
6. Liao et al. probabilistic (1998)

Hesaplama yöntemine ait ölçütlerin programa aktarılmasından sonra deprem etkisi ile zeminde meydana gelecek çevrimsel gerilme değeri ile zeminin kapasitesini belirleyen çevrimsel dayanım değeri program tarafından hesaplanır. Bu hesaplamalara ilişkin olarak oluşturulan örnek hesap tablo 4-3 ve 4-4'de gösterilmektedir. İlgili açıklamalar ise tabloların alt kısmında belirtilmiştir.

Tablo 4-3 Çevrimsel gerilme oranı hesaplaması

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	rd	CSR	MSF	CSReq,M=7.5	K _{sigma}	CSR
1	1.50	25.50	0.00	25.50	0.99	0.26	1.19	0.22	1.00	0.22
2	3.00	51.00	9.81	41.19	0.98	0.32	1.19	0.26	1.00	0.26
3	4.50	76.50	24.53	51.98	0.97	0.37	1.19	0.31	1.00	0.31
4	6.00	102.00	39.24	62.76	0.96	0.40	1.19	0.34	1.00	0.34
5	7.50	127.50	53.96	73.55	0.94	0.42	1.19	0.36	1.00	0.36
6	9.00	153.00	68.67	84.33	0.92	0.44	1.19	0.36	1.00	0.36

Burada;

Derinlik: Zemin yüzeyi ile SPT deneyinin arasındaki düşey mesafe (m)

Sigma: Deney yapılan noktadaki toplam örtü yükü basıncı (kPa)

U: Deney noktasındaki toplam deprem esnasındaki su basıncı (kPa)

Sigma': Deprem esnasındaki efektif örtü yükü basıncı (kPa)

Rd: Gerilme azaltma katsayısı

CSR: Çevrimsel gerilme oranı

MSF: Deprem büyüklüğü düzeltme faktörü

CSReq,M: M=7,5 büyüklüğündeki deprem için CSR düzeltmesi

CSR: Tüm efektif gerilme düzeltmelerinin yapıldığı CSR değeri

CRR değerinin hesaplanması için hesaplama yönteminin seçilmesinin ardından, ince dane düzeltme yöntemi ve SPT deney yöntemi için belirlenen aşağıdaki düzeltme kriterleri belirlenir.

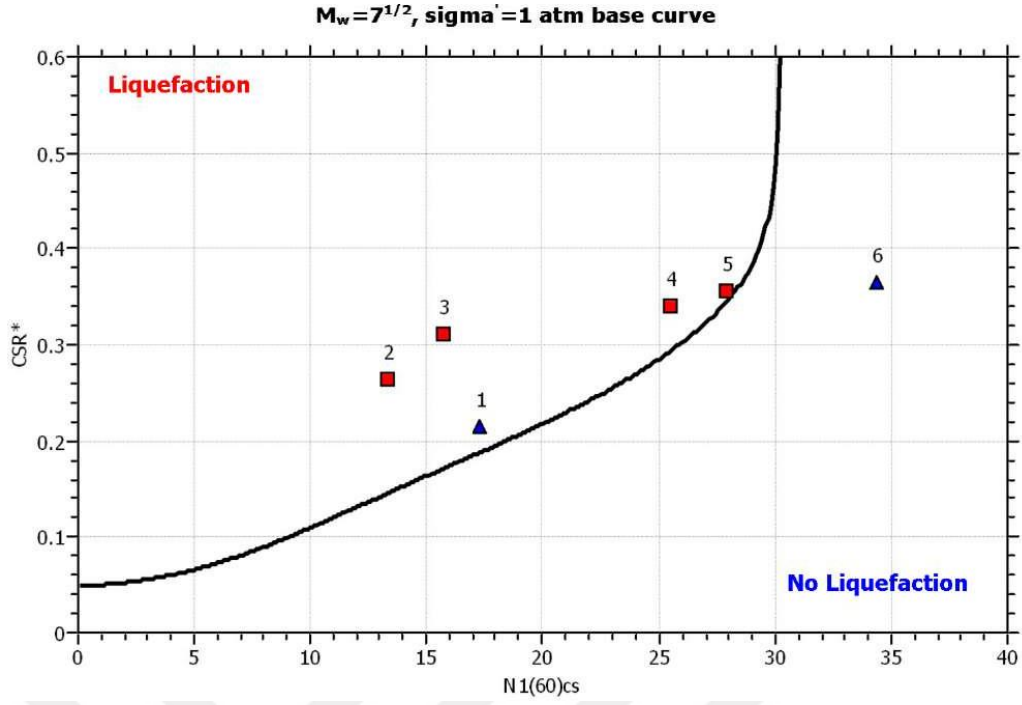
Cn : Örtü yükü düzeltme katsayısı

- Ce : Enerji Düzeltme katsayısı
Cb : Kuyu çapı düzeltme katsayısı
Cr: Tij uzunluğu düzeltme katsayısı
Cs: Numune alıcı düzeltme katsayısı
Ni(60): Düzeltme yapılmış SPT N değeri
DeltaN : Addition to corrected $N_{(60)}$ - value due to the presence of fines
Ni(60)cs : İnce tane oranı düzeltmesi yapılmış SPT değeri
CRR_{7.5}: M=7,5 büyüklüğünde deprem için Çevrimsel dayanım oranı

Tablo 4-4 Çevrimsel dayanım oranı hesaplama sonuçları

Point ID	Field SPT	Cn	Ce	Cb	Cr	Cs	Ni(60)	ΔN	$N_{1(60)cs}$	CRR _{7.5}
1	10.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	10.20	7.04	17.24	0.19
2	7.00	1.56	0.75	1.00	0.85	1.00	6.95	6.39	13.34	0.15
3	9.00	1.39	0.75	1.00	0.95	1.00	8.89	6.78	15.67	0.17
4	19.00	1.26	0.75	1.00	0.95	1.00	17.09	8.42	25.51	0.29
5	23.00	1.17	0.75	1.00	0.95	1.00	19.11	8.82	27.93	0.35
6	30.00	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	24.50	9.90	34.40	2.00

Dördüncü bölümde ise sıvılaşma tetikleme analizi için güvenlik katsayısı, LPI ve sıvılaşmaya bağlı oturma hesabı ile NCEER tarafından önerilen sıvılaşma sınır eğrisine göre hesaplaması yapılan sondaj lokasyonu için her SPT düzeyinin grafik üzerinde gösterimi Şekil 4-1’de gösterilmektedir.



Şekil 4-1 NCEER sıvılaşma değerlendirme grafiği

Yukarıda belirtilen tetikleme analizlerinin ardından, güvenlik katsayısına bağlı olarak sıvılaşma potansiyel indeksinin hesaplanması (LPI) ve sıvılaşmaya bağlı olarak oluşan oturma değerleri otomatik olarak hesaplanmaktadır.

Sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması için Iwasaki vd. [32]'nin önerdiği sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI) aşağıdaki değerleri kullanılmıştır. Tablo 4-5'da sıvılaşma potansiyeli hesap değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4-5 Iwasaki sınıflandırma yöntemine göre sıvılaşma potansiyeli

Point ID	F	Wz	I_L
1	0.00	9.25	0.00
2	0.45	8.50	5.73
3	0.45	7.75	5.25
4	0.13	7.00	1.41
5	0.03	6.25	0.27
6	0.00	5.50	0.00

Sıvılaşma potansiyel İndeksi: 12.65

LPI 0.00 ise Sıvılaşma yok,

LPI 0.00 ile 5 arasında ise - küçük,

LPI 5-15 arasında ise orta.

LPI 15 ten büyük ise sıvılaşma büyük olarak sınıflandırılır.

Sıvılaşmaya bağlı oturma değerinin hesabında Ishihara ve Yoshimine [36] yöntemine göre hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 4-6'da oturma değerlerinin sonuç tablosu görülmektedir.

Bu tabloda terimlerin açıklaması şu şekildedir:

$N_{1(60)}$: SPT değerlerinde gerilme düzeltme değeri yapılmış değeri

FSI: Japon standart enerji düzeltme oranı uygulanmış SPT N değeri

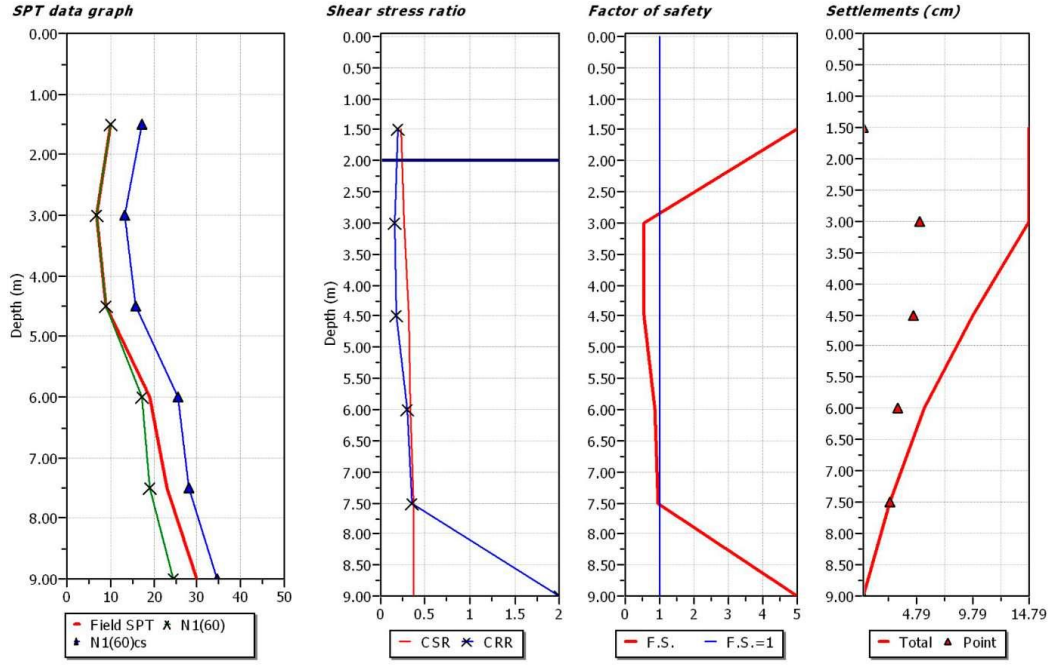
E: Sıvılaşma sonrası hacimsel deformasyon (%)

Settle.: Hesaplanan oturma değeri (cm)

Tablo 4-6 Doygun kumların oturma değeri

Point ID	$N_{1(60)}$	N_i	fsl	e(%)	Settle. (cm)
1	17.24	14.37	5.00	0.00	0.00
2	13.34	11.12	0.55	3.30	4.96
3	15.67	13.06	0.55	2.96	4.45
4	25.51	21.25	0.87	2.00	3.00
5	27.93	23.28	0.97	1.59	2.38

Hesaplama işlemlerin tamamlanmasının ardından üst menüde belirtilen raporlar sekmesinden yapılan hesaplamaların sıvılaşma değerlendirme raporu olarak elde edilebilmektedir. Program analiz sonuçları gösteren rapor örneği şekil 4-2'da gösterilmiştir.



Şekil 4-2 Sıvılaşma tetikleme ve oturma analiz sonuçları

Rapordaki sonuç grafiklerinde birinci sütun SPT veri grafiği; derinlik ile SPT N_{30} , N_{60} , N_{60cs} değerleri,

İkinci sütun kayma gerilme oranı grafiğinde; derinlik ile CSR-CRR arasındaki ilişki,

Üçüncü sütun, Güvenlik katsayısı; derinlik iler güvenlik katsayısı arasındaki ilişki,

Dördüncü sütun ise Oturma grafiği, derinlik ile hesaplanan oturma değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Hesap çıktılarına ilişkin tablolar ise Şekil 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7'de gösterilmiştir.

:: Field input data ::				
Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30)	Unit weight (kN/m^3)	Fines content (%)
1	1.50	10.00	17.00	36.00
2	3.00	7.00	17.00	36.00
3	4.50	9.00	17.00	36.00
4	6.00	19.00	17.00	36.00
5	7.50	23.00	17.00	36.00
6	9.00	30.00	17.00	36.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
 Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m^3)
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

Şekil 4-3 LiqIT arazi verileri girdi tablosu

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::										
Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.50	25.50	0.00	25.50	0.99	0.26	1.19	0.22	1.00	0.22
2	3.00	51.00	9.81	41.19	0.98	0.32	1.19	0.26	1.00	0.26
3	4.50	76.50	24.53	51.98	0.97	0.37	1.19	0.31	1.00	0.31
4	6.00	102.00	39.24	62.76	0.96	0.40	1.19	0.34	1.00	0.34
5	7.50	127.50	53.96	73.55	0.94	0.42	1.19	0.36	1.00	0.36
6	9.00	153.00	68.67	84.33	0.92	0.44	1.19	0.36	1.00	0.36

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 $CSR_{eq,M=7.5}$: CSR adjusted for M=7,5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR^* : CSR fully adjusted

Şekil 4-4 Çevrimsel gerilme oranı (CSR) hesaplama tablosu

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	10.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	10.20	7.04	17.24	0.19
2	7.00	1.56	0.75	1.00	0.85	1.00	6.95	6.39	13.34	0.15
3	9.00	1.39	0.75	1.00	0.95	1.00	8.89	6.78	15.67	0.17
4	19.00	1.26	0.75	1.00	0.95	1.00	17.09	8.42	25.51	0.29
5	23.00	1.17	0.75	1.00	0.95	1.00	19.11	8.82	27.93	0.35
6	30.00	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	24.50	9.90	34.40	2.00

C_n : Overburden correction factor
 C_e : Energy correction factor
 C_b : Borehole diameter correction factor
 C_r : Rod length correction factor
 C_s : Liner correction factor
 $N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
 $N_{1(60)cs}$: Corrected $N_{1(60)}$ value for fines
 $CRR_{7.5}$: Cyclic resistance ratio for $M=7.5$

Şekil 4-5 Çevrimsel Dayanım Oranı (CRR) hesaplama tablosu.

