



**KÜTAHYA İL MERKEZİNDE BELİRLİ BİR
BÖLGE ZEMİNİN SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan KABAK

Danışman

Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜTAHYA İL MERKEZİNDE BELİRLİ BİR BÖLGE ZEMİNİNİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Sinan KABAK

Danışman

Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÜTAHYA İL MERKEZİNDE BELİRLİ BİR BÖLGE ZEMİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Sinan KABAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail ZORLUER

Deprem esnasında oluşan dinamik yüklerin etkisiyle gevşek taneli zeminlerin kayma dayanımını kaybetmesi sonucunda sıvılaşma meydana gelir. Sıvılaşma ile ağır yapılarda zemine gömülme ve devrilme, hafif gömülü yapılarda yüzeye çıkma, istinat yapılarında yıkılma, şevlerde göçme vb deformasyon oluşabilir. Sıvılaşma ile ortaya çıkacak hasarları önlemek veya azaltmak amacıyla bölgesel olarak sıvılaşma risk haritaları oluşturulur.

Bu çalışmada, Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı Gaybiefendi, Meydan ve Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde sıvılaşma potansiyelleri belirlenerek sıvılaşma risk haritaları oluşturulmuştur. Toplam 112 sondaj kuyusundaki zemin verileri incelenmiştir. Sondaj kuyularında yapılan Standart Penetrasyon Deney (SPT) sonuçlarından ve sondaj kuyusu zemin verilerinden yararlanarak risk analizi için gereken zemin verileri elde edilmiştir. Analizlerde zemin sınıfına göre Matasovic/Vucetic ve ya Dobry/Matasovic boşluk suyu basıncı oluşum modeli kullanılmıştır. Analizler için 11 adet deprem seçilmiştir. Depremlerin PGA değerleri ile seçilen depremler ölçeklendirilmiş ve toplamda 44 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Her sondaj kuyusu bu 44 adet deprem kaydı ile Deepsoil 6.1 programında analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından elde edilen verilerin ortalaması alınarak, mahalleler için ortalama sıvılaşma riskleri elde edilmiştir.

Elde edilen sıvılaşma riskleri deprem düzeyine göre farklı sonuçlar vermektedir. Yönetmeliğin tasarım depremi olarak kabul ettiği Deprem Düzeyi-2 (DD-2)'ye göre yapılan sıvılaşma analiz sonuçları; Gaybiefendi Mahallesiinde ortalama sıvılaşma riski %

40, Meydan Mahallesinde % 35 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 23 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sıvılaşma riski DD1'e göre % 68 ile meydan mahallesinde oluşurken, en düşük risk DD4'e göre % 3 olarak Lala Hüseyin Paşa mahallesinde hesaplanmıştır.

Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde SPT değerlerinin genel olarak yüksek olması sebebiyle sıvılaşma riski Gaybiefendi ve Meydan Mahallelerine göre düşüktür. Elde edilen sıvılaşma haritaları, bu bölgelerde yeni yapılacak yapılar için zeminin sıvılaşma durumunu göstererek önceden önlem alınmasına yardımcı olacaktır. Sıvılaşma riskinin yüksek olduğu mevcut yerleşim yerlerinde ise gerekli tedbirlerin alınması önerilmektedir.

2021, xiii + 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, Sıvılaşma Risk Haritası, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Deepsoil

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**DETERMINATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL OF A SPECIFIED AREA
SOIL IN KÜTAHYA CITY CENTER**

Sinan KABAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. İsmail ZORLUER

Liquefaction occurs because of loose granular soils losing their shear strength due to the dynamic loads that occur during an earthquake. With liquefaction, sinking and overturning in heavy structures, uprising in lightly embedded structures, collapse in retaining structures, collapse in slopes, etc. deformation may occur. Regional liquefaction risk maps are created in order to prevent or reduce the damages to be caused by liquefaction.

In this study, liquefaction risk maps were created by determining liquefaction potentials in Gaybiefendi, Meydan, and Lala Hüseyin Paşa neighborhood of Kütahya Province Merkez district. Soil data from 112 boreholes were examined. Soil data required for risk analysis were obtained using the Standard Penetration Test (SPT) results and borehole soil data. In the analysis, Matasovic/Vucetic or Dobry/Matasovic pore water pressure formation model was used according to soil class. 11 earthquakes were selected for analysis. The earthquakes selected with the PGA values of the earthquakes were scaled and a total of 44 earthquake records were created. Each borehole was analyzed in the Deepsoil 6.1 program with these 44 earthquake records. By taking the average of the data obtained from the analysis results, the average liquefaction risks for the neighborhoods were obtained.

The obtained liquefaction risks give different results according to the earthquake level. Liquefaction analysis results according to Earthquake Level-2 (DD-2), which the

regulation accepts as a design earthquake; The average liquefaction risk was calculated as 40% in Gaybiefendi neighborhood, 35% in Meydan Neighborhood and 23% in Lala Hüseyin Paşa neighborhood. While the highest risk of liquefaction occurred in the square district with 68% according to DD1, the lowest risk was calculated in Lala Hüseyin Paşa Neighborhood as 3% according to DD4.

Due to the high SPT values in Lala Hüseyin Paşa Neighborhood, the risk of liquefaction is lower than in Gaybiefendi and Meydan Neighborhoods. The obtained liquefaction maps will help to take precautionary measures by showing the liquefaction status of the ground for new structures to be built in these regions. It is recommended to take necessary precautions in existing settlements where the risk of liquefaction is high.

2021, xiii + 81 pages

Keywords: Liquefaction, Liquefaction Risk Map, Standard Penetration Test (SPT), Deepsoil.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail ZORLUER, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Süleyman GÜCEK, çalışmada kullanılan zemin etüd raporlarının teminini sağlayan Kütahya Belediyesine, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve her zaman yanımda olan Adnan ÇELİK' e teşekkür ederim.

Sinan KABAK
Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Sıvılaşma	3
2.1.1 Oluşumu ve Mekanizması	3
2.1.2 Sıvılaşma Türleri.....	5
2.1.2.1 Akma Türü Sıvılaşma	5
2.1.2.2 Devirsel Hareketlilik.....	6
2.1.3 Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Zeminler	6
2.1.4 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler	7
2.1.4.1 Relatif Sıkılık.....	7
2.1.4.2 İnce Dane Oranı ve Plastisite	8
2.1.4.3 Dane Boyutu, Şekli ve Dağılımı	9
2.1.4.4 Yatay Toprak Basıncı Katsayısı	10
2.1.4.5 Aşırı Konsolidasyon Oranı	11
2.1.4.6 Yeraltı Su Seviyesi.....	12
2.1.4.7 Zeminin Drenaj Koşulları	12
2.1.4.8 Yaşlanma ve Çimentolanma	12
2.1.4.9 Yapı Yüğü.....	13
2.1.4.10 Çevre Basıncı	13
2.1.4.11 Depremın Büyüklüğü ve Süresi	13
2.1.4.12 Sismik Geçmişin Etkisi.....	14
2.1.5 Sıvılaşma Sonucu Oluşan Problemler.....	15
2.1.5.1 Kum Kaynaması	15

2.1.5.2 Akma Göçmesi	15
2.1.5.3 Yanal Yayılma	16
2.1.5.4 İstinat Yapısı Yenilmesi.....	17
2.1.5.5 Taşıma Gücü Kaybı	18
2.1.5.6 Gömülü Hafif Yapıların Yükselmesi	19
3. MATERYAL ve METOT	20
3.1 Kütahya Bölgesinin Tanıtılması	20
3.2 Kütahya Bölgesinin Depremselliği.....	21
3.2.1 Kütahya Bölgesinde Geçmişte Olan Depremler	23
3.3 Çalışma Yapılan Mahallelerin Tanıtılması.....	27
3.4 Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi.....	29
3.4.1 Kayma Dalgası Hızı (V_s).....	29
3.4.2 Birim Ağırlık.....	30
3.4.3 N_{60} (Düzeltilmiş SPT sayısı) Değerinin Belirlenmesi	31
3.4.4 Derinlik Düzeltmesi (C_N).....	34
3.4.5 İçsel Sürtünme Açısı (ϕ).....	35
3.4.6 Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı (K_0)	37
3.4.7 Drenajsız Kayma Mukavemeti (C_u).....	38
3.4.8 Aşırı Konsolidasyon Oranı (OCR)	39
3.5 Aşırı Boşluk Suyu Basıncı Oluşum Modelleri	40
3.5.1 Dobry & Matasovic Modeli	41
3.5.2 Matasovic & Vucetic Modeli.....	42
3.6 Çalışmada Kullanılan Aşırı Boşluk Suyu Basıncı Oluşum Modelleri	43
3.7 Deprem Kayıtlarının Belirlenmesi	44
4. BULGULAR	47
4.1 İncelenen Sondaj Kuyuları	47
4.2 Sıvılaşma Potansiyellerinin Belirlenmesi	53
4.3 Sıvılaşma Haritaları	65
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	69
6. KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	77
EKLER	78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

V_s	Kayma Dalgası Hızı
K_o	Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı
C_N	Örtü Gerilimi
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
C_u	Drenajsız Kayma Mukavemeti
Mg	Mega gram
N_{60}	Düzeltilmiş vuruş sayısı
C_E	Enerji düzeltme faktörü
C_B	Kuyu çapı düzeltme faktörü
C_S	Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü
C_R	Tij uzunluğu düzeltme faktörü
σ_v'	Efektif gerilme
C	Kohezyon
σ_h	Yatay gerilme
σ_v	Düşey gerilme
D_r	Relatif sıkılık
D_{60}	Zeminin yüzde altmışının geçtiği çap
D_{10}	Zeminin yüzde onunun geçtiği çap

Kısaltmalar

CH	Yüksek plastisiteli kil
CL	Düşük plastisiteli kil
CPT	Koni Penetrasyon
DD	Deprem Yer Hareketi Düzeyi
ML	Düşük plastisiteli silt
NP	Non-plastik
OCR	Aşırı Konsolidasyon Oranı
PGA	En Büyük Yer İvmesi
PI	Plastisite İndisi
SC	Killi kum
SM	Siltli kum
SPT	Standart Penetrasyon
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Zemin danecikleri; okların uzunluğu zemin parçaları arasındaki bağlantı kuvveti ile doğru orantılıdır. Su basıncı arttıkça bağlantı kuvveti azalmaktadır.....	4
Şekil 2.2 Sıvılaşmanın fiziksel süreci (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).....	4
Şekil 2.3 San Francisco’ da Merced gölü kıyısı boyunca 1957 yılında gelişen küçük bir akma kayması (Kramer 1996).....	5
Şekil 2.4 Relatif sıklığın sıvılaşmaya etkisi (Seed 1976).....	7
Şekil 2.5 Sıvılaşma gözlenmiş zeminlerin dane çapı dağılım eğrileri (Ishihara 1985)....	8
Şekil 2.6 Sıvılaşma potansiyeli olan zeminler için dane boyutu dağılımı (Tsuchida 1970).....	10
Şekil 2.7 Yatay toprak basıncı katsayısının sıvılaşma direncine etkisi (Seed ve Lysmer 1976).....	11
Şekil 2.8 Aşırı konsolidasyon oranının sıvılaşma direncine etkisi (Ishihara ve Takatsu, 1979).....	11
Şekil 2.9 Sismik geçmişin sıvılaşmaya etkisi (Seed 1978).....	14
Şekil 2.10 Yüzeyde kum konileri oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).....	15
Şekil 2.11 Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma (Uyanık 2002).....	16
Şekil 2.12 Yanal yayılma oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).....	16
Şekil 2.13 1989 Loma Prietadepreminde devlet parkı yakınında oluşan yan al yayılma (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).....	17
Şekil 2.14 1995 Kobe depreminde sıvılaşma sonucu oluşan istinat duvarı yenilmesi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).....	17
Şekil 2.15 Taşıma gücü kaybı yenilme biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).....	18
Şekil 2.16 1999 Marmara depreminde Adapazarı ilinde sıvılaşma sonucu devrilen bina.....	19
Şekil 2.17 Gömülü hafif yapılarda, sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Sönmez 2006).....	19
Şekil 3.1 Kütahyanın konumu.....	20
Şekil 3.2 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018).....	21
Şekil 3.3 Türkiye’nin aktif tektonik haritası (Okay vd 2000).....	22
Şekil 3.4 Kütahya-Merkez diri fay haritası (Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü).....	23

Şekil 3.5 1900-2020 yılları arasında $38.79^{\circ} - 39.92^{\circ}$ enlemleri ile $28.57^{\circ} - 30.38^{\circ}$ boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremlerin konumu (AFAD).....	24
Şekil 3.6 1900-2020 yılları arasında $38.79^{\circ} - 39.92^{\circ}$ enlemleri ile $28.57^{\circ} - 30.38^{\circ}$ boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremlerin sayısı (AFAD).....	24
Şekil 3.7 Çalışma alanının sınırları.....	27
Şekil 3.8 Gaybiefendi Mahallesi (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).....	28
Şekil 3.9 Meydan Mahallesi (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).....	28
Şekil 3.10 Lala Hüseyin Paşa Mahallesi (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).....	29
Şekil 3.11 SPT Deneyinin yapılışı (Coduto 1994).....	32
Şekil 3.12 Efektif Kayma Direnci Açısı ile Plastisite indisi arasındaki ilişki (Terzaghi vd. 1996).....	37
Şekil 4.1 Gaybiefendi Mahallesinde incelenen sondaj kuyularının yerleri (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).....	48
Şekil 4.2 Meydan Mahallesinde incelenen sondaj kuyularının yerleri (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).....	50
Şekil 4.3 Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde incelenen sondaj kuyularının yerleri (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).....	51
Şekil 4.4 232 Ada 5 Parsel, 39.4286 enlem 29.9864 boylam koordinatlı kuyunun sondaj logu.....	54
Şekil 4.5 Deepsoil 6.1 yazılımında boşluk suyu basıncı analizinin tanımlanması.....	57
Şekil 4.6 Deepsoil yazılımında 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun 1.tabakası (0-1,5m) için girilen zemin parametre değerleri.....	58
Şekil 4.7 Deepsoil yazılımında 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun 1.tabakası (0-1,5m) için oluşturulan G/Gmax, Damping (sönümleme), Shear Strength (kayma dayanımı, Cu) eğrileri.....	58
Şekil 4.8 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun son katman parametrelerinin tanımlanması.....	60
Şekil 4.9 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-1 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.....	63
Şekil 4.10 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-2 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.....	63
Şekil 4.11 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-3 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.....	64
Şekil 4.12 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-4 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.....	64
Şekil 4.13 Deprem yer hareketi DD-1' e göre sıvılaşma haritası.....	65
Şekil 4.14 Deprem yer hareketi DD-2' ye göre sıvılaşma haritası.....	66

Şekil 4.15 Deprem yer hareketi DD-3' e göre sınılaşma haritası.....	67
Şekil 4.16 Deprem yer hareketi DD-4' e göre sınılaşma haritası.....	68



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 1900-2020 yılları arasında $38.79^{\circ} - 39.92^{\circ}$ enlemleri ile $28.57^{\circ} - 30.38^{\circ}$ boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremler.....	25
Çizelge 3.2 Kayma dalgası hızının SPT-N değerine bağlı olarak çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenen bağıntıları (Sönmezer 2016).....	30
Çizelge 3.3 Bazı zeminlerin tipik yoğunluk değerleri (Hansbo 1975).....	31
Çizelge 3.4 Kuyu çapı düzeltme faktörü (C_B) değerleri (Robertson ve Fear 1996).....	33
Çizelge 3.5 Ülkelere göre enerji düzeltme faktörü (Toğrol ve Sivrikaya 2009).....	33
Çizelge 3.6 Çalışmada kullanılan C_R düzeltme faktörleri.....	34
Çizelge 3.7 Derinlik düzeltme faktörü (C_N) değerleri (Toğrol ve Sivrikaya 2009).....	35
Çizelge 3.8 SPT-N ile ϕ' arasındaki ilişkiler (McGregor ve Duncan 1998).....	36
Çizelge 3.9 Aşırı boşluk suyu basıncı oluşum model ve parametreleri (Hashash vd. 2016).....	41
Çizelge 3.10 Dobry & Matasovic Modeli Parametreleri.....	42
Çizelge 3.11 Matasovic & Vucetic Modeli Parametreleri.....	43
Çizelge 3.12 Çalışmada kullanılan aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelleri.....	44
Çizelge 3.13 Analizlerde kullanılan depremler (AFAD).....	44
Çizelge 3.14 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde kullanılan ivme değerleri.....	46
Çizelge 4.1 Gaybiefendi Mahallesinde incelenen sondaj kuyuların konumları.....	48
Çizelge 4.2 Meydan Mahallesinde incelenen sondaj kuyuların konumları.....	50
Çizelge 4.3 Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde incelenen sondaj kuyuların konumları.....	52
Çizelge 4.4 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun zemin parametre değerleri.....	55
Çizelge 4.5 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun boşluk suyu oluşum model parametreleri.....	56
Çizelge 4.6 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun Deepsoil profili.....	59
Çizelge 4.7 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-1 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.....	61
Çizelge 4.8 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-2 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.....	61
Çizelge 4.9 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-3 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.....	62
Çizelge 4.10 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-4 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.....	62

Çizelge 4.11 Analiz sonuçlarına göre yer hareketi düzeyleri (DD) için mahallelerin ortalama sıvılaşma riski yüzdeleri.....	68
--	----



1. GİRİŞ

Sıvılaşma, literatürde ilk kez Terzaghi tarafından 1925 yılında ortaya atılmış ve Terzaghi sıvılaşmayı, suya doygun zeminin çökmesi sırasında zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının zemini çevreleyen suya aktarılması durumunda meydana gelebilir olarak tanımlamıştır. Bu olay sonucunda zeminin herhangi bir derinliğinde hidrostatik su basıncı yükselerek büyüklüğü suya batan zeminin birim ağırlığına yaklaşır (Castro 1969). Mogami ve Kubo (1953) sıvılaşmayı, dinamik yükler anında gevşek daneli zeminlerin kayma dayanımlarını kaybetmesi olarak ifade etmiştir (Unutmaz 2008). Geoteknik mühendisliğinde sıvılaşmayla ilgili önemli gelişimler 1964 yılındaki Niigata (Japonya) ve Alaska depremleri sonrasında başlamıştır.