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	17.24	14.37	5.00	0.00	0.00
2	13.34	11.12	0.55	3.30	4.96
3	15.67	13.06	0.55	2.96	4.45
4	25.51	21.25	0.87	2.00	3.00
5	27.93	23.28	0.97	1.59	2.38
6	34.40	28.67	5.00	0.00	0.00

Total settlement : 14.79

$N_{1(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
 N_1 : Japanese equivalent corrected value
 FS_L : Calculated factor of safety
 e_v : Post-liquefaction volumetric strain (%)
Settle. : Calculated settlement (cm)

Şekil 4-6 Doygun kumlarda sıvılaşmaya bağlı oturma hesap tablosu.

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w ₂	I _L
1	0.00	9.25	0.00
2	0.45	8.50	5.73
3	0.45	7.75	5.25
4	0.13	7.00	1.41
5	0.03	6.25	0.27
6	0.00	5.50	0.00

Overall potential I_L : 12.65

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Şekil 4-7 Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli hesap tablosu

4.1.2 Sıvılaşma Hesapları

Zemin sıvılaşma hesaplamaları için izlenen yöntem şu şekildedir. İlk olarak zemin verilerinin ilgili raporlardan toplanması, ardından bunların CBS sistemine aktarılarak şehir imar planları ile karşılaştırılarak koordinatlı olarak işlenmesi, zemin sınıfı zemin grubu LL,PL,PI özelliklerinin derlenmesi, tetikleme analizlerinin yapılması, LPI ve oturma değerlerinin hesaplanarak bulunan sonuçların CBS sistemine aktarılması sonucu sıvılaşma tehlike haritaları oluşturulmuştur. Aşağıda sırasıyla bu işlemler açıklanmıştır.

4.1.3 Zemin Verilerinin Toplanması

Salihli (Manisa) kent merkezi 25 km² yüzey alanına sahip 25 adet mahalleden oluşmaktadır. Zemin sıvılaşması tehlike haritalarının oluşturulması için belediye arşivinde bulunan 236 adet zemin edüt raporu ayrıntılı bir incelemeye tabi tutulmuştur. Projeler numaralandırmak suretiyle her bir zemin etüd sondajlarının koordinatları ED 50 6 derecelik koordinat sisteminde belirlenmiştir.

Zemin sıvılaştırma analizlerinde kullanılacak yer altı su seviyesi derinlikleri (YASS), zemin sınıfları ve genel zemin profilini yansıtacak laboratuvar analizleri seçilerek zemin grupları, ince dane oranı (200 nolu elekten geçen dane oranı %'si), Atterberg limitleri (LL, PL, ve PI) değerleri elde edilmiştir. Söz konusu veriler tablo 4-7'de verilmiştir.

Tablo 4-7 Proje için kullanılan zemin sondajlarının özet bilgileri

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
1	5	602071,1	4261191	ML	Z4/D	63	40,0	30,0	10,0
2	15	596991,4	4260119	ML-OL	Z3/C	14	29,0	25,0	4,0
3	4	599170	4261444	ML	Z4/D	57	NP	NP	NP
4	12	599056,3	4260010	SM	Z4/D	50	NP	NP	NP
5	15	598483,2	4260043	GP	Z3/C	8	33,0	23,0	10,0
6	20	601261,8	4260609	SW	Z3/C	28	31,0	25,0	6,0
7	4	599105,7	4261733	ML	Z4/D	68	31,0	25,0	14,0
8	3	599296,7	4261300	ML	Z4/D	63	30,0	25,0	5,0
9	18	601763,2	4260574	SC	Z4/D	43	25,0	18,0	7,0
10	5	597768	4260956	SM	Z4/D	32	NP	NP	NP
11	3	599076	4261574	ML	Z4/D	61	31,0	25,0	6,0
12	7	599780	4260174	CL	Z4/D	71	24,0	17,0	7,0
13	20	599725	4260213	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
14	16	597143,1	4260277	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
15	20	600858,8	4260238	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
16	18	600707	4260151	SP	Z4/D	6	33,0	18,0	15,0
17	17	601435	4259197	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
18	22	601611,2	4258659	GP-GM	Z3/C	10	NP	NP	NP
19	18	598491	4259834	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
20	19	601367	4259618	SM	Z3/C	11	NP	NP	NP
21	6	602069	4260959	ML	Z4/D	63	30,0	24,0	6,0
22	20	601265,6	4259922	GP	Z3/C	1	31,0	20,0	11,0

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
23	18	601603,8	4259701	SM	Z3/C	20	NP	NP	NP
24	4	599067	4261440	SC	Z4/D	34	26,0	14,0	12,0
25	18	601747	4260479	SM	Z4/D	21	NP	NP	NP
26	18	601713,2	4260106	GM	Z3/C	32	NP	NP	NP
27	9	602084	4260723	ML	Z4/D	65	NP	NP	NP
28	3	599122,2	4261579	ML	Z4/D	64	32,0	23,0	9,0
29	4	597714	4261408	SC	Z4/D	42	38,0	19,0	19,0
30	20	600905,2	4259661	SM	Z3/C	15	NP	NP	NP
31	25	602150,3	4258800	GM	Z3/C	19	NP	NP	NP
32	5	600015	4260685	ML	Z4/D	14	NP	NP	NP
33	17	600792,8	4259127	SM	Z3/C	42	NP	NP	NP
34	6	599505	4261119	ML	Z4/D	87	NP	NP	NP
35	4	598828	4261090	SM	Z4/D	43	NP	NP	NP
36	4	599065	4261750	SC	Z4/D	37	28,0	15,0	13,0
37	15	597262	4260454	GP-GM	Z3/C	7	NP	NP	NP
38	6	599685	4260183	SM	Z4/D	50	47,0	30,0	17,0
39	3	598524	4260761	CH	Z4/D	98	49,0	28,0	21,0
40	20	600165,4	4259474	GP	Z3/C	5	NP	NP	NP
41	20	601485	4259456	GC	Z3/C	19	31,0	20,0	11,0
42	22	600164	4259474	SP	Z3/C	12	45,0	22,0	23,0
43	18	600554,5	4260102	SM	Z3/C	15	NP	NP	NP
44	12	600980	4260309	ML	Z4/D	71	38,0	20,0	18,0
45	3	598604	4260793	CL	Z4/D	67	37,0	19,0	18,0
46	7	598802	4260485	SW	Z3/C	25	41,0	29,0	12,0
47	15	598200,1	4259945	ML	Z4/D	73	NP	NP	NP
48	4	599024	4261607	ML	Z4/D	33	35,0	20,0	15,0
49	3	599435,2	4260508	SM	Z4/D	10	NP	NP	NP
50	17	601558,8	4260328	GP	Z4/D	20	40,0	28,0	12,0
51	20	599792,2	4259441	CL	Z3/C	16	34,0	17,0	17,0
52	20	597619,4	4259814	SW	Z4/D	61	30,0	25,0	5,0
53	20	600098,1	4260186	SP	Z3/C	13	33,0	22,0	11,0

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
54	6	602254	4261094	CI	Z4/D	82	40,0	24,0	16,0
55	15	600608	4259845	CL	Z4/D	81	NP	NP	NP
56	4			SW	Z4/D	39	29,0	21,0	8,0
57	20	601321,3	4259533	GP-GM	Z4/D	9	31,0	17,0	14,0
58	30	598414,9	4259389	GP	Z3/C	3	36,0	23,0	13,0
59	4	597675,7	4261512	ML	Z4/D	66	NP	NP	NP
60	12	601986,1	4261177	SW	Z4/D	25	40,0	27,0	13,0
61	20	600919,5	4258991	GM	Z3/C	20	NP	NP	NP
62	3	598932,4	4260500	ML	Z4/D	52	46,0	31,0	15,0
63	3	598842,9	4260451	SP	Z4/D	33	28,0	23,0	5,0
64	25			GM	Z3/C	20	NP	NP	NP
65	6	599377,5	4260095	CL	Z4/D	69	40,0	20,0	20,0
66	16	602187,3	4260641	MI	Z4/D	46	40,0	30,0	10,0
67	18	598552,3	4259916	SC	Z3/C	34	35,0	20,0	15,0
68	6	598865,1	4261433	SM	Z4/D	37	NP	NP	NP
69	3	599054,8	4261412	ML	Z4/D	56	NP	NP	NP
70	4	599034,5	4260552	ML	Z4/D	66	NP	NP	NP
71	2	597709,7	4261130	ML	Z4/D	67	31,0	18,0	13,0
72	16	599486,9	4260140	GP	Z3/C	36	33,0	20,0	13,0
73	15	597013,4	4260199	GP	Z3/C	36	31,0	19,0	12,0
74	2	597684,9	4261492	SC	Z4/D	47	34,0	15,0	19,0
75	2	599049,2	4261152	ML	Z4/D	55	NP	NP	NP
76	15	600922,6	4259434	GC	Z3/C	20	32,0	19,0	13,0
77	13	601293,8	4260626	GM	Z3/C	20	NP	NP	NP
78	2	599035	4261506	ML	Z4/D	52	28,0	23,0	5,0
79	8	602069,6	4260782	ML	Z4/D	85	NP	NP	NP
80	6	600046,4	4260635	ML	Z4/D	54	NP	NP	NP
81	26	603284	4259157	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
82	28	595344,4	4258783	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
83	25	601068,8	4259600	SW	Z3/C	14	35,0	21,0	14,0
84	12	601640,2	4260038	GP	Z3/C	28	32,0	24,0	8,0

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
85	20	601556	4259703	GP-GM	Z3/C	10	NP	NP	NP
86	12	601210,9	4260815	GP-GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
87	2	599042,8	4260529	SM	Z4/D	58	44,0	31,0	13,0
88	25	598686,3	4259977	SP	Z4/D	16	32,0	21,0	11,0
89	30	599289	4259489	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
90	2			SM	Z4/D	34	32,0	19,0	13,0
91	20	598728,5	4259584	SW	Z4/D	33	30,0	19,0	11,0
92	9	600609	4260712	GM	Z3/C	15	NP	NP	NP
93	2	599055	4261155	SP	Z4/D	60	35,0	25,0	10,0
94	18	600892,9	4259089	GP-GM	Z3/C	10	NP	NP	NP
95	13	599682,4	4260261	SW	Z4/D	32	40,0	31,0	9,0
96	3	599060,5	4262257	SC	Z4/D	44	27,0	14,0	13,0
97	28	596763,9	4259070	CL	Z3/C	12	31,0	20,0	11,0
98	3	599435,1	4260276	SW	Z4/D	40	29,0	20,0	9,0
99	25	601392,4	4260466	GP	Z3/C	7	29,0	18,0	11,0
100	13	601116,3	4260452	GM	Z3/C	21	NP	NP	NP
101	2	599190,8	4260454	CL	Z4/D	63	36,0	17,0	19,0
102	4	599088,1	4261715	ML	Z4/D	68	21,0	18,0	3,0
103	3	598292	4260847	SM	Z4/D	34	32,0	19,0	13,0
104	24	600568,7	4259596	GC	Z3/C	34	26,0	14,0	12,0
105	4	599850,1	4260330	SM	Z4/D	15	NP	NP	NP
106	30	598978,9	4259264	SW	Z3/C	29	31,0	19,0	12,0
107	17	599067,9	4261750	SM	Z3/C	18	NP	NP	NP
108	19	601732,2	4260392	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
109	3			ML	Z4/D	53	40,0	31,0	9,0
110	2	599015,8	4261373	CL	Z4/D	67	49,0	26,0	23,0
111	12	599687,9	4260016	ML	Z4/D	57	NP	NP	NP
112	18	600936,1	4259264	GM	Z3/C	16	NP	NP	NP
113	7	600099,5	4260529	ML	Z4/D	50	NP	NP	NP
114	7	599715,9	4260803	GM	Z3/C	30	NP	NP	NP
115	3	599237,6	4261470	GM	Z4/D	58	NP	NP	NP