Sıvılaşmayla ilgili yapılan çalışmalarda başlarda sadece kum zeminlerde meydana geldiği düşünülmüştür ama zamanla gelişen araştırmalar bu durumun doğru olmadığını ve başka zemin türlerinde de sıvılaşmanın gerçekleşebileceğini göstermiştir. Ishiara (1984,1985) kohezyonlu siltler, Bray vd (2004) ince daneli zeminler, ve Youd vd. (1985) çakıllı zeminlerde sıvılaşmanın oluşabileceğini belirtmişlerdir.

Zeminler, daneler arasındaki temas kuvvetleri sonucunda bir dayanıma sahip olurlar, daneleri bir arada tutmaya yarayan temas kuvvetiyle efektif gerilme oluşur. Daneler arasındaki suyun, oluşturduğu gerilme boşluk suyu basıncı olarak ifade edilmekte ve efektif gerilme üzerinde etkili olmaktadır.

Deprem sırasında zeminde meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sonucunda, yer altı su seviyesi yüzeye doğru yükselir ve boşluk suyu basıncı artar bu durumun devam etmesi sürecinde efektif gerilme sıfıra doğru yaklaşır, sıfır olduğu anda taşıma gücü kaybı meydana gelir ve sıvılaşma olayı tam anlamıyla gerçekleşmiş olur. Ülkemiz depremlerin yoğun yaşandığı bir coğrafyadadır. Deprem sırasında yapılarımızın betonarme tasarımları yeterli olsa bile zeminde gerçekleşecek sıvılaşma can ve mal kayıplarına neden olur. Bu yüzden yapılarda, zemin araştırmalarına da önem verilmelidir.

Bu çalışmada Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı Gaybiefendi, Meydan ve Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde sondaj kuyularından elde edilen veriler ile Deepsoil 6.1 programı kullanılarak sıvılaşma potansiyelleri belirlenmiştir. Gaybiefendi Mahallesinde 44, Meydan Mahallesinde 33, Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde 35 sondaj noktası incelenmiştir. Belirlenen zemin sınıfına göre Matasovic/Vucetic ve ya Dobry/Matasovic boşluk suyu basıncı oluşum modeli kullanılmıştır. Analizler için 11 adet deprem seçilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) tanımlanan dört adet deprem yer hareketi düzeyleri (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) için Türkiye Deprem Haritasından (AFAD) mahallelere ait PGA (en büyük yer ivme) değerleri alınmıştır. Alınan PGA değerleri ile seçilen depremler ölçeklendirilmiş ve toplamda 44 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Her sondaj kuyusu bu 44 adet deprem kaydı ile analiz edilmiş ve tüm DD değerleri için elde edilen sonuçlar doğrultusunda sıvılaşma haritaları çizilmiştir.

Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde SPT (Standart Penetrasyon) değerlerinin genel olarak yüksek olması sebebiyle sıvılaşma riski Gaybiefendi ve Meydan Mahallelerine göre düşüktür. Sıvılaşma haritaları bu bölgelerde yeni yapılacak ve ya mevcut yapılar için zeminin sıvılaşma durumunu göstererek gerekli tedbirlerin alınmasını sağlayabilir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Sıvılaşma

Terzaghi 1925 yılında literatürde sıvılaşmayla ilgili ilk ifadeyi ortaya atmıştır. Terzaghi sıvılaşmayı, suya doygun zeminin çökmesi sırasında zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının zemini çevreleyen suya aktarılması durumunda meydana gelebilir olarak tanımlamıştır. Bu olay sonucunda zeminin herhangi bir derinliğinde hidrostatik su basıncı yükselerek büyüklüğü suya batan zeminin birim ağırlığına yaklaşır (Castro 1969). Mogami ve Kubo (1953) sıvılaşmayı, dinamik yükler anında gevşek daneli zeminlerin kayma dayanımlarını kaybetmesi olarak ifade etmiştir (Unutmaz 2008). Geoteknik mühendisliğinde sıvılaşmayla ilgili önemli gelişimler 1964 yılındaki Niigata (Japonya) ve Alaska depremleri sonrasında başlamıştır.

Sıvılaşmayla ilgili yapılan çalışmalarda başlarda sadece kum zeminlerde meydana geldiği düşünülmüştür ama zamanla gelişen araştırmalar bu durumun doğru olmadığını ve başka zemin türlerinde de sıvılaşmanın gerçekleşebileceğini göstermiştir. Ishiara (1984,1985) kohezyonlu siltler, Bray vd (2004) ince daneli zeminler, ve Youd vd. (1985) çakıllı zeminlerde sıvılaşmanın oluşabileceğini belirtmişlerdir.

2.1.1 Oluşumu ve Mekanizması

Zeminler, daneler arasındaki temas kuvvetleri sonucunda bir dayanıma sahip olurlar, daneleri bir arada tutmaya yarayan temas kuvvetiyle efektif gerilme oluşur. Daneler arasındaki suyun, oluşturduğu gerilme boşluk suyu basıncı olarak ifade edilmekte ve efektif gerilme üzerinde etkili olmaktadır.

Deprem sırasında zeminde meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sonucunda, yer altı su seviyesi yüzeye doğru yükselir ve boşluk suyu basıncı artar bu durumun devam etmesi sürecinde efektif gerilme sıfıra doğru yaklaşır ve sıfır olduğu anda taşıma gücü kaybı meydana gelir ve sıvılaşma olayı tam anlamıyla gerçekleşmiş olur.

2.1.2 Sıvılaşma Türleri

Sıvılaşma, meydana getirdiği hasar çeşitine göre Akma Türü Sıvılaşma ve Devirsel Hareketlilik olmak üzere ayrılır.

2.1.2.1 Akma Türü Sıvılaşma

Zeminin çeşitli sebepler sonucu kayma dayanımının yenilmesiyle birlikte büyük kütleler halinde hareket etmesidir. Daha çok suya doygun kıyı bölgelerdeki zeminlerde görülmektedir. Zeminde akma türü sıvılaşma gerçekleşikten sonra, zemin kütlesi kayma gerilmeleriyle hareket halindedir ve büyük yıkıma yol açacak durumlar oluşmaktadır. Akma türü sıvılaşmanın temel özellikleri arasında, aniden oluşması ve hızlı hareket etmesi gösterilebilir (Kramer 1996).



Şekil 2.3 San Francisco’ da Merced gölü kıyısı boyunca 1957 yılında gelişen küçük bir akma kayması (Kramer 1996).

2.1.2.2 Devirsel Hareketlilik

Deprem sırasında zeminde oluşan tekrarlı kayma gerilmelerinin zeminin direncini aşması sonucu oluşan sıvılaşma durumudur. Devirsel hareketlilik sonucu yapılarda oluşan deformasyonların sebebi devirsel gerilmeler ve statik kayma gerilmeleridir (Uyar 2006). Genellikle eğimi az olan bölgelerde ve düz yüzeylerde gerçekleşir. Devirsel hareketlilik sonucu oluşan sıvılaşma türünde yapılarda ciddi hasarlar meydana gelir.

Deprem sırasında meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sonucu zemindeki su yüzeye doğru hareket ederek boşluk suyu basıncını artırır ve zemindeki çatlak kısımlardan kum çıkışları gözlenebilir bu duruma kum kaynaması olarak bilinir ve düşey oturmalara sebebiyet verir.

2.1.3 Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Zeminler

Özellikle kum zeminlerde kayma direnci taneler arasındaki etkileşime bağlıdır. Deprem anında zemindeki boşluk suyu basıncının artmasıyla kum tanelerinin arasına su girerek bu etkileşimi azaltır ve kum zeminin direnci düşer, bir süre sonra zemin sıvı gibi davranır (Siyahi 2000).

Geçmişteki depremlerin incelenmesiyle sıvılaşmaya karşı daha hassas olan zeminler belirlenmiştir.

- Doygun iri kum, siltli kum ve hatta kumlu silt gibi zeminlerde drenaj koşulları yetersiz ise,
- Zeminin ortalama tane çapı $D_{50} = 0,02$ ile $1,00$ mm arasında ve ince malzeme yüzdesi de ($d \leq 0,005$ mm) %10'unu geçmiyor ise,
- Üniformaluluk kat sayısı (D_{60}/D_{10}) < 10 ise,
- Relatif sıkılık, $Dr < \% 75$ ise,

Sıvılaşmaya daha hassas olur. Bu tür zeminlerde zeminin direncini kırarak büyüklükte bir deprem zeminin sıvılaşmasına neden olur (Siyahi 2000).