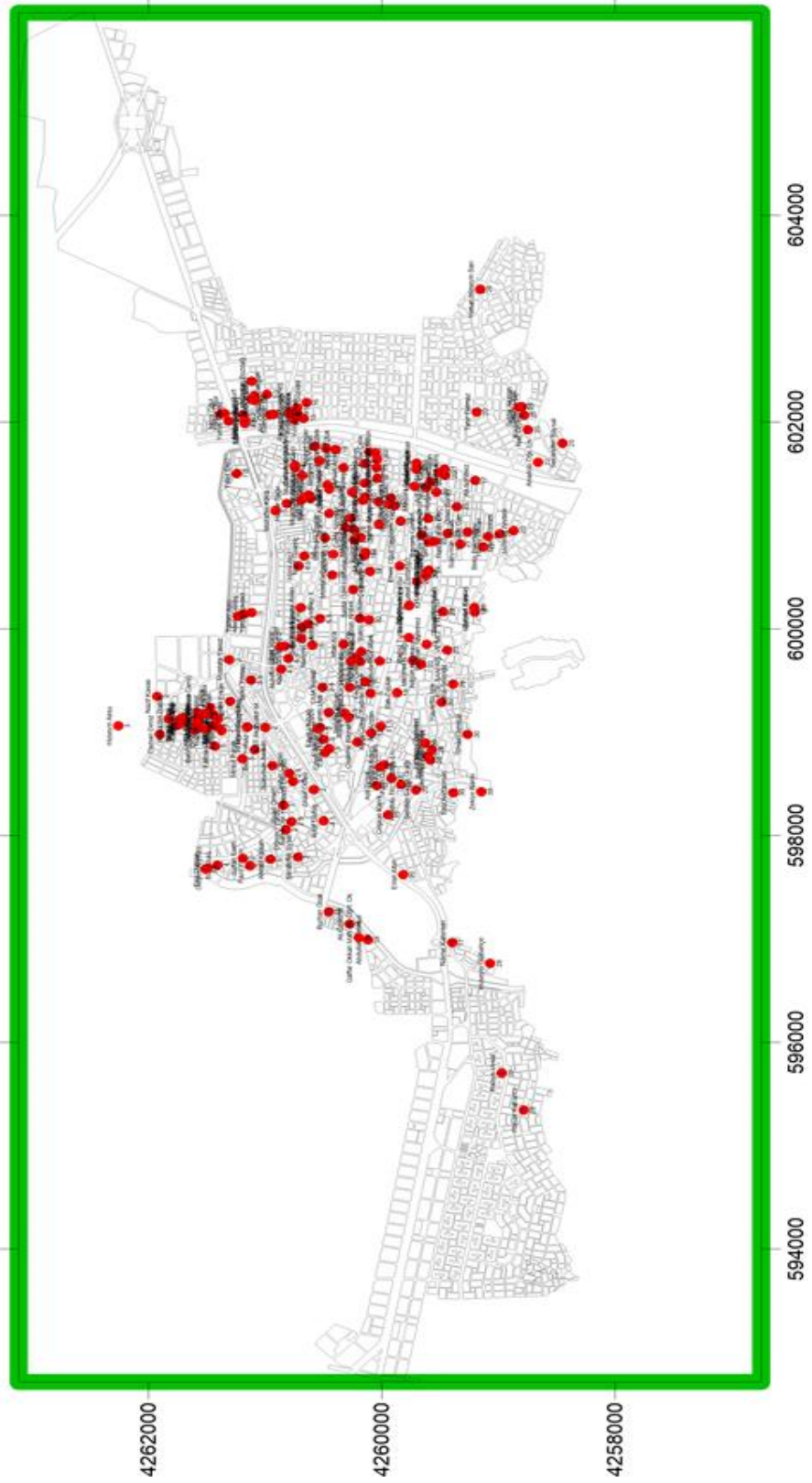
Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
116	2	599043,5	4260998	ML	Z4/D	54	38,0	25,0	13,0
117	25	602068,1	4258779	GM	Z4/D	19	NP	NP	NP
118	20	600459,3	4259700	SM	Z4/D	30	NP	NP	NP
119	10	602218,8	4261115	ML	Z4/D	52	NP	NP	NP
120	30	600519,7	4259622	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
121	30	598894,5	4259626	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
122	20	601275,5	4260146	GM	Z3/C	15	NP	NP	NP
123	11	600880,5	4260484	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
124	20	600959	4260238	GP	Z3/C	13	NP	NP	NP
125	20	601543	4259706	GM	Z3/C	23	NP	NP	NP
126	15	599694	4259731	SM	Z4/D	34	32,0	19,0	13,0
127	30	600518	4259621	SM	Z4/D	37	31,0	21,0	10,0
128	18	600162,5	4259202	SM	Z3/C	42	NP	NP	NP
129	12	601626	4260535	ML	Z4/D	50	NP	NP	NP
130	3	599129	4261403	ML	Z4/D	66	41,0	31,0	10,0
131	20	600951,3	4258869	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
132	2	600144	4261182	SW	Z4/D	28	34,0	24,0	10,0
133	5	598743	4261195	ML	Z4/D	60	NP	NP	NP
134	11	601244	4260691	ML	Z3/C	10	NP	NP	NP
135	18	601189,8	4259889	SM	Z4/D	15	NP	NP	NP
136	15	601485	4260681	GM	Z3/C	13	41,0	32,0	9,0
137	14	601558	4260745	SW	Z3/C	47	40,0	31,0	9,0
138	18	601377	4259721	GP	Z3/C	3	36,0	23,0	13,0
139	19	601229	4260031	GP	Z4/D	12	37,0	28,0	9,0
140	20	600521,6	4260427	SM	Z4/D	25	NP	NP	NP
141	15	598665,2	4260012	SW	Z3/C	19	42,0	31,0	11,0
142	3	599703	4261310	SW	Z4/D	19	42,0	31,0	11,0
143	15	601071	4260269	GM	Z3/C	13	39,0	7,0	32,0
144	5	601140	4260910	GM	Z3/C	17	NP	NP	NP
145	6	600204	4260695	GM	Z4/D	16	NP	NP	NP
146	18	601459	4260039	GM	Z3/C	21	NP	NP	NP

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
147	11	602017	4261171	SP	Z3/C	5	32,0	22,0	10,0
148	2	599086,2	4261591	SM	Z4/D	34	32,0	19,0	13,0
149	25	601927	4258747	ML	Z4/D	68	NP	NP	NP
150	17	596962	4259398	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
151	18	600704	4260664	SP	Z3/C	24	NP	NP	NP
152	2	599347	4261927	SW	Z3/C	36	31,0	23,0	8,0
153	3	602078	4261385	ML	Z4/D	64	NP	NP	NP
154	12	598992	4260092	SC	Z4/D	35	29,0	20,0	9,0
155	26	599463	4259387	SW	Z4/D	35	32,0	24,0	8,0
156	20	599655,7	4259662	SP	Z3/C	32	28,0	24,0	4,0
157	20	601421,2	4259584	GP-GM	Z3/C	10	NP	NP	NP
158	5	599609,3	4260863	ML	Z4/D	57	NP	NP	NP
159	15	602021,3	4260753	SM	Z4/D	26	31,0	18,0	13,0
160	4	602393,2	4261118	SM	Z4/D	13	NP	NP	NP
161	6	599840,8	4260595	ML	Z4/D	87	NP	NP	NP
162	6	602267	4260985	ML	Z4/D	68	23,0	19,0	4,0
163	3	598979,5	4261902	CL	Z4/D	71	38,0	20,0	18,0
164	6	601579	4260745	SW	Z4/D	38	30,0	24,0	6,0
165	2	598056,1	4260823	ML	Z4/D	59	37,0	28,0	9,0
166	17	600224,5	4259767	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
167	25	601181,8	4259358	GP-GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
168	4	599040	4261545	SM	Z4/D	48	NP	NP	NP
169	18	601201,7	4259933	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
170	8	598904,3	4260208	CL	Z4/D	63	37,0	19,0	18,0
171	19	601515,2	4259510	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
172	4	599102,9	4261717	CL	Z4/D	68	39,0	20,0	19,0
173	2	599190,6	4261578	CL	Z4/D	53	44,0	22,0	22,0
174	5	599127,1	4261823	ML	Z4/D	57	NP	NP	NP
175	15	601240,9	4260160	GP	Z3/C	4	32,0	24,0	8,0
176	12	602098,2	4260794	SW	Z3/C	61	31,0	25,0	6,0
177	22	599916,1	4259770	ML	Z4/D	59	37,0	28,0	9,0

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
178	4	599144,3	4260285	CL	Z4/D	50	NP	NP	NP
179	25	595703,6	4258971	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
180	2	602212,1	4261086	SP	Z4/D	24	30,0	19,0	11,0
181	5	598142,1	4260500	SM	Z4/D	30	NP	NP	NP
182	25	601012,1	4260027	GP	Z3/C	7	29,0	18,0	11,0
183	18	601597,7	4260147	GP-GM	Z3/C	10	NP	NP	NP
184	20	600841,4	4259595	SP	Z3/C	35	32,0	22,0	10,0
185	25	598766,8	4259607	SM	Z4/D	31	34,0	20,0	14,0
186	21	601543,1	4259461	GP-GM	Z3/C	11	NP	NP	NP
187	3	598135,5	4260775	SM	Z4/D	32	NP	NP	NP
188	17	600228,4	4259766	SM	Z3/C	15	NP	NP	NP
189	17	600380,4	4260244	ML	Z4/D	40	NP	NP	NP
190	18	599380,7	4259867	SM	Z4/D	34	31,0	21,0	10,0
191	25	601792,8	4258450	ML	Z4/D	55	NP	NP	NP
192	19	601407,7	4260149	GM	Z3/C	15	NP	NP	NP
193	18	600542,2	4259621	GM	Z4/D	14	NP	NP	NP
194	20	600842,3	4259549	GM	Z3/C	16	NP	NP	NP
195	4	599183,9	4260313	ML	Z4/D	46	30,0	16,0	14,0
196	18	599849,1	4259616	GM	Z3/C	13	NP	NP	NP
197	2	599174,4	4261514	SW	Z4/D	35	35,0	20,0	15,0
198	25	602143,1	4258829	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
199	20	601702,5	4260052	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
200	2	597779,4	4261189	SP	Z4/D	33	28,0	23,0	5,0
201	2	598678	4260936	SW	Z4/D	38	30,0	24,0	6,0
202	8	602075,5	4260930	ML	Z4/D	63	30,0	24,0	6,0
203	17	600815,8	4259324	GP	Z3/C	3	NP	NP	NP
204	18	600882,8	4260178	GP-GM	Z3/C	9	NP	NP	NP
205	17	601320,3	4260255	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
206	30	600206,4	4259208	GM	Z3/C	36	NP	NP	NP
207	4	599142,2	4261704	CL	Z4/D	79	45,0	22,0	23,0
208	5	601986,2	4261175	SC	Z4/D	45	27,0	15,0	12,0

Prj Adı	YASS2	X	Y	ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU	#200	LL	PL	PI
209	4	599908,8	4260690	ML	Z4/D	75	NP	NP	NP
210	18	600739,8	4260139	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
211	20	598441,2	4259705	SP	Z3/C	24	35,0	21,0	14,0
212	15	601558,2	4260043	GM	Z3/C	20	NP	NP	NP
213	2	597790,4	4260720	SW	Z4/D	46	33,0	21,0	12,0
214	17	600555,9	4260102	SW	Z3/C	40	45,0	22,0	23,0
215	30	600086,5	4260109	GM	Z4/D	14	39,0	31,0	8,0
216	20	602095,5	4259187	GM	Z3/C	12	NP	NP	NP
217	7	600123,2	4261232	SM	Z4/D	13	NP	NP	NP
218	18	601040,4	4259840	GP-GM	Z3/C	1	NP	NP	NP
219	5	599833,3	4260833	ML	Z4/D	60	NP	NP	NP
220	15	600721,4	4260414	GP-GM	Z4/D	20	28,0	21,0	7,0
221	4	599099	4261590	SM	Z4/D	48	NP	NP	NP
222	28	598830,4	4259570	GM	Z3/C	27	NP	NP	NP
223	5	600155,2	4261118	SP	Z4/D	35	33,0	23,0	10,0
224	30	598895	4259627	GM	Z3/C	5	NP	NP	NP
225	15	602138,5	4260726	CL	Z3/C	34	29,0	18,0	11,0
226	8	601501,4	4261245	MI	Z4/D	77	NP	NP	NP
227	15	602037,2	4260668	GP	Z3/C	8	33,0	23,0	10,0
228	8	602083,3	4261347	ML	Z4/D	52	28,0	23,0	5,0
229	13	601278,8	4260658	GP-GM	Z3/C	20	NP	NP	NP
230	5	602009,5	4261314	SW	Z4/D	28	30,0	18,0	12,0
231	2			SW	Z4/D	38	30,0	24,0	6,0
232	6	599129,7	4261728	ML	Z4/D	69	22,0	19,0	3,0
233	2	599827,1	4260867	SW	Z4/D	38	30,0	24,0	6,0
234	30	598422,9	4259146	GM	Z3/C	21	NP	NP	NP
235	20	601352,6	4260452	SM	Z4/D	22	38,0	14,0	24,0
236	2	598442,8	4260582	CL	Z4/D	57	NP	NP	NP

Sondaj noktaları şehir imar planı üzerine coğrafi bilgi sistemi kullanılarak işlenmiştir. Şekil 4-8’de hazırlanan harita gösterilmektedir.

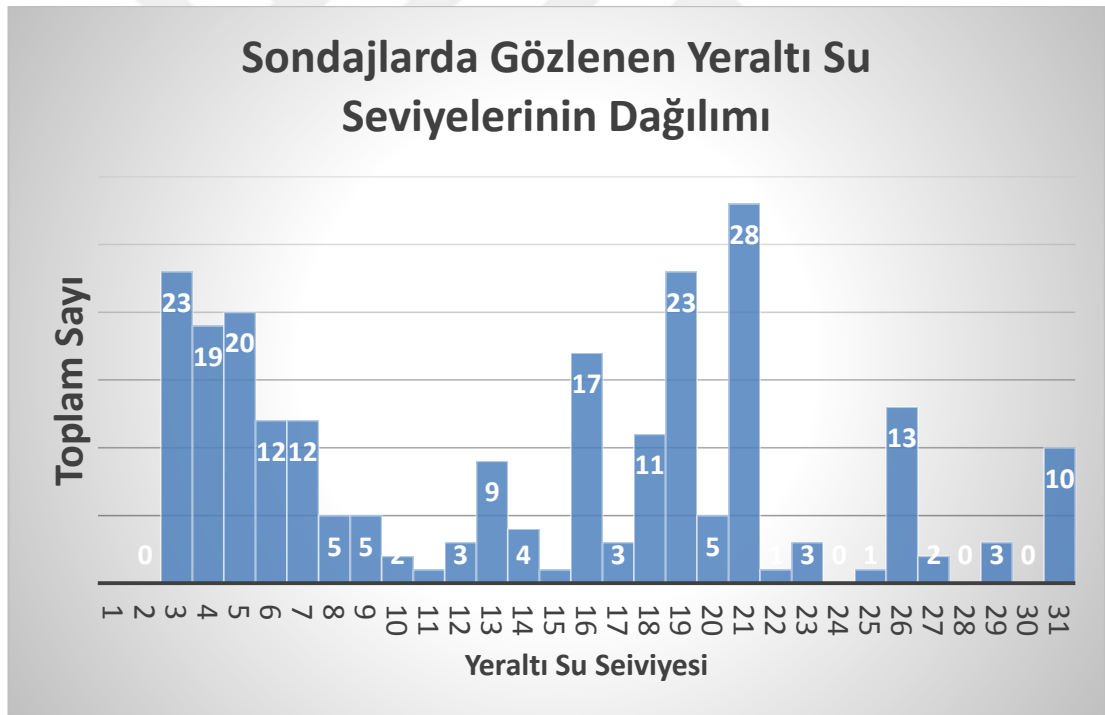


Şekil 4-8 Zemin etüdü sondaj lokasyonları

4.1.4 Yeraltı su seviyelerinin değerlendirilmesi

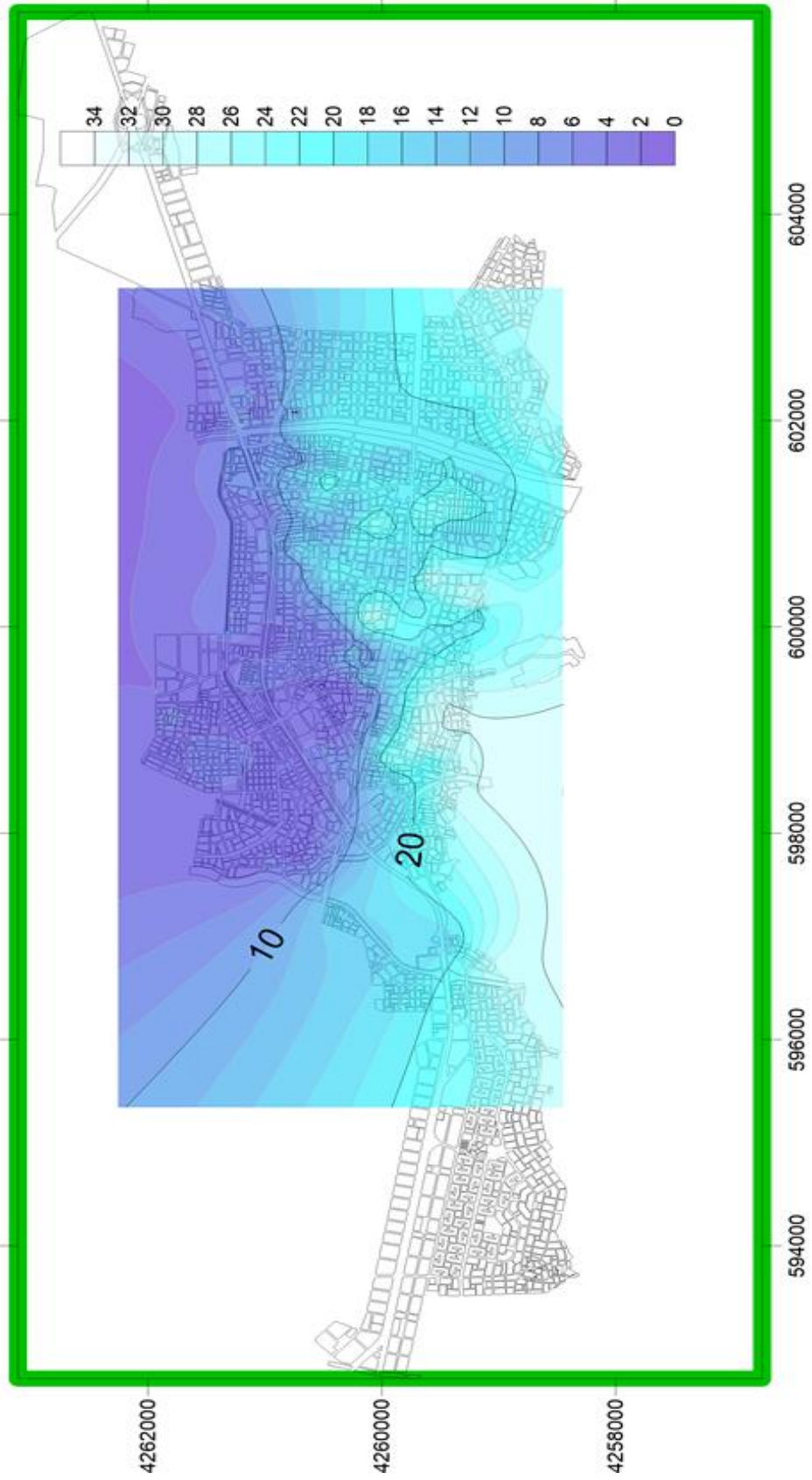
Sıvılaşma oluşabilmesinin en önemli şartı zeminin suya doygun olmasıdır. İnceleme alanında su seviyelerinin dağılımını haritalamak amacıyla zemin sondajlarında ve su kuyularında ölçülen yeraltı su seviyeleri topografik düzeltme yapılmadan krigging yöntemi kullanılarak konturlanmış; imar planı üzerine işlenmiştir.

Yeraltı su seviyesi derinlik dağılımı şekil 4-9'de gösterilmektedir. Şekilde, doğu-batı yönüne şehri yaklaşık olarak ikiye bölen İzmir-Ankara karayolunun kuzeyinde su seviyelerinin 10m'den sığ; güneyinde ise 10m'den derin olduğu görülmektedir. Şekil 4-10'de ise sondajlarda ölçülen yeraltı su seviyelerinin değişim aralıkları görülmektedir.



Şekil 4-9 Zemin Sondajlarından elde edilen yeraltı su seviyelerinin dağılımı

Toplam 236 sondajda yapılan su seviyesi ölçümlerinden %62'sinde (147 adedinde) su seviyelerinin sıvılaşma için eşik kabul edilen 20m'den sığ, %38'inin de (89adet) 20m'den derindir.



Şekil 4-10 Yeraltı su seviyesi haritası

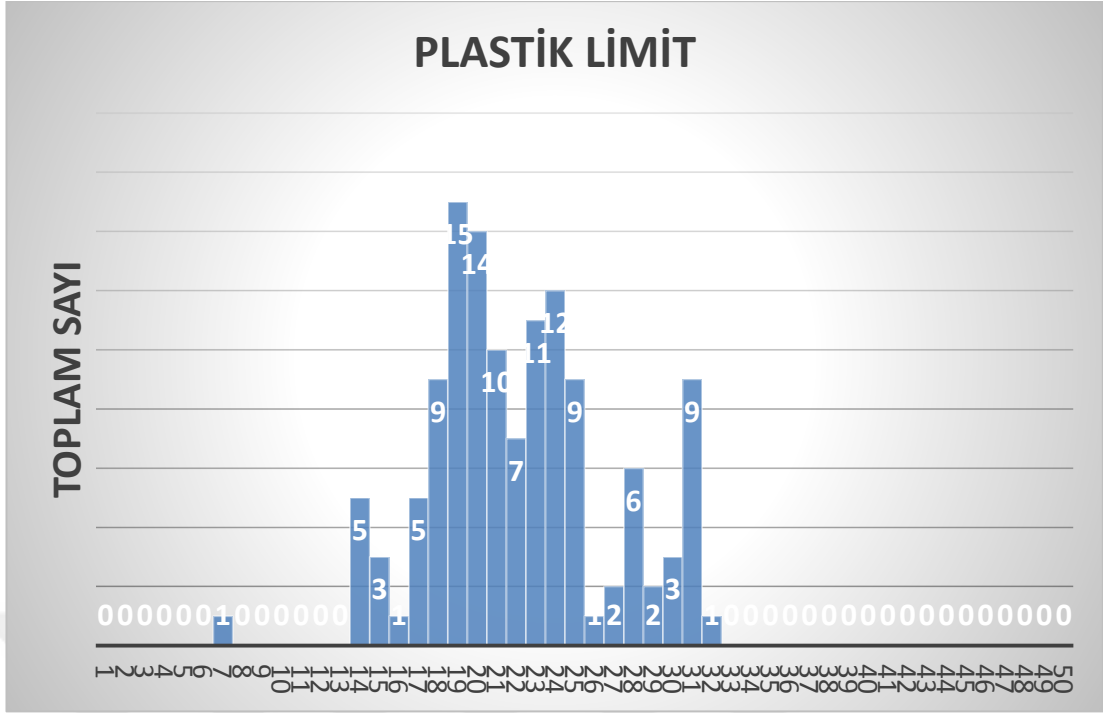
4.1.4.1 Zemin Bilgileri

Zemin etüd raporlarının incelenmesi neticesinde, her bir sondaj lokasyonu için yapılan atterberg limit deneylerine ait plastik limit, likid limit ve plastisite indeksi değerlerinin dağılımları Şekil 4-11, 4-12 ile Şekil 4-13'de görülmektedir.

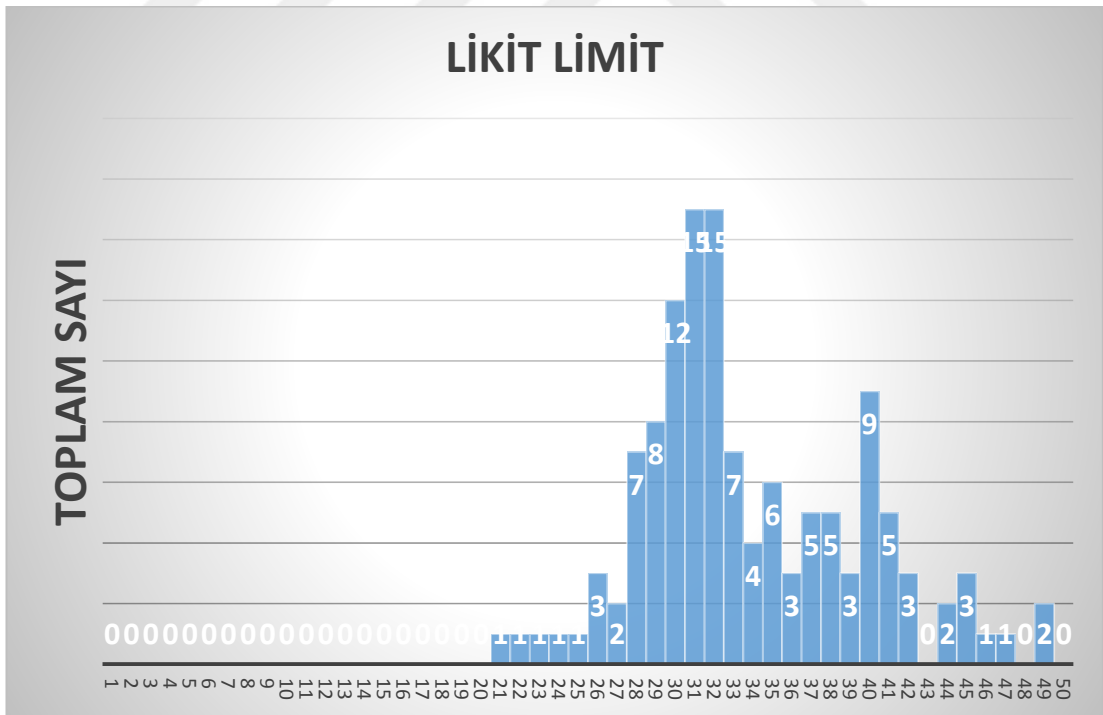
Grafiklerin incelenmesinden likit limit değerlerinin 21-49 arasında olduğu, plastik limit değerlerinin 7-32 ve plastisite indeksinin ise 3-32 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen verilerin istatistiksel incelemesi sonuçları tablo 4-8 gösterilmektedir.