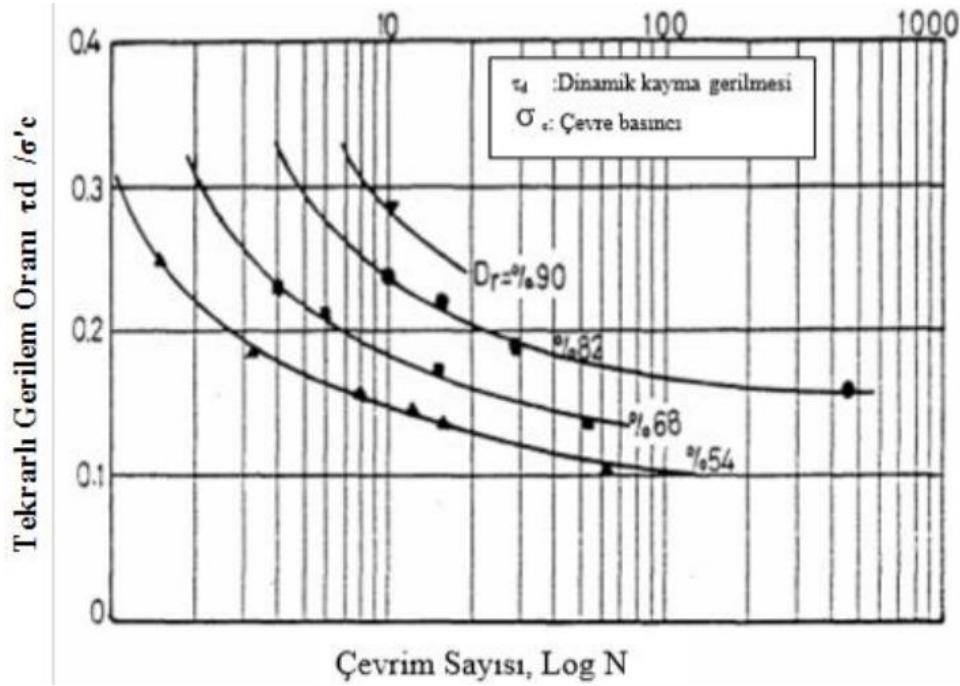
Düzeltilmiş SPT-N sayısının 30' dan büyük olduğu durumlarda zeminin sıvılaşmayacak derecede sıkı olduğu belirtilmiştir (Youd vd. 2001).

Sıvılaşma eğilimi olan kumlar üzerinde yapılan SPT deneylerinde vuruş sayısının 25' in altında olduğu, sıvılaşmanın ayrıca kumun başlangıç boşluk oranına, titreşim sayısına ve çevre basıncına dayalı olduğu belirtilmiştir (Pampal 2000).

2.1.4 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

2.1.4.1 Relatif Sıkılık

Relatif sıkılık değeri kohezyonsuz zeminlerde zeminin davranışını etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir ve aşırı boşluk suyu basıncıyla ilgilidir.(Altun 2004). Zeminlerde relatif sıkılık değeri arttıkça daha geçirimsiz olur bu sayede sıvılaşmaya karşı daha dirençli bir durum meydana gelir. Relatif sıkılık değerinin artmasıyla, ön sıvılaşma oluşa bilmesi için gerekli olan tekrarlı gerilim oranının da artması gerekmektedir (Şekil 2.4).

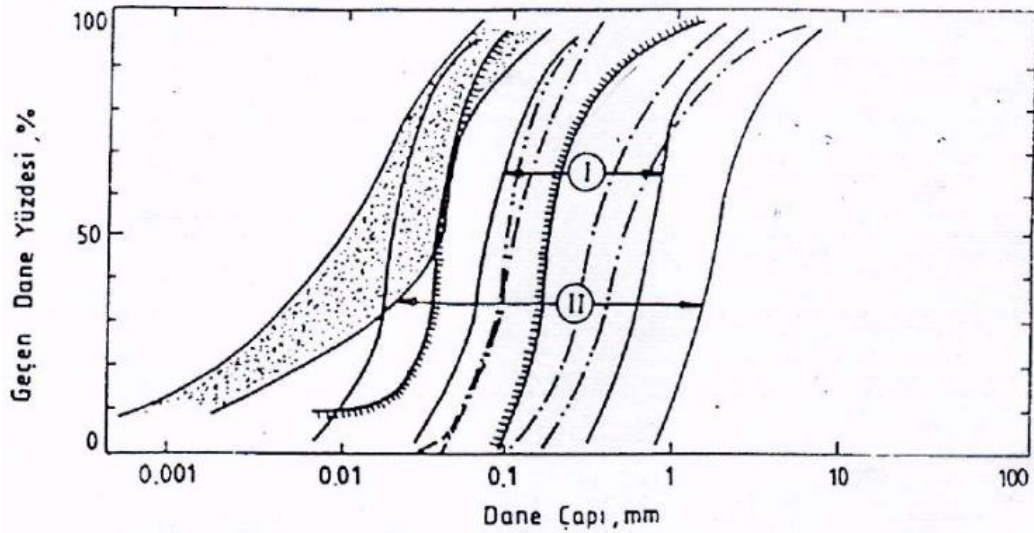


Şekil 2.4 Relatif sıkılığın sıvılaşmaya etkisi (Seed 1976).

2.1.4.2 İnce Dane Oranı ve Plastisite

Geçmişte yapılan sıvılaşma çalışmalarında ince dane miktarının etkisinin araştırılmamasına rağmen daha sonraki yıllarda meydana gelen sıvılaşma olaylarında, ince dane içeren kumlu zeminlerin de olmasından dolayı etkisi araştırılmaya başlanılmıştır.

Geçmişte oluşan depremler incelendiğinde dane çapını incelemek için sıvılaşan zeminler üzerinde dane çapı eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 2.5). Şekil 2.5’ te ince dane içeren kumların sıvılaşma olasılıkları ince dane içermeyen kumlara oranla daha fazla olduğu görülmektedir.



-  En çok sıvılaşabilecek zeminler için sınır (Tsuchida, 1970)
-  Sıvılaşma potansiyeli olan zeminler için sınır (Tsuchida, 1970)
-  İnce boyutlu madensel atıklar (Ishihara, 1985)
-  Sıvılaşmış kum (Ekiba-Toho Oki depremi, 1987)
-  Sıvılaşmış kum (Niigata depremi, 1964)
-  Sıvılaşmış kum (Nihankai-Chubu depremi, 1983)

Şekil 2.5 Sıvılaşma gözlenmiş zeminlerin dane çapı dağılım eğrileri (Ishihara 1985).

Wang (1979), siltlerin sıvılaşmasıyla ilgili olarak yaptığı araştırmalarında plastik limit, likit limit, su muhtevası ve dane dağılımı için denklemler elde etmiştir. Günümüzde Çin Kriteri olarak adlandırılan bu durum ince daneli zeminde sıvılaşma için gerekli şartların aşağıdaki gibi olması gerektiğini öne sürmüştür.

- Kil yüzdesi $< \% 15$
- $W_L < \% 35$
- $W_n \geq 0,9 W_L$

W_L : Likit limit

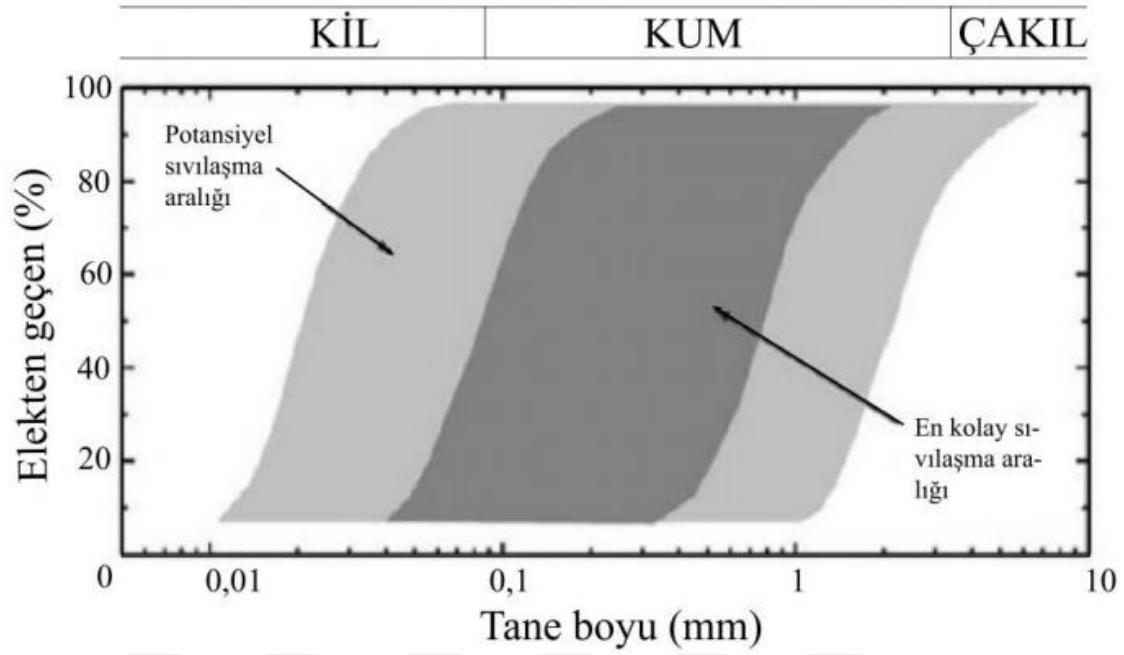
W_n : Doğal su içeriği

Kil yüzdesi: $5 \mu m$ ' den ince dane yüzdesi

Siltli zeminlerin sıvılaşmalarının araştırılması Haicheng (1975) ve Tangshan (1976) depremleriyle başlamıştır. Hyogoken-Nanbu (1995) depreminde siltlerin sıvılaşmaları tespit edilmiştir. Silt birikintileri depremlerde yumuşak zemin bölgeleri meydana getirdiğinden bu bölgelerde önceki depremler sırasında zeminlerde deformasyon ve yenilme durumları belirlenmiştir. Günümüzde tam olarak siltlerin sıvılaşma potansiyelleri hakkında net bir yargıya varılamamıştır.