Tablo 4-8 Plastisite limitlerinin istatistiki bilgileri

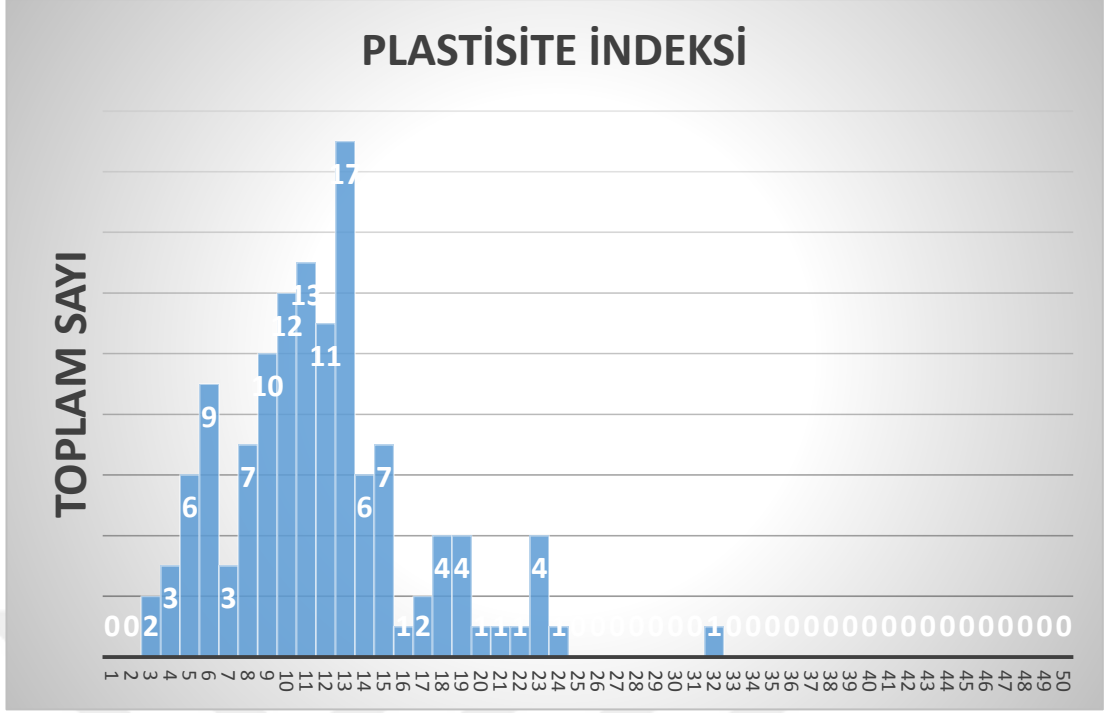
	LL	PL	PI
Ortalama	33,7881	22,1271	11,7288
Min	21	7	3
Max	49	32	32
Adet	118	118	118



Şekil 4-11 Laboratuvar deneylerinde elde edilen plastiklik eşiği değerlerinin dağılımı



Şekil 4-12 Laboratuvar deneylerinde elde edilen akışkanlık eşiği değerlerinin dağılımı

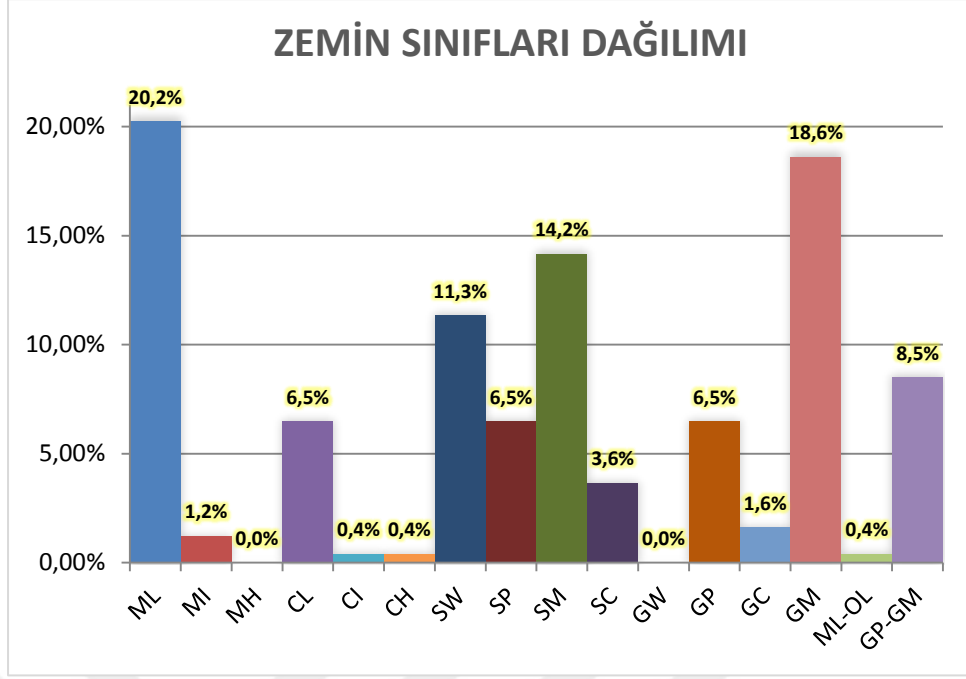


Şekil 4-13 Platistiklik indis değerlerinin dağılımı

Toplam 248 sayıda laboratuvar deneyinden %42'si Plastik Olmayan (Non-plastic) (106adet) olarak tanımlanmıştır.

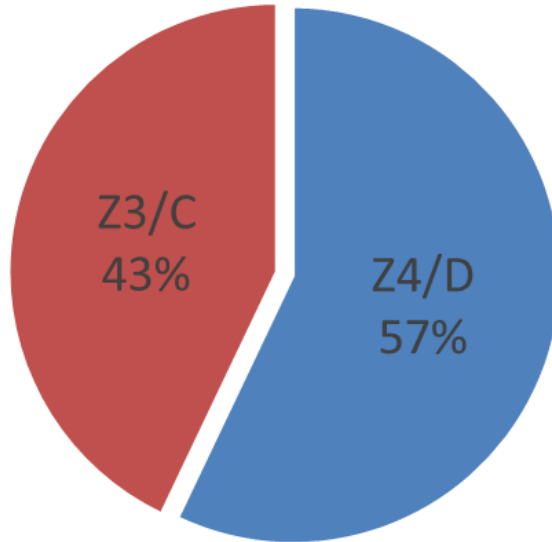
Zemin sınıflarının incelenmesinden elde edilen, sınıflara göre % dağılımları Şekil 4-14'de gösterilmiştir. Şekil İnceleme alanındaki zemin sınıflarının yaklaşık %92'nin sıvılaşmaya duyarlı zemin sınıflarından olan ML, MI, SW, SP, SM, SC, GP, GC, GM, GP-GM, sınıfı zeminlerden; %8'nin ise sıvılaşmaya duyarlı olmayan MH, CL, CI, CH, ML-OL sınıfı zeminlerden oluşmaktadır.

Bu durum Salihli kent merkezinin sıvılaşma duyarlılığı açısından ihtiva ettiği risklerin değerlendirmesinin elzem kılmaktadır.



Şekil 4-14 Zemin sınıfları dağılımı

Son olarak ise Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkındaki yönetmeliğine [40] göre 12. Bölümde bulunan zemin grupları sınıflandırmasına göre, incelenen zeminlerin % 57' si Z4/D ve %43 'ü ise Z3/C grubu zeminler arasında yer almaktadır. Elde edilen zemin grupları dağılımı Şekil 4-15'de gösterilmektedir.



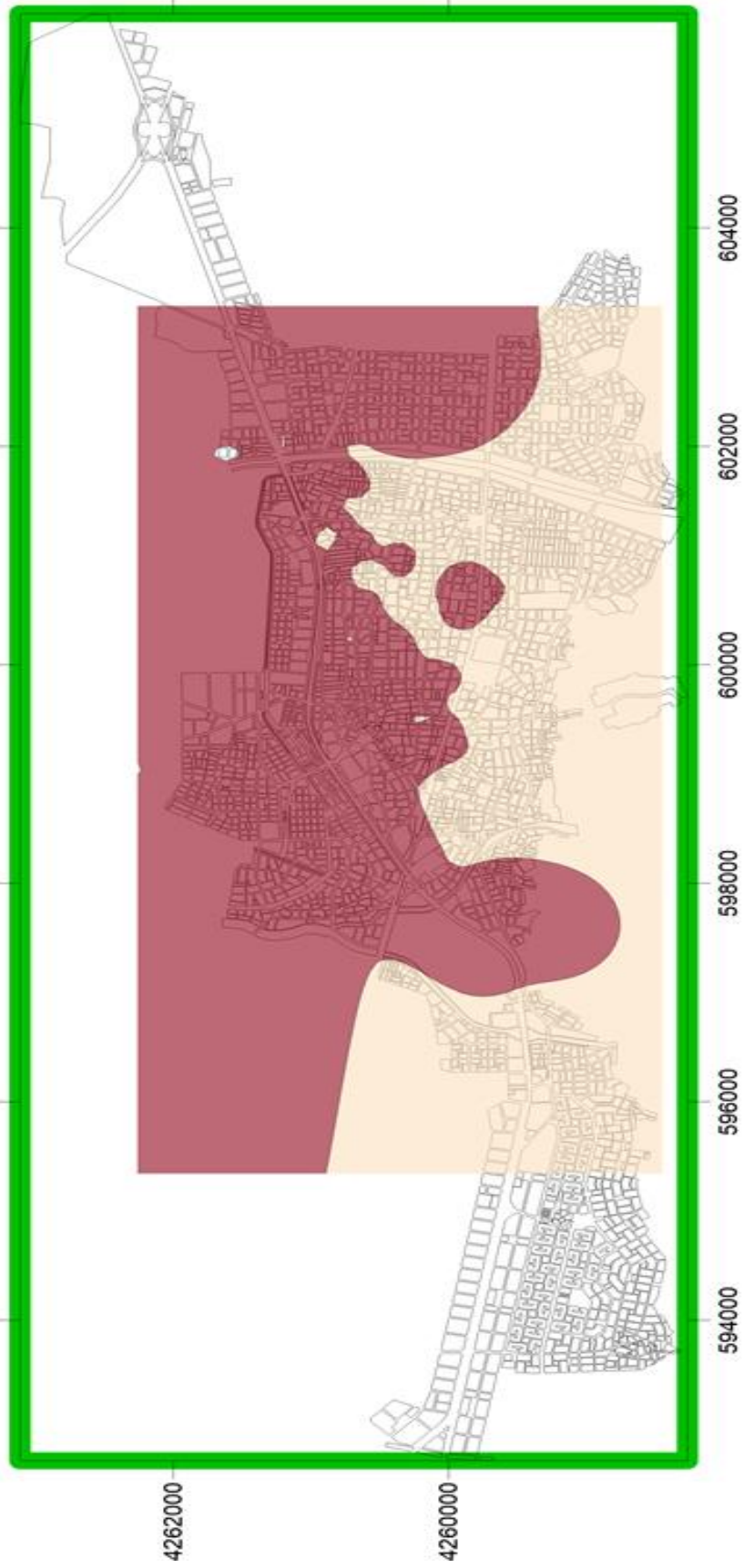
Şekil 4-15 Zemin grupları dağılımı

4.1.5 Sıvılaşma Tetikleme Analizleri

Zemin sıvılaşma hesaplamaları için izlenen yöntem aşağıda kısaca özetlenmiştir;

Salihli kent merkezini oluşturan 25 adet mahallede 236 adet zemin etüd raporundan elde edilen bilgiler (SPT N, İnce tane oranı(%), birim hacim ağırlık, yeraltı su seviyesi, SPT arazi deneylerinin yapıldığı derinlik bilgileri), analizlerde kullanılmak üzere LiqIT yazılımına aktarılmıştır.

Programda NCEER [5] tarafından önerilen basitleştirilmiş hesap yöntemi benimsenmiştir. Bu hesap yöntemi deterministik yöntem seçilmiştir. SPT için Seed ve Idriss tarafından önerilen ince tane düzeltmeleri, etkin yer ivme değeri Salihli 1. Derece deprem bölgesinde yer almasından ötürü 0,4 g olarak alınmış (deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik Tablo 2-2'den alınmıştır), bölgede meydana gelen depremler incelendiğinde tasarım deprem için ise $M= 7$ büyüklüğünde deprem kabul edilmiştir. Hesaplamalarda F_s katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Sıvılaşma tetikleme analiz sonuçları Salihli kent merkezinde zemin sıvılaşması beklenen alanlar şekil 4-16 gösterilmiştir.



Şekil 4-16 Sıvılaşıma tetikleme analiz sonuçları

4.1.6 Sıvılaşma Potansiyel İndeksi Analizleri

Sıvılaşma tetikleme analizi sonucu elde edilen F_s değerlerinin sadece SPT deneyi yapılan derinlikteki değerleri verdiği bilinmektedir. Oysaki jeolojik oluşumlar gözönüne alındığında tek noktanın zemin sıvılaşabilirliği konusunda net bir bilgi vermesi güvenilirlik açısından şüphe uyandırmaktadır. Bu güçlüğün giderilmesi için Iwasaki tarafından önerilen yaklaşım ile inceleme yapılan alandaki zemin tabakasının, etkin (anlamlı) analiz derinliği için bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. İzlenen yöntem aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Iwasaki ve diğ. [32] nin önerdiği sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI) bağıntı 4-17'de ifade edilmektedir.

$$LPI = \int_0^{20m} Fw(z)dz \quad (4-18)$$

$$F(z) = 1 - FS \quad \text{for } FS < 1.0$$
$$F(z) = 0 \quad \text{for } FS \geq 1.0$$

$$W(z) = 10 - 0.5z \quad \text{for } z \leq 20m$$
$$W(z) = 0 \quad \text{for } z > 20m$$

Burada z derinlik (0-20m), dz derinlik artışını ve Fz ise güvenlik katsayısının fonksiyonu olan sıvılaşma şiddetini, $w(z)$ ise ağırlıklı (ortalama) fonksiyonunu ifade etmektedir. Bir ağırlıklı ortalama fonksiyonu yüzeye daha yakın tabakalar için daha yüksek değerler vermekte, lineer olarak azalarak 20 m derinlikte sıfıra düşmektedir.