2.1.4.3 Dane Boyutu, Şekli ve Dağılımı

Sıvılaşma oluşabilmesi için ortamda suyun bulunması gerektiğinden sıvılaşma potansiyeli, zeminin hacminin değişmesini sağlayan özelliklerden etkilenir. Dane boyutu, dane şekli ve dane dağılımı zeminlerin hacim değişimini etkileyen özelliklerdendir ve zeminlerin sıvılaşma potansiyeli bu özelliklere göre farklılık göstermektedir (Kramer 1996).

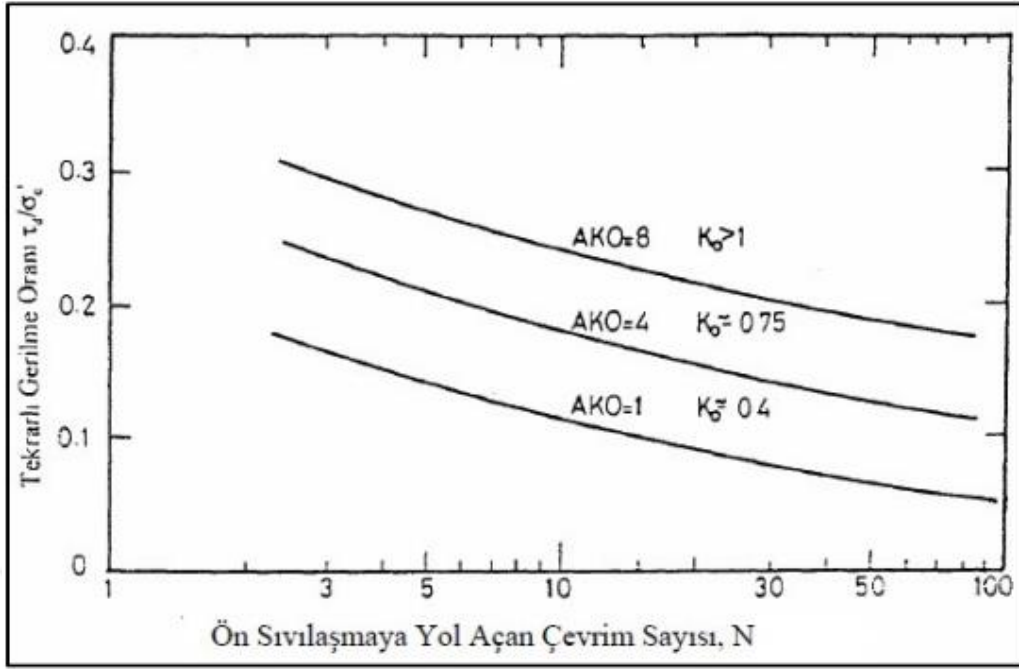


Şekil 2.6 Sıvılaşma potansiyeli olan zeminler için dane boyutu dağılımı (Tsuchida 1970).

Yuvarlak taneli yapıya sahip zeminler, köşeli yapılara sahip zeminlerden daha kolay sıkışabildiği için sıvılaşmaya karşı daha duyarlıdır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).

2.1.4.4 Yatay Toprak Basıncı Katsayısı

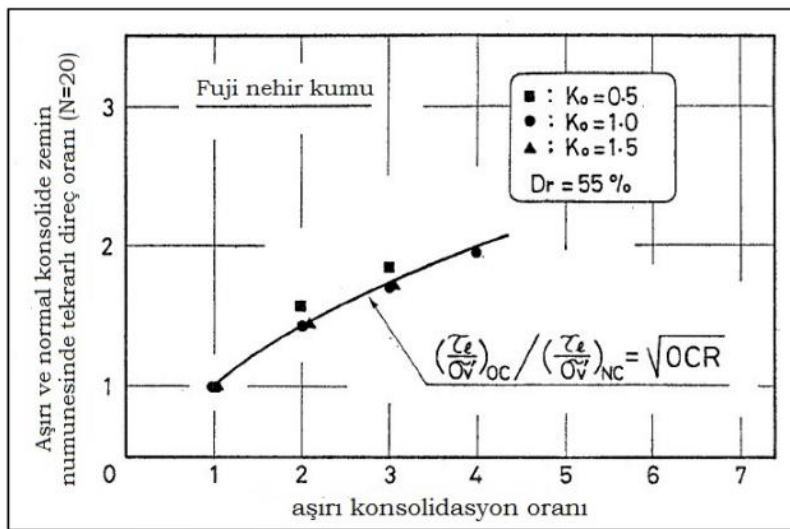
Yatay toprak basıncı katsayısının artmasıyla Şekil 2.7' de görüldüğü gibi sıvılaşmaya sebep olacak gerilme oranlarında da artış meydana gelmektedir (Çavuş 2004). Bu durum zeminin sıvılaşma direncini arttırmaktadır.



Şekil 2.7 Yatay toprak basıncı katsayısının sıvılaşma direncine etkisi (Seed ve Lysmer 1976).

2.1.4.5 Aşırı Konsolidasyon Oranı

Nehir kumu üzerinde yapılan (Ishihara ve Takatsu 1979), üç eksenli burulmalı kesme deneyinde, aşırı konsolidasyon oranının artmasıyla sıvılaşma direncinin de doğrusal olmayan bir şekilde arttığı belirlenmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Aşırı konsolidasyon oranının sıvılaşma direncine etkisi (Ishihara ve Takatsu 1979).

2.1.4.6 Yeraltı Su Seviyesi

Yeraltı su seviyesi yüzeye ne kadar yakın olursa sıvılaşma potansiyeli o kadar yüksektir. Yeraltı su seviyesinin üstünde olan ve suya doymun olmayan zeminlerde sıvılaşma olayı meydana gelmez ancak deprem anında yeraltı su seviyesi, depremin oluşturduğu tekrarlı gerilmeler yüzünden yukarı hareket etmektedir ve şartların oluşmasıyla sıvılaşma durumu meydana gelmektedir.

Wang ve Law (1994)' ın yaptığı çalışmada, yeraltı su seviyesinin 5 m' nin üzerinde olduğu yerlerde sıvılaşma görülmemiştir. Sıvılaşma olayının görüldüğü çoğu yerde yeraltı su seviyesi 3 m' den daha az seviyededir ve nadir bazı bölgelerde 3-5 m arasında değişmiştir.

2.1.4.7 Zeminin Drenaj Koşulları

Sıvılaşma olabilmesi için ortamda suyun bulunması gerekmektedir. Deprem sırasında aşırı boşluk suyu basıncının artması sonucu zeminin sıvılaşma potansiyeli artar bu sırada çeşitli nedenlerden dolayı aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltır. Bu yüzden geçirimli çakıl drenler ve ya çakıl tabakalara bitişik zeminlerde su çıkışı sağlanmış olur ve sıvılaşma potansiyeli azalır. Ancak incelenen zeminin üzerinde daha az geçirimli başka bir zemin sınıfının olması deprem sırasında suyun drenaj süresini uzatır bu durumda sıvılaşma potansiyeli artar (Çavuş 2015).

2.1.4.8 Yaşlanma ve Çimentolanma

Eski zemin çökellerinin sıvılaşma potansiyeli, yeni çökelmiş zeminlerin sıvılaşma potansiyelinden daha düşüktür. Çevre basıncının çok uzun süre etkilediği zeminlerin sıvılaşma direnci zamanla artmaktadır (Yoshimi vd. 1989). Zeminlerdeki çimentolanma poroziteyi (gözeneklilik) azalttığından sıvılaşma direncini artırır.

2.1.4.9 Yapı Yüğü

Kum çökellerin üzerine inşa edilen ağır yapılarda temelin altındaki zeminde kayma gerilmeleri oluşmaktadır bu gerilmeler sonucunda zeminin sıvılaşma potansiyeli artmaktadır. Rollins ve Seed (1990), yaptıkları sarsma tablası, santrifüj modeli deneyleri ve gevşek kumlar içeren basitleştirilmiş analizler sonucunda; aynı derinliklerde bulunan bina temelinin bitişiğindeki zeminde, açık alandaki zemine göre boşluk basıncı oluşumunun daha duyarlı olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.4.10 Çevre Basıncı

Zemin yüzeyinden derinlere gidildikçe artan çevre basıncı sebebiyle zeminlerin sıvılaşma potansiyeli azalmaktadır. Araştırmalar sonucu zemin yüzeyinden 15 m derinlerde sıvılaşma görülebileceği, 15 m den fazla olan derinliklerde artan çevre basıncı etkisinden dolayı sıvılaşma olayının çoğunlukla oluşmadığı belirlenmiştir. Sıvılaşmayacağı beklenen bu bölgeler içinde bazı durumlarda sıvılaşma analizi yapılması gerekebilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçu 2006).

2.1.4.11 Depremın Büyüklüğü ve Süresi

Sıvılaşma sırasında aşırı boşluk suyu basıncının artması depremden kaynaklanan tekrarlı kayma gerilmelerinden dolayı oluşur. Depremın büyüklüğünün artmasıyla meydana gelen pik ivme değeri de artar ve buda sıvılaşmaya daha fazla sebebiyet verir.

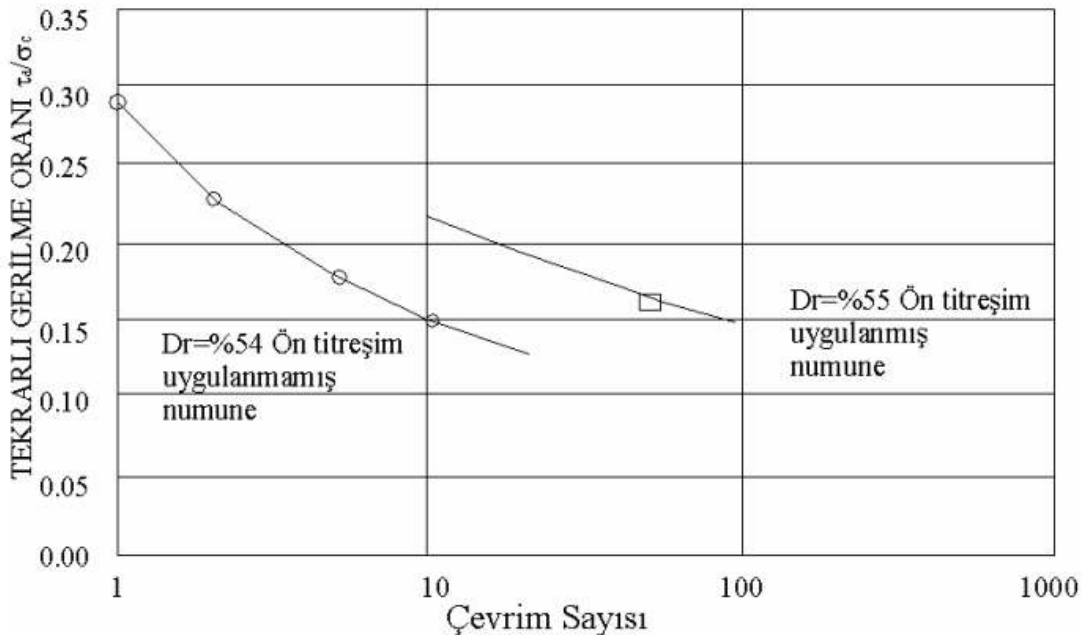
Deprem boyunca zemine etki eden tekrarlı kayma gerilmeleri zeminin direncini kırmaya çalışır ve süre ne kadar uzun olursa zeminin dayanması o kadar zorlaşır. Deprem süresiyle ilgili, 1964 Alaska depreminde ($M_w = 9,2$; $M_L = 8,4$; süre: 240 s) sıvılaşma olayı depremin son 150 saniyesinde meydana gelmiştir eğer deprem süresi 90 saniye olsaydı böyle büyük bir depremde teorik olarak sıvılaşma meydana gelmiyecekti (Tezcan ve Özdemir 2004).

2.1.4.12 Sismik Geçmişin Etkisi

Kum zeminlerin geçmişte tekrarlı gerilme etkisi altında kalması sıvılaşabilirlik durumu üzerinde etkilidir. Kum zemin geçmişte sıvılaşma olmayacak şekilde tekrarlı gerilmeye maruz kaldıysa sıvılaşma direnci artar eğer geçmişteki tekrarlı gerilme sonucu sıvılaşma olmuşsa bu zeminin mukavemetinde azalmaya neden olur.

Daha önce yapılan çalışmalarda aynı şekil ve aynı sıklıkla hazırlanmış numunelerden bazılarına ufak titreşimler uygulanmıştır. Titreşim uygulanan numunelerin sıvılaşma dirençlerinin arttığı görülmüştür (Tosun 2002).

Sıvılaşma oluşturmayacak titreşim, kum danelerindeki pürüzlülüklerin daha iyi yerleşmesine ve birbirlerine daha iyi kenetlenmesini sağlar bu da sıvılaşma direncini artırır (Şekil 2.9). Zemin üzerinde daha önceden sıvılaşmaya sebebiyet veren büyük genlikteki titreşimler ise suyun kum danelerin arasına girerek kenetlenmelerini engeller ve sıvılaşma direncini azaltır.

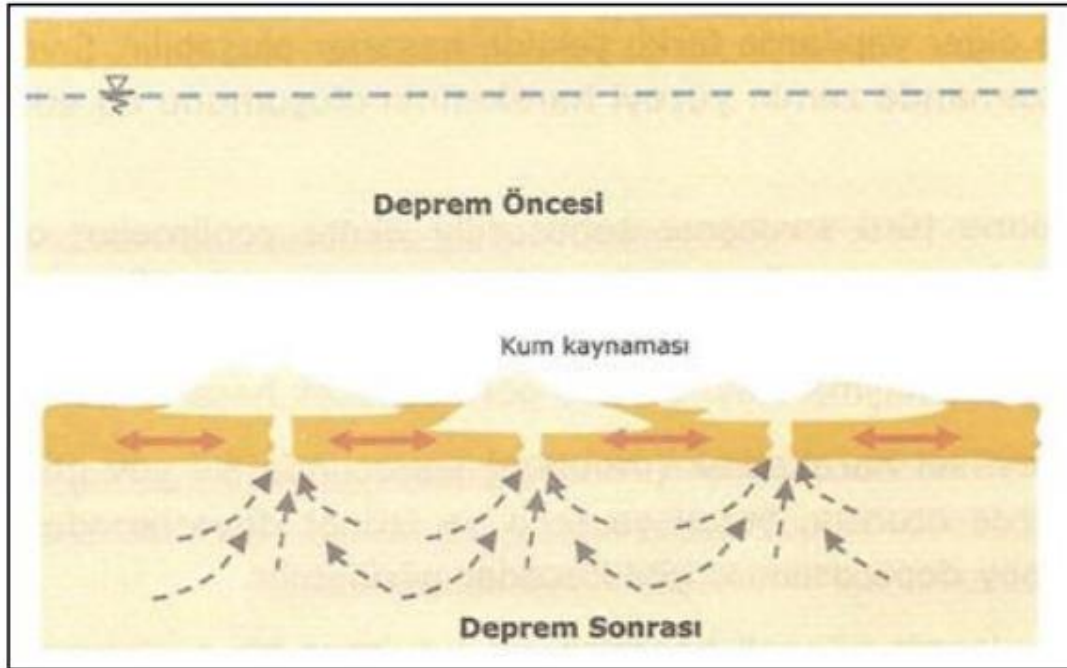


Şekil 2.9 Sismik geçmişin sıvılaşmaya etkisi (Seed 1978).

2.1.5 Sıvılaşma Sonucu Oluşan Problemler

2.1.5.1 Kum Kaynaması

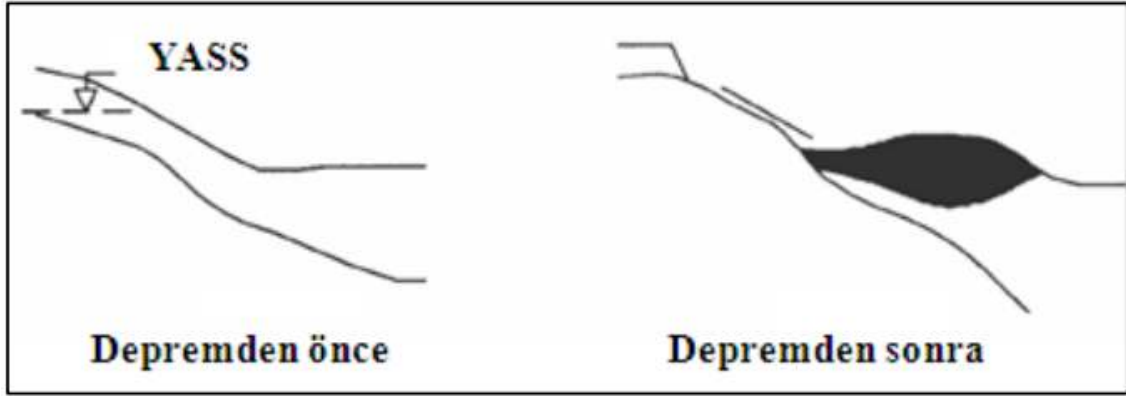
Depremden kaynaklanan tekrarlı kayma gerilmeleri sonucu zeminde aşırı boşluk suyu basıncı artar ve efektif gerilme değeri sıfıra hatta negatif değerlere düşebilir. Bu durumda su yüzeye doğru hareket ederken zemin tanelerini de beraberinde götürür. Yüzeye doğru hareket eden bu su-zemin karışımının enerjisi yeterli olursa yüzeyde kum kaynamaları görülür. Şekil 2.10' da deprem sonrasında kum kaynaması oluşumu verilmiştir.



Şekil 2.10 Yüzeyde kum konileri oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).