Sıvılaşma potansiyel haritalarını oluştururken izlenecek yöntem şu şekilde tarif edilebilir.

1. Sahada elde edilen SPT ve laboratuvar deney sonuçlarının elde edilmesi,
2. NCEER yöntemi kullanarak sıvılaşma tetikleme analizlerinin yapılması,
3. Iwasaki yöntemi kullanarak LPI değerlerinin hesaplanması,
4. CBS tabanlı bilgisayar programı yardımıyla sıvılaşma tehlike haritalarının oluşturulması.

Bilgisayar yazılımı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen LPI değerleri tablo 4-9'da topluca listelenmiştir. Ayrıca Şekil 4-17'de LPI değerlerinin imar planı üzerinde gsterilmiştir.

Tablo 4-9 Hesaplanan LPI değerleri

Prj Adı	X	Y	LPI
1	602071,1	4261191	0
2	596991,4	4260119	0
3	599170	4261444	20,12
4	599056,3	4260010	4,61
5	598483,2	4260043	0
6	601261,8	4260609	0
7	599105,7	4261733	25,3
8	599296,7	4261300	29,4
9	601763,2	4260574	0
10	597768	4260956	6,73
11	599076	4261574	31,38
12	599780	4260174	17,46
13	599725	4260213	0
14	597143,1	4260277	0
15	600858,8	4260238	0
16	600707	4260151	0
17	601435	4259197	0
18	601611,2	4258659	0
19	598491	4259834	0
20	601367	4259618	0
21	602069	4260959	24,47
22	601265,6	4259922	0
23	601603,8	4259701	0
24	599067	4261440	20
25	601747	4260479	0

Prj Adl	X	Y	LPI
26	601713,2	4260106	0
27	602084	4260723	9,78
28	599122,2	4261579	31,38
29	597714	4261408	8,8
30	600905,2	4259661	0
31	602150,3	4258800	0
32	600015	4260685	14,99
33	600792,8	4259127	0
34	599505	4261119	21,44
35	598828	4261090	15,16
36	599065	4261750	7,94
37	597262	4260454	0
38	599685	4260183	21,53
39	598524	4260761	25
40	600165,4	4259474	0
41	601485	4259456	0
42	600164	4259474	0
43	600554,5	4260102	0
44	600980	4260309	8,12
45	598604	4260793	26,69
46	598802	4260485	3,05
47	598200,1	4259945	0
48	599024	4261607	17,74
49	599435,2	4260508	31,16
50	601558,8	4260328	0
51	599792,2	4259441	0
52	597619,4	4259814	19,95
53	600098,1	4260186	0
54	602254	4261094	19,27
55	600608	4259845	6,71
56			18,51
57	601321,3	4259533	0

Prj Adl	X	Y	LPI
58	598414,9	4259389	0
59	597675,7	4261512	27,87
60	601986,1	4261177	0
61	600919,5	4258991	0
62	598932,4	4260500	31,49
63	598842,9	4260451	26,06
64			0
65	599377,5	4260095	17,06
66	602187,3	4260641	6,55
67	598552,3	4259916	0
68	598865,1	4261433	21,53
69	599054,8	4261412	16,5
70	599034,5	4260552	19,92
71	597709,7	4261130	27,46
72	599486,9	4260140	0
73	597013,4	4260199	0
74	597684,9	4261492	33,84
75	599049,2	4261152	24,45
76	600922,6	4259434	0
77	601293,8	4260626	0
78	599035	4261506	26,05
79	602069,6	4260782	10,94
80	600046,4	4260635	16,52
81	603284	4259157	0
82	595344,4	4258783	0
83	601068,8	4259600	0
84	601640,2	4260038	0
85	601556	4259703	0
86	601210,9	4260815	0
87	599042,8	4260529	25,23
88	598686,3	4259977	0
89	599289	4259489	0

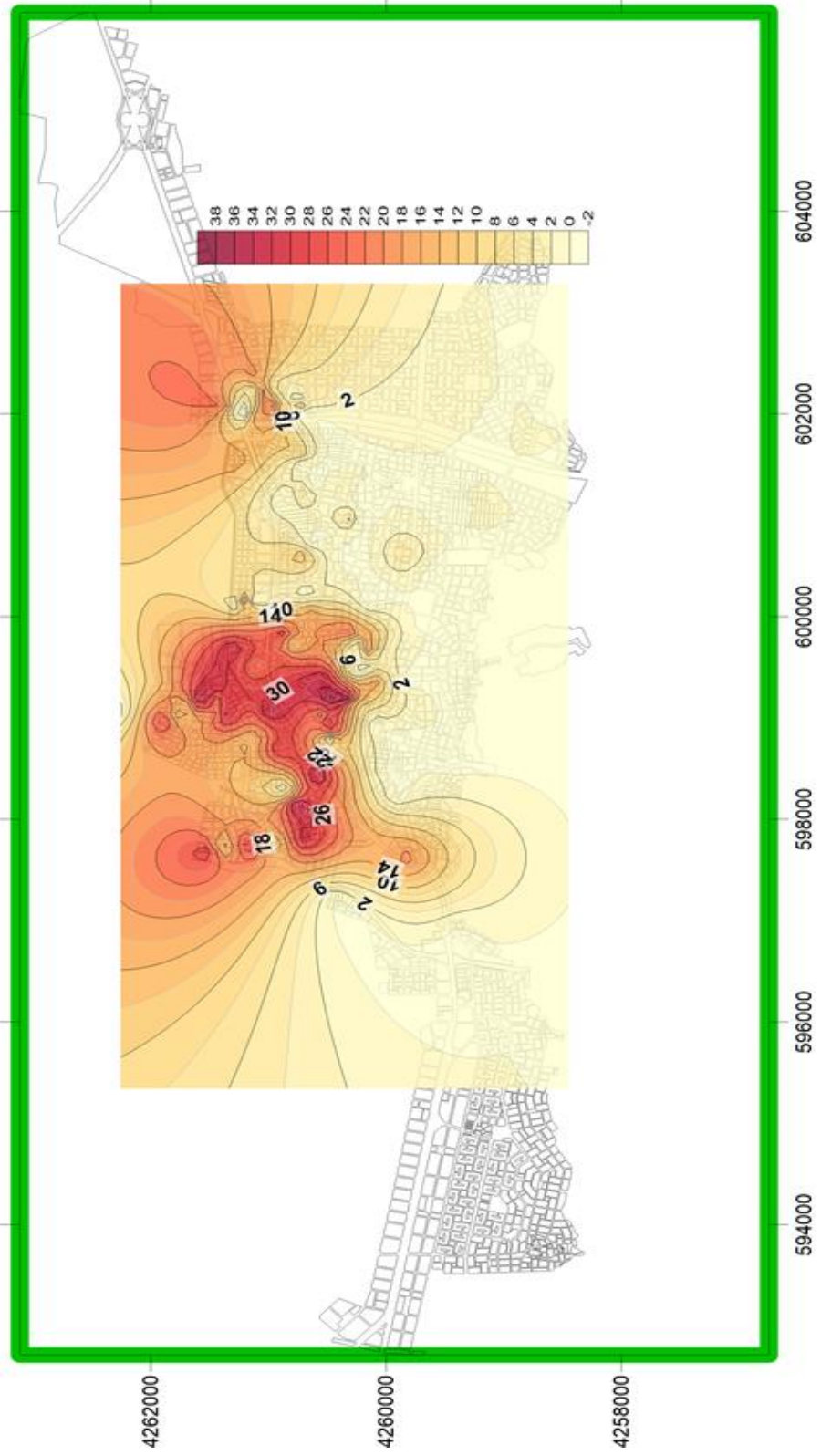
Prj Adl	X	Y	LPI
90			8,87
91	598728,5	4259584	0
92	600609	4260712	13,71
93	599055	4261155	24,45
94	600892,9	4259089	0
95	599682,4	4260261	0
96	599060,5	4262257	0
97	596763,9	4259070	0
98	599435,1	4260276	0
99	601392,4	4260466	0
100	601116,3	4260452	0
101	599190,8	4260454	38,43
102	599088,1	4261715	14,42
103	598292	4260847	0
104	600568,7	4259596	0
105	599850,1	4260330	24,52
106	598978,9	4259264	0
107	599067,9	4261750	0
108	601732,2	4260392	0
109			36,47
110	599015,8	4261373	33,44
111	599687,9	4260016	4,1
112	600936,1	4259264	0
113	600099,5	4260529	8,03
114	599715,9	4260803	10,96
115	599237,6	4261470	31,56
116	599043,5	4260998	33,52
117	602068,1	4258779	0
118	600459,3	4259700	0
119	602218,8	4261115	0
120	600519,7	4259622	0
121	598894,5	4259626	0

Prj Adı	X	Y	LPI
122	601275,5	4260146	0
123	600880,5	4260484	0
124	600959	4260238	0
125	601543	4259706	0
126	599694	4259731	0
127	600518	4259621	0
128	600162,5	4259202	0
129	601626	4260535	0
130	599129	4261403	29,68
131	600951,3	4258869	0
132	600144	4261182	29,2
133	598743	4261195	12,86
134	601244	4260691	8,29
135	601189,8	4259889	0
136	601485	4260681	0
137	601558	4260745	0
138	601377	4259721	0
139	601229	4260031	0
140	600521,6	4260427	0
141	598665,2	4260012	0
142	599703	4261310	33,82
143	601071	4260269	0
144	601140	4260910	0
145	600204	4260695	0
146	601459	4260039	0
147	602017	4261171	0
148	599086,2	4261591	32,32
149	601927	4258747	0
150	596962	4259398	0
151	600704	4260664	0
152	599347	4261927	12,65
153	602078	4261385	22,48

Prj Adı	X	Y	LPI
154	598992	4260092	0
155	599463	4259387	0
156	599655,7	4259662	0
157	601421,2	4259584	0
158	599609,3	4260863	24,65
159	602021,3	4260753	0
160	602393,2	4261118	19,19
161	599840,8	4260595	18,59
162	602267	4260985	5,09
163	598979,5	4261902	28,39
164	601579	4260745	11,41
165	598056,1	4260823	26,72
166	600224,5	4259767	0
167	601181,8	4259358	0
168	599040	4261545	14,45
169	601201,7	4259933	0
170	598904,3	4260208	4,42
171	601515,2	4259510	0
172	599102,9	4261717	13,44
173	599190,6	4261578	36,44
174	599127,1	4261823	19,72
175	601240,9	4260160	0
176	602098,2	4260794	0
177	599916,1	4259770	0
178	599144,3	4260285	13,44
179	595703,6	4258971	0
180	602212,1	4261086	25,04
181	598142,1	4260500	21,79
182	601012,1	4260027	0
183	601597,7	4260147	0
184	600841,4	4259595	0
185	598766,8	4259607	0

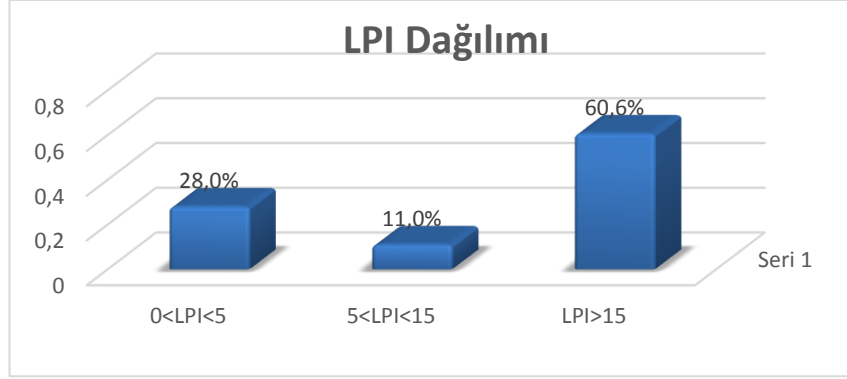
Prj Adl	X	Y	LPI
186	601543,1	4259461	0
187	598135,5	4260775	37,43
188	600228,4	4259766	0
189	600380,4	4260244	0
190	599380,7	4259867	0
191	601792,8	4258450	0
192	601407,7	4260149	0
193	600542,2	4259621	0
194	600842,3	4259549	0
195	599183,9	4260313	35,23
196	599849,1	4259616	0
197	599174,4	4261514	28,68
198	602143,1	4258829	0
199	601702,5	4260052	0
200	597779,4	4261189	27,47
201	598678	4260936	29,5
202	602075,5	4260930	14,18
203	600815,8	4259324	0
204	600882,8	4260178	0
205	601320,3	4260255	0
206	600206,4	4259208	0
207	599142,2	4261704	13,8
208	601986,2	4261175	16,23
209	599908,8	4260690	15,85
210	600739,8	4260139	0
211	598441,2	4259705	0
212	601558,2	4260043	0
213	597790,4	4260720	32,05
214	600555,9	4260102	0
215	600086,5	4260109	0
216	602095,5	4259187	0
217	600123,2	4261232	0

Prj Adı	X	Y	LPI
218	601040,4	4259840	0
219	599833,3	4260833	23,65
220	600721,4	4260414	0
221	599099	4261590	25,85
222	598830,4	4259570	0
223	600155,2	4261118	0
224	598895	4259627	0
225	602138,5	4260726	0
226	601501,4	4261245	15,12
227	602037,2	4260668	0
228	602083,3	4261347	15,39
229	601278,8	4260658	0
230	602009,5	4261314	5,66
231			35,22
232	599129,7	4261728	11,28
233	599827,1	4260867	28,52
234	598422,9	4259146	0
235	601352,6	4260452	0,97
236	598442,8	4260582	36,43



Şekil 4-17 Sıvılaşma Potansiyel Haritası

Çalışma alanında elde edilen LPI değerlerinin Iwasaki tarafından önerilen limit değer aralıklarına göre yüzdelik dağılımları Şekil 4-18 ve istatistiki bilgiler ise Tablo 4-10'da gösterilmiştir.