2.1.5.2 Akma Göçmesi

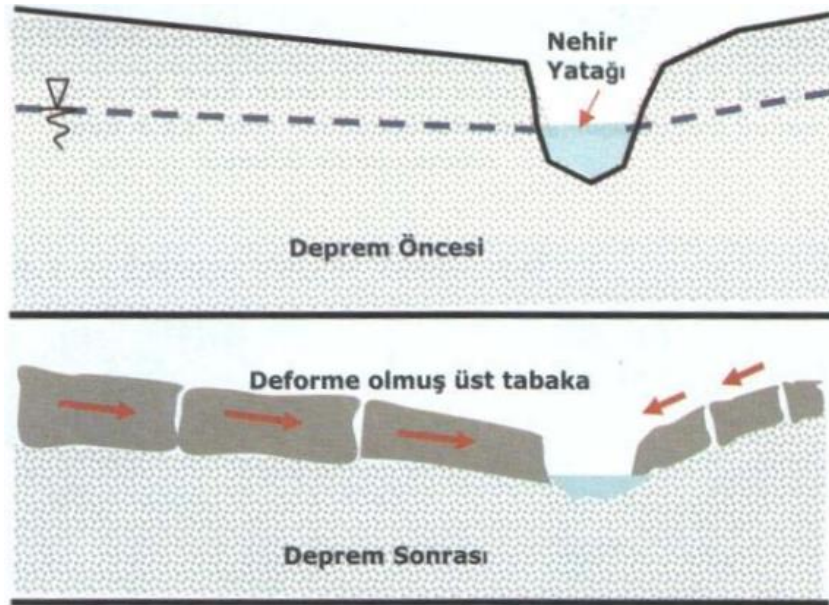
Sıvılaşmanın neden olduğu akma göçmesi problemi genellikle 3 dereceden daha fazla eğimli arazilerde oluşur (Youd 1984). Zeminde yenilme gerçekleştiği anda aniden meydana gelir ve hızlı hareket eder. Akma göçmesi gerçekleştikten sonra, zemin kayma gerilmeleriyle hareket eder ve büyük yıkımlara yol açmaktadır.



Şekil 2.11 Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma (Uyanık 2002).

2.1.5.3 Yanal Yayılma

Genellikle çok az eğimli ($0,3^{\circ}$ - 3°) yamaçlarda ve ya su kütlelerine komşu düzlüklerde oluşmaktadır (Şekil 2.12). Yanal yayılmalar, altta bulunan zeminin sıvılaşmasını ve yüzeysel sediment blokların yanal deplasmanını içerir. Deplasmanların mesafesi kısa olup ve genellikle birkaç metre ile ifade edilir. Bu durum liman tesislerine, köprülere dolgulara, yüzeysel temellere ve boru hatlarına zarar oluşturmaktadır.



Şekil 2.12 Yanal yayılma oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).



Şekil 2.13 1989 Loma Prietadepreminde devlet parkı yakınında oluşan yanal yayılma (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).

2.1.5.4 İstinat Yapısı Yenilmesi

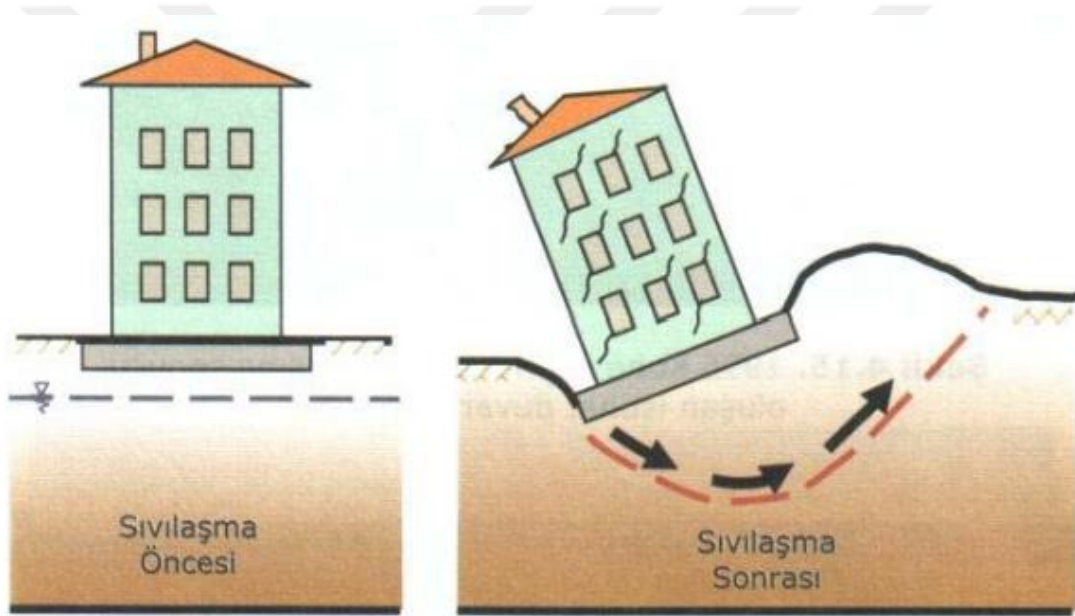
Sıvılaşmış temel zeminin dayanımını yitirmesinden ve ya istinat duvarının arkasındaki sıvılaşmış zeminde oluşan ilave yüklerden dolayı yenilmeler meydana gelir. Bu olaylar sonucu istinat yapısında deplasmanlar oluşmaktadır.



Şekil 2.14 1995 Kobe depreminde sıvılaşma sonucu oluşan istinat duvarı yenilmesi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).

2.1.5.5 Taşıma Gücü Kaybı

Sıvılaşma sırasında depremden kaynaklı tekrarlı kayma gerilmeleri aşırı boşluk suyunda artış meydana getirir. Bu artış depremin etkisiyle (büyüklük ve süre) zeminin dayanımını yitirinceye kadar devam ederse taşıma gücü kayıpları oluşur ve zemin, yükünü taşıyamayıp sıvı gibi davranır. Bunun sonucunda zeminin üzerindeki yapılarda dönme, batma, devrilme ve yan yatmalar gözlenebilir. Şekil 2.16' da Marmara depreminde Adapazarı ilinde sıvılaşma sonucu oluşan bir binanın yan yatması görülmektedir.



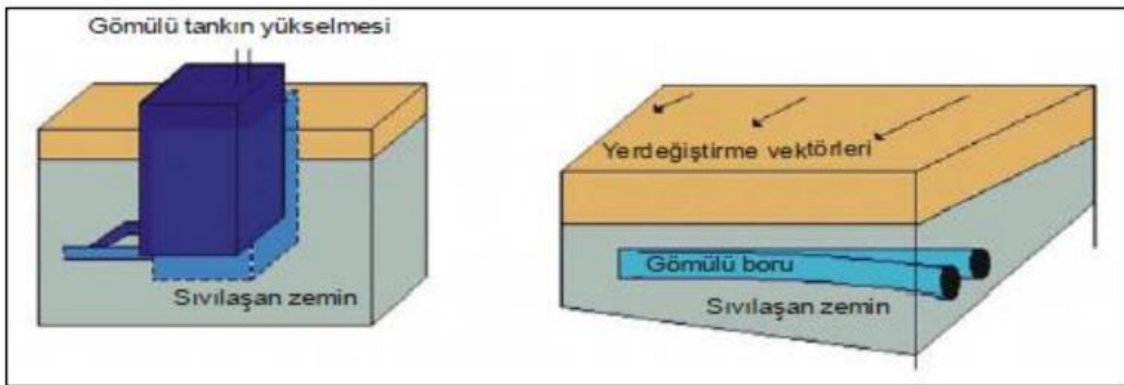
Şekil 2.15 Taşıma gücü kaybı yenilme biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006).



Şekil 2.16 1999 Marmara depreminde Adapazarı ilinde sıvılaşma sonucu devrilen bina.

2.1.5.6 Gömülü Hafif Yapıların Yükselmesi

Sıvılaşma sonucu, kaldırma kuvvetinin etkisiyle zeminde bulunan hafif yapıların hareket etmesi görülebilir. Bu tür yapılar genellikle muayene bacası, boru, gömülü tank gibi hafif yapılardır. Şekil 2.17’ de gömülü hafif yapılarda gerçekleşen hasarların oluşum şeması verilmiştir.



Şekil 2.17 Gömülü hafif yapılarda, sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Sönmez 2006).

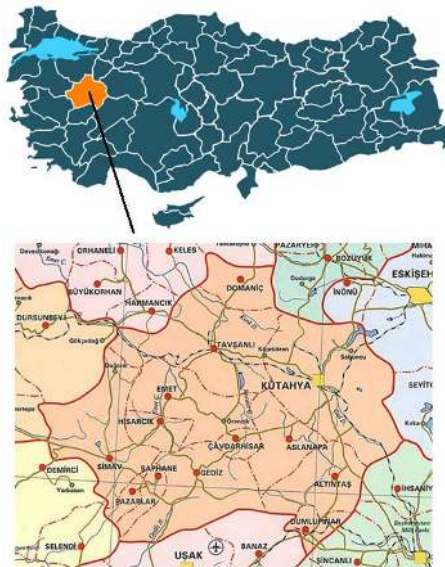
3. MATERYAL ve METOT

Sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için Kütahya ilinin Merkez ilçesinde bulunan Gaybiefendi, Meydan ve Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde yapılan zemin etüd raporları Kütahya Belediyesinden temin edilmiştir. Elde edilen zemin etüd raporlarının ilgili derinliklerinden SPT değerleri, yer altı suyu seviyesinin konumu, ince malzeme (200 no'lu elekten geçen) miktarı, birim ağırlık değerleri, plastisite indisi değerleri ve zemin sınıfının ne olduğu bilgileri alınmıştır, bu değerler kullanılarak ilgili bağıntılar (Bölüm 3.4) ile zemin parametreleri belirlenmiştir.