Şekil 4-18 LPI Değerlerinin Iwasaki sınıflamasına göre dağılımları

Tablo 4-10 LPI değerlerinin Iwasaki sınıflamasına göre istatistiki analizi

LPI	
Ortalama	20,3794
Min	0
Max	38,43
Adet	236
StdSap	11,8369

4.1.7 Sıvılaşma Sonrası Oturma Tahmin Analizleri

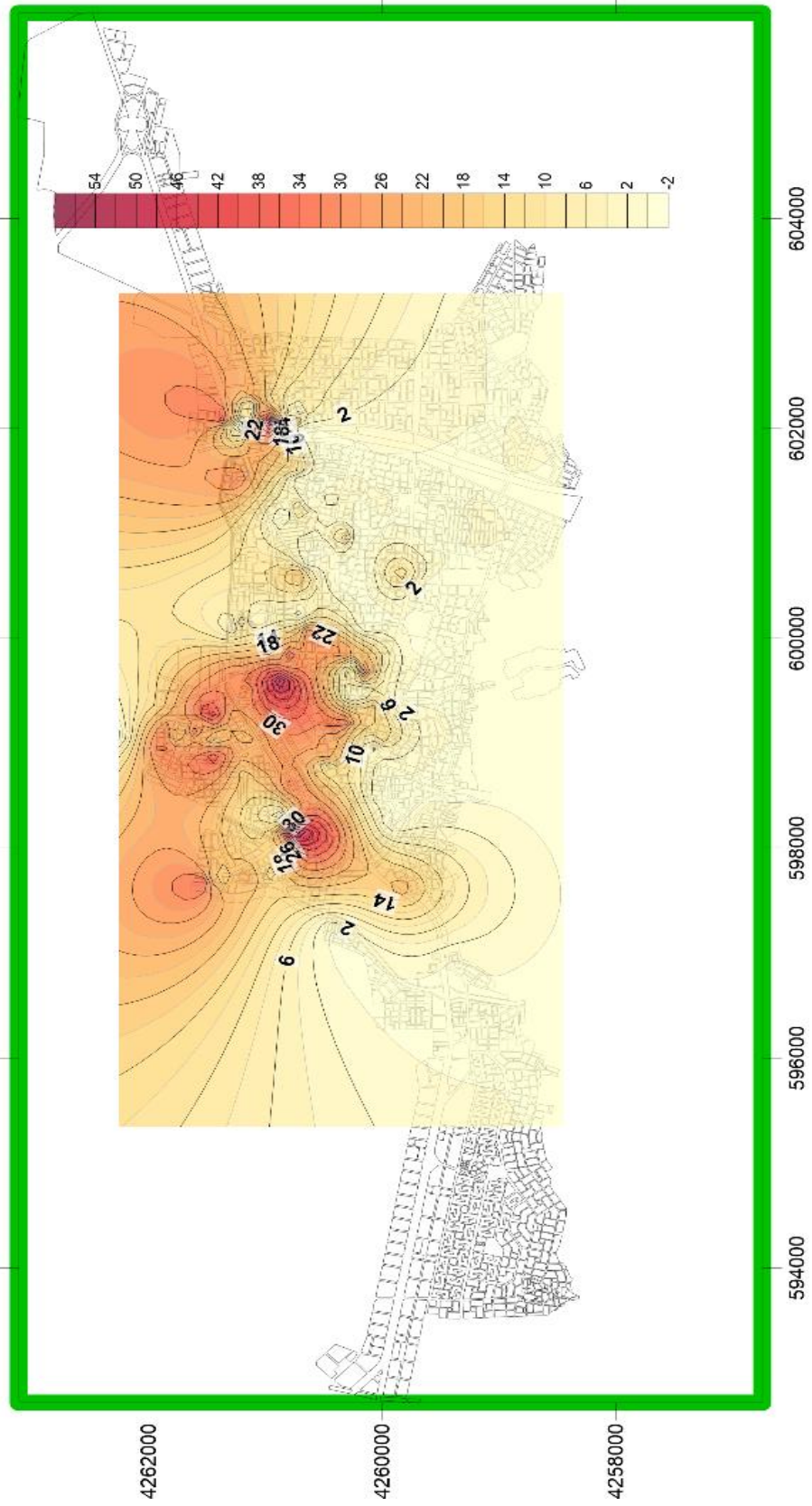
Zeminlerin sismik yükler etkisinde gösterecekleri deformasyon ve deplasmanların değerlendirilmesi, geoteknik deprem mühendisliği problemlerinin en zor konularından biri olarak gösterilmektedir. Buna karşın, mühendislerin en çok ihtiyaç duyabilecekleri bilgiler de muhtemelen bu değerlendirmeler sonrasında elde edilmektedir. İnşaa edilecek yapının önemine bağlı olarak, sıvılaşmanın tetiklenmesi ve 5 cm civarındaki deplasmanlar kimi zaman önemsiz olabilecekken kimi zaman da sıvılaşmanın tetiklenmediği ama milimetre mertebesindeki çok düşük genlikli deplasmanların, örneğin nükleer enerji santralleri gibi yapılar için çok büyük sorunlar

yaratabileceği bilinmektedir. Sıvılaşma sonrası oturmaların hesaplanması Ishihara ve Yoshimine [36] yöntemi kullanılmıştır. Zemindeki hacimsel deformasyonu belirlemek için sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı ile zeminin yoğunluğu arasında bir bağıntı elde edilmiştir. Yoğunluk terimi olarak relatif sıklık, SPT direnci veya CPT direnci kullanılabilir.

Sıvılaşma sonrası oturma haritalarını oluştururken izlenecek yöntem şu şekilde tarif edilebilir;

1. Sahada elde edilen SPT ve laboratuvar deney sonuçlarının elde edilmesi,
2. NCEER yöntemi kullanarak sıvılaşma tetikleme analizlerinin yapılması,
3. Ishihara ve Yoshimine [36] yöntemine göre oturma değerlerinin hesaplanması.
4. CBS tabanlı bilgisayar programı yardımıyla sıvılaşma tehlike haritalarının oluşturulması.

Bilgisayar yazılımı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen oturma değerleri tablo 4-11 topluca listelenmiştir. Ayrıca Şekil 4-19'de oturma değerlerinin imar planı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4-19 Oturma tahmin değerleri haritası

Tablo 4-11 Ishihara ve Yoshimine yöntemine göre hesaplanan sıvılaşmaya bağlı oturma değerleri

Prj No	X	Y	OTURMA
1	602071,1	4261191	0
2	596991,4	4260119	0
3	599170	4261444	27,09
4	599056,3	4260010	14,24
5	598483,2	4260043	0
6	601261,8	4260609	0
7	599105,7	4261733	28,6
8	599296,7	4261300	25,09
9	601763,2	4260574	0
10	597768	4260956	11,91
11	599076	4261574	26,26
12	599780	4260174	23,65
13	599725	4260213	0
14	597143,1	4260277	0
15	600858,8	4260238	0
16	600707	4260151	0
17	601435	4259197	0
18	601611,2	4258659	0
19	598491	4259834	0
20	601367	4259618	0
21	602069	4260959	54,09
22	601265,6	4259922	0
23	601603,8	4259701	0
24	599067	4261440	23,1
25	601747	4260479	0
26	601713,2	4260106	0
27	602084	4260723	15,07
28	599122,2	4261579	26,26
29	597714	4261408	14,24
30	600905,2	4259661	0
31	602150,3	4258800	0
32	600015	4260685	20,91
33	600792,8	4259127	0
34	599505	4261119	29,16
35	598828	4261090	24,41
36	599065	4261750	17,67
37	597262	4260454	0
38	599685	4260183	37,77
39	598524	4260761	28,45
40	600165,4	4259474	0
41	601485	4259456	0
42	600164	4259474	0
43	600554,5	4260102	0
44	600980	4260309	15,55
45	598604	4260793	31,82

Prj No	X	Y	OTURMA
46	598802	4260485	8,07
47	598200,1	4259945	0
48	599024	4261607	25,82
49	599435,2	4260508	25,08
50	601558,8	4260328	0
51	599792,2	4259441	0
52	597619,4	4259814	20,21
53	600098,1	4260186	0
54	602254	4261094	28,12
55	600608	4259845	13,92
56			17,83
57	601321,3	4259533	0
58	598414,9	4259389	0
59	597675,7	4261512	34,11
60	601986,1	4261177	0
61	600919,5	4258991	0
62	598932,4	4260500	26,73
63	598842,9	4260451	23,13
64			0
65	599377,5	4260095	15,86
66	602187,3	4260641	8,58
67	598552,3	4259916	0
68	598865,1	4261433	37,77
69	599054,8	4261412	0
70	599034,5	4260552	26,84
71	597709,7	4261130	21,62
72	599486,9	4260140	0
73	597013,4	4260199	0
74	597684,9	4261492	25,75
75	599049,2	4261152	20,29
76	600922,6	4259434	0
77	601293,8	4260626	0
78	599035	4261506	20,98
79	602069,6	4260782	15,38
80	600046,4	4260635	34,62
81	603284	4259157	0
82	595344,4	4258783	0
83	601068,8	4259600	0
84	601640,2	4260038	0
85	601556	4259703	0
86	601210,9	4260815	0
87	599042,8	4260529	20,39
88	598686,3	4259977	0
89	599289	4259489	0
90			14,61
91	598728,5	4259584	0
92	600609	4260712	21,61
93	599055	4261155	20,29

Prj No	X	Y	OTURMA
94	600892,9	4259089	0
95	599682,4	4260261	0
96	599060,5	4262257	0
97	596763,9	4259070	0
98	599435,1	4260276	0
99	601392,4	4260466	0
100	601116,3	4260452	0
101	599190,8	4260454	32,21
102	599088,1	4261715	20,21
103	598292	4260847	0
104	600568,7	4259596	0
105	599850,1	4260330	29,66
106	598978,9	4259264	0
107	599067,9	4261750	0
108	601732,2	4260392	0
109			29,89
110	599015,8	4261373	25,31
111	599687,9	4260016	7,53
112	600936,1	4259264	0
113	600099,5	4260529	18,48
114	599715,9	4260803	23,78
115	599237,6	4261470	44,2
116	599043,5	4260998	25,71
117	602068,1	4258779	0
118	600459,3	4259700	0
119	602218,8	4261115	0
120	600519,7	4259622	0
121	598894,5	4259626	0
122	601275,5	4260146	0
123	600880,5	4260484	0
124	600959	4260238	0
125	601543	4259706	0
126	599694	4259731	0
127	600518	4259621	0
128	600162,5	4259202	0
129	601626	4260535	0
130	599129	4261403	25,11
131	600951,3	4258869	0
132	600144	4261182	22,55
133	598743	4261195	16,11
134	601244	4260691	15,23
135	601189,8	4259889	0
136	601485	4260681	0
137	601558	4260745	0
138	601377	4259721	0
139	601229	4260031	0,27
140	600521,6	4260427	0
141	598665,2	4260012	0

Prj No	X	Y	OTURMA
142	599703	4261310	28,12
143	601071	4260269	0
144	601140	4260910	0
145	600204	4260695	0
146	601459	4260039	0
147	602017	4261171	0
148	599086,2	4261591	24,78
149	601927	4258747	0
150	596962	4259398	0
151	600704	4260664	0
152	599347	4261927	14,79
153	602078	4261385	31,03
154	598992	4260092	0
155	599463	4259387	0
156	599655,7	4259662	0
157	601421,2	4259584	0
158	599609,3	4260863	57,65
159	602021,3	4260753	0
160	602393,2	4261118	23,16
161	599840,8	4260595	27,69
162	602267	4260985	13,44
163	598979,5	4261902	32,95
164	601579	4260745	12,82
165	598056,1	4260823	21,65
166	600224,5	4259767	0
167	601181,8	4259358	0
168	599040	4261545	24,08
169	601201,7	4259933	0
170	598904,3	4260208	8,69
171	601515,2	4259510	0
172	599102,9	4261717	20,19
173	599190,6	4261578	27,76
174	599127,1	4261823	31,79
175	601240,9	4260160	0
176	602098,2	4260794	0
177	599916,1	4259770	0
178	599144,3	4260285	20,19
179	595703,6	4258971	0
180	602212,1	4261086	20,41
181	598142,1	4260500	40,54
182	601012,1	4260027	0
183	601597,7	4260147	0
184	600841,4	4259595	0
185	598766,8	4259607	0
186	601543,1	4259461	0
187	598135,5	4260775	65,05
188	600228,4	4259766	0
189	600380,4	4260244	0

Prj No	X	Y	OTURMA
190	599380,7	4259867	0
191	601792,8	4258450	0
192	601407,7	4260149	0
193	600542,2	4259621	0
194	600842,3	4259549	0
195	599183,9	4260313	34,11
196	599849,1	4259616	0
197	599174,4	4261514	22,36
198	602143,1	4258829	0
199	601702,5	4260052	0
200	597779,4	4261189	21,64
201	598678	4260936	22,74
202	602075,5	4260930	37,51
203	600815,8	4259324	0
204	600882,8	4260178	0
205	601320,3	4260255	0
206	600206,4	4259208	0
207	599142,2	4261704	20,35
208	601986,2	4261175	21,75
209	599908,8	4260690	24,84
210	600739,8	4260139	0
211	598441,2	4259705	0
212	601558,2	4260043	0
213	597790,4	4260720	24,48
214	600555,9	4260102	0
215	600086,5	4260109	0
216	602095,5	4259187	0
217	600123,2	4261232	0
218	601040,4	4259840	0
219	599833,3	4260833	38,06
220	600721,4	4260414	0
221	599099	4261590	41,75
222	598830,4	4259570	0
223	600155,2	4261118	0
224	598895	4259627	0
225	602138,5	4260726	0
226	601501,4	4261245	30,09
227	602037,2	4260668	0
228	602083,3	4261347	41,8
229	601278,8	4260658	0
230	602009,5	4261314	10,12
231			27,08
232	599129,7	4261728	17,08
233	599827,1	4260867	22,61
234	598422,9	4259146	0
235	601352,6	4260452	4,6
236	598442,8	4260582	27,87

Çalışma alanında elde edilen sıvılaşmaya bağlı oturma değerlerinin istatistiksel bilgileri ise Tablo 4-12’de gösterilmiştir.

Tablo 4-12 Sıvılaşmaya bağlı oturma değerlerinin istatistiksel bilgileri

Ortalama	24,4222
Min	0
Max	65,05
Adet	236
OrtSap	12,0743
StdSap	13,7693

Sıvılaşmaya bağlı oturma beklenen değerler gözönüne alınarak yapı tasarımlarında Skempton ve Mac Donalds (1956) [41] tarafından önerilen maksimum toplam oturma değerleri değerlendirildiğinde büyük oranda maksimum değerlerin aşıldığı görülmektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere binaların sıvılaşmaya karşı önlem alınmadan çok az bir kısmının izin verilebilir oturma sınırları içinde kalabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4-13 Skempton ve Mac Donalds (1956) tarafından yapılarda temel ve zemin türüne bağlı Maksimum Toplam Oturma için önerilen değerler [41].

Zemin Tipi	Temel Tipi	Maksimum Toplam Oturma(cm)
Kohezyonlu	Tekil	6,50
Kohezyonlu	Radye	6,50-10
Granüler	Tekil	4
Granüler	Radye	4-6,50

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 1. Derece deprem bölgesinde bulunan Salihli kent merkezinin, deprem kaynaklı zemin sıvılaşmasına bağlı tehlike haritalarının oluşturulması ve muhtemel zemin oturma değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Gerek konut gerekse mühendislik yapılarının tasarımına dayanak teşkil edecek altlık oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

236 adet sondajda yapılan su seviyesi ölçümlerinden %62'sinde (147 adedinde) su seviyelerinin sıvılaşma için eşik kabul edilen 20 m'den sığ, %38'inin de (89adet) 20 m'den derindir.

Likit limit değerlerinin 21-49 arasında olduğu, plastik limit değerlerinin 7-32 ve plastisite indeksinin ise 3-32 değerleri arasında değiştiği görülmektedir.

İnceleme alanındaki zemin sınıflarının yaklaşık %92'nin sıvılaşmaya duyarlı zemin sınıflarından olan ML, MI, SW, SP, SM, SC, GP, GC, GM, GP-GM, sınıfı zeminlerden; %8'nin ise sıvılaşmaya duyarlı olmayan MH, CL, CI, CH, ML-OL sınıfı zeminlerden oluşmaktadır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe göre 12. Bölümde bulunan zemin grupları sınıflandırmasına göre, incelenen zeminlerin % 57'si Z4/D ve %43 'ü ise Z3/C grubu zeminler arasında yer almaktadır.

Sıvılaşmaya bağlı risk haritaları oluşturulmuştur. Haritaların incelenmesi neticesinde Salihli kent merkezinin Gaziler, Eskicami, Kocaçeşme, Atatürk, Mithatpaşa, Zafer, Beşeylül, Dedetaşı mahallerinde sıvılaşma riskinin bulunduğu tespit edilmiştir.

LPI değerlerinin 6 ile 30 arasında ve %28'inin 0-5, %11'i 5-15, %61'i ise 15 üzerinde değer aldığı belirlenmiştir.

Oturma miktarının ise 2 ile 30 cm arasında değerleri hesaplanmıştır. Sıvılaşmaya bağlı oturma beklenen değerler gözönüne alınarak yapı tasarımlarında Skempton ve Mac Donalds tarafından önerilen maksimum toplam oturma değerleri değerlendirildiğinde büyük oranda maksimum değerlerin aşıldığı görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere binaların sıvılaşmaya karşı önem alınmadan çok az bir kısmının izin verilebilir oturma sınırları içinde kalabileceği anlaşılmaktadır.

Çalışma alanı ticari, sanayi ve yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgeler olup, yapılacak imar yenileme planları, kentsel dönüşüm planlarında ve deprem hasar sakınım planlarında sismik sıvılaşma nedenli hasar potansiyelleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca yeni yapılacak yapıların tasarlanmasında elde edilen bölgelendirme haritalarının kullanılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Kramer, S.L. Geoteknik Deprem Mühendisliği (K. Kayabalı, Çev.). Ankara, Gazi Kitabevi, 2003, 708 s.
- [2] Department of Civil Engineering- University of Washington, Why does Liquefaction occur, <https://depts.washington.edu/liquefy/html/why/why1.html>, Erişim Tarihi: 30.11.2018
- [3] Wang, W. S. Some findings in soil liquefaction. Chinese Journal Geotechnical Engineering. 1980, 3, 55-63.
- [4] Unutmaz, B. Assessment Of Soil – Structure – Earthquake Interaction Induced Soil Liquefaction Triggering. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2008, 280 s. (Doktora Tezi).
- [5] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Chritian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F.Jr, Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F.III., Martin, G.R., Mitchell, J.K., MoriWaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K. Seed, R.B., Stokoe, K.H.II. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 nceer and 1998 nceer/nsf workshops on evaluation of liqefaction resistance of soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2001, 127(10), 817–833.
- [6] Toprak, S. ve Yoshizaki, K. Boru Hatlarına Deprem Yüklerinin Etkisi. 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi, 26-30 Mayıs, 2003, İstanbul, (Bildiri Özetleri Kitabı, 29-30.)
- [7] Sancio R. B., Bray J. D., Durgunoglu T., Onalp A. Performance Of Buildings Over Liquefiable Ground in Adapazarı Turkey, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August, 2004, Canada
- [8] Department of Civil Engineering- University of Washington, What is soil Liquefaction, <https://depts.washington.edu/liquefy/html/what/what1.html>, Erişim Tarihi: 30.11.2018
- [9] Ulusay, R. Zemin sıvılaşması, Mavi Gezegen Popüler Yerbilimleri Dergisi. 2000, 2, 47-56 .
- [10] M. Yoshida, M. Miyajima, M. Kitaura. Experimental Study on Mitigation of Liquefaction-Induced Floatation of Sewerage Manhole by Using Permeable Recycled Materials Packed in Sandbags. 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, 2008, Beijing
- [11] Department of Civil Engineering- University of Washington, When has Liquefaction occurred in the past, <https://depts.washington.edu/liquefy/html/quakes/niigata/niigata.html> Erişim Tarihi: 30.11.2018
- [12] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O. Zemin sıvılaşması-I, Hazır Beton Dergisi. 2003, 38, 37-42.
- [13] Department of Civil Engineering- University of Washington, What is soil Liquefaction , <https://depts.washington.edu/liquefy/html/main.html>., Erişim Tarihi: 30.11.2018

- [14] Department of Civil Engineering- University of Washington, What is soil Liquefaction Level 2, <https://depts.washington.edu/liquefy/html/what/what2.html> , Erişim Tarihi: 30.11.2018
- [15] Karamanderesi, İ. K., Alaşehir Sıvılaşma, Yayınlanmamış Kişisel Arşiv
- [16] Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss R. E., Kammerer A. M., Wu J., J. Pestana M., Riemer M. F., Sancio R. B., Bray J. D., Kayen R. E. ve Faris A. Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: a Unified and Consistent Framework, , University of California, Los Angeles, 2003, 72s.
- [17] Özaydın, K. Zemin Sıvılaşması. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, 2007, İstanbul (Çağrılı Bildiriler Kitabı, 231-235.)
- [18] Çetin, K.Ö., ve Bilge, H.T. Zeminlerin Sismik Yükleme Altında Deformasyon ve Mukavemet Davranışlarına Kritik Bakış. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Kongresi, 30 Eylül-1 Ekim, 2010, İstanbul (Bildiriler Kitabı, 19-55.)
- [19] Finn, L. W., Ledbetter, R. H., Guoxi, W. U. Liquefaction in silty soils: design and analysis ground failures under seismic conditions, Geotechnical Special Publication. 1994, 44, 51-79.
- [20] Andrews D.C., Martin G.R. Criteria for Liquefaction of Silty Sands, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 30 January - Friday 4 February, 2000, Auckland, New Zealand
- [21] Bray, J. D., Sancio, R. B. Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2006, 132[9], 1165-1177.
- [22] Boulanger, R.W., Idriss, I.M. Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. Journal Geotechnical Geoenvironmental Engineering. 2006, 132(11), 1413-1426.
- [23] Bilge H.T. Cyclic Volumetric and Shear Strain Responses of Fine-Grained Soil. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2010, 305 s. (Doktora Tezi).
- [24] Moss, R.E.S. ve Chen, G. Comparing Liquefaction Procedures in the US and China. 14th World Conference On Earthquake Engineering, 12-17 October, 2008, Beijing
- [25] Yağmurlu F. Salihli güneyinde üste doğru kabalaşan neojen yaşlı alüvyonal yelpaze çökelleri ve gediz grabeninin tektono-sedimanter gelişimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 1987, 30, 33-40.
- [26] Çevre ve şehircilik Bakanlığı, Salihli (Manisa) ve çevresine ait topografik rölyef haritası, www.csb.gov.tr, Erişim Tarihi: 20.11.2018.
- [27] Maden Teknik Arama Enstitüsü, Salihli ve çevresindeki aktif fay hatları haritası , <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari> , Erişim Tarihi: 20.11.2018.
- [28] Seed, H.B. ve Idriss, I.M. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, 1971, 97[9], 1249-1273.

- [29] Seed, H. B., ve Idriss, I. M. Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, ABD, 1982, 298s.
- [30] Sönmez, H. Modification to the Liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction prone area, Environmental Geology, 2003, 44(7), 862-871.
- [31] Power, M. S., ve Holzer, T. L. Liquefaction Maps, Applied Technology Council, California, 1996, 12s.
- [32] Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., ve Yasuda, S. A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan. 2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application, 26 Kasım-1 Aralık,1978, San Francisco
- [33] A. Özocak ve S. Sert. Sıvılaşma Tayininde SPT ve LPI Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Kongresi, 30 Eylül-1 Ekim, 2010, İstanbul, (Bildiriler Kitabı 297-306.)
- [34] Ishihara, K. Stability of Natural Deposits During Earthquakes, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 12-16 August, 1985, San Francisco
- [35] Tokimatsu, K. ve Seed, H. B. Evaluation of settlements in sand due to earthquake shaking. Journal of Geotechnical Engineering. 1987, 113, 861-878.
- [36] Ishihara, K. ve Yoshimine, M. Evaluation settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. Soils and Foundations. 1992, 32(1), 173-188.
- [37] Shamoto, Y., Zhang, J. M., ve Tokimatsu, K. Methods for evaluating residual post-liquefaction ground settlement and horizontal displacement. Soils and Foundations. 1998, 38, 69–83.
- [38] Wu, J., Seed R.B. Estimating of liquefaction-induced ground settlement. 5th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 14-17 April, 2004, New York
- [39] Çetin,K.Ö., Bakır.S.,Yılmaz, R., Gülkan, P., Soyöz, S., Yılmaz, T., Unutmaz, B., Ozan, C. Jeoteknik Amaçlı Zemin Araştırmaları ve Yüzey Zeminlerinin Karakterize Edilerek Belgelendirilmesi Konulu Eğitim Semineri Notları, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2002, 198s.
- [40] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007, 156 s.
- [41] Skempton, A. W. ve Macdonald, D. H. The allowable settlements of buildings. Proceeding of the Institution of Ciil Engineering. 1956, 5[6], 727-768.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ercan OYAN

Doğum Yeri ve Yılı : Manisa/Salihli, 1981

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ercan4520@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Türkbirliği Lisesi, 1998

Lisans : Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2004

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2019

Mesleki Deneyim

Arş İnşaat Şti. 2004-2006

Salihli Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü 2006- Halen