Mahallelerin sıvılaşma analizlerinin yapılmasında Deepsoil 6.1 programı kullanılmıştır. Bu kapsamda Matasovic/Vucetic ve Dobry/Matasovic boşluk suyu basıncı oluşum modelleri kullanılarak gerekli parametreler hesaplanılmış (Bölüm 3.5 ve 3.6) ve analizleri yapılmıştır. (Deepsoil 6.1 programında analizlerin nasıl yapıldığı detaylı olarak Bölüm 4.2'de anlatılmıştır.)

3.1 Kütahya Bölgesinin Tanıtılması

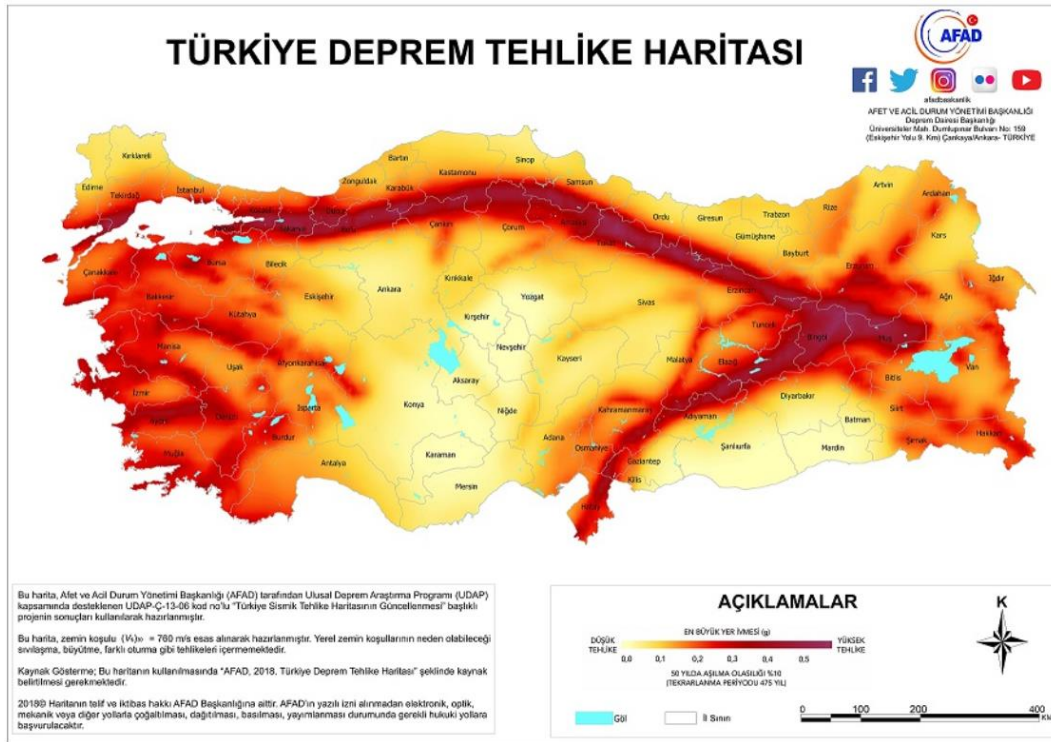
Kütahya ili $38^{\circ} 70'$ ve $39^{\circ} 80'$ kuzey enlemleri ile $29^{\circ} 00'$ ve $30^{\circ} 30'$ doğu boylamlarında bulunmaktadır. Şehir merkezinin denizden yüksekliği 969 metre ve yüzölçümü 11 977 km^2 dir. 2019 verilerine göre ilin toplam nüfusu 579 257' dir.



Şekil 3.1 Kütahyanın konumu.

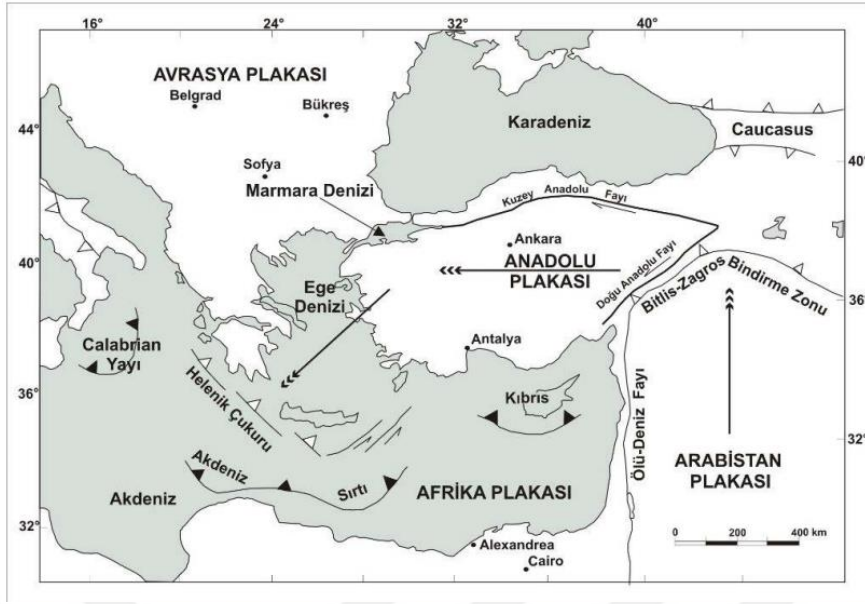
3.2 Kütahya Bölgesinin Depremselliği

Simav, Gediz–Emet ve Kütahya Fay kuşağının denetlediği Kütahya deprem bölgesi çevre illerdeki fay kuşaklarının deprem tehdidi altındadır. Bunlar arasında Kuzey Anadolu, Sultandağı, Eskişehir fay kuşakları ve Gediz Graben Sistemi bulunmaktadır. Bu durumlardan dolayı Kütahya deprem bölgesi Batı Anadolu’nun riskli deprem bölgelerinden birisi durumundadır (Sezer 2010).



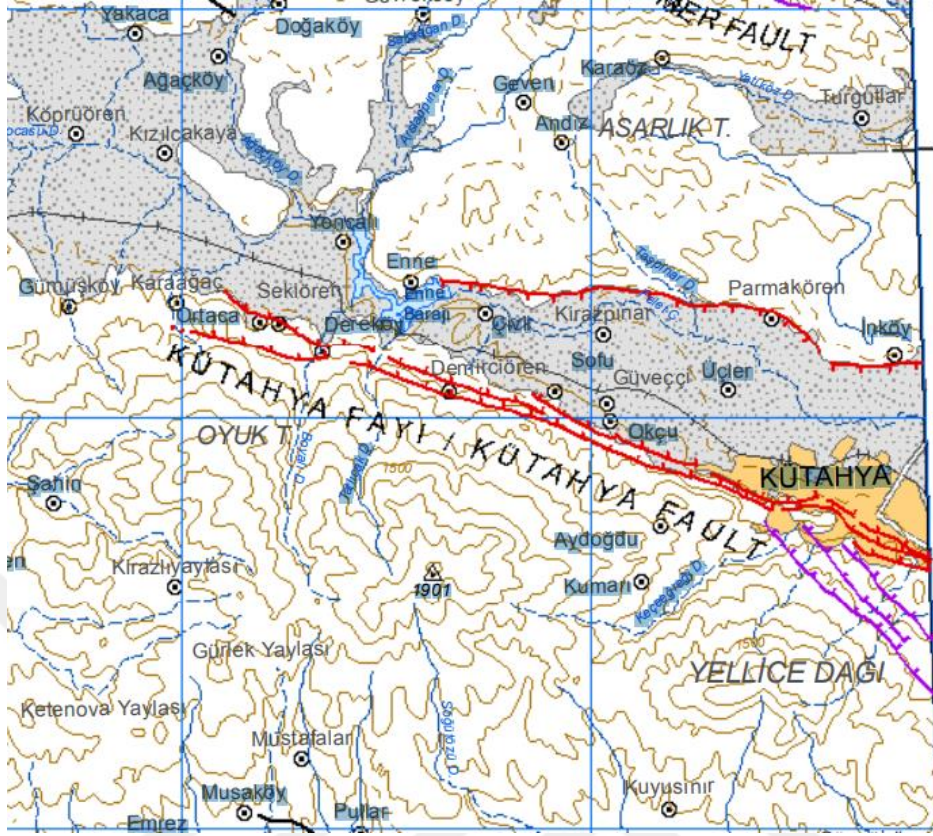
Şekil 3.2 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018).

Anadolu’nun batı yönündeki ilerleyişi, kuzey-güney doğrultusunda genişlemeye, doğu-batı doğrultusunda sıkışmalara neden olmaktadır. Bu da yöredeki fayların birbirlerini etkileyerek kırıldanmalarına sebebiyet vermektedir. Sismolojik açıdan Akdeniz Deprem Kuşağında yer alan bölge, büyüklüğü 4 ile 8 arasında deprem oluşturacak uzunluktaki diri faylarıyla 1. ve 2. dereceden riskli araziler bulundurmaktadır (Sezer 2010).



Şekil 3.3 Türkiye'nin aktif tektonik haritası (Okay vd. 2000).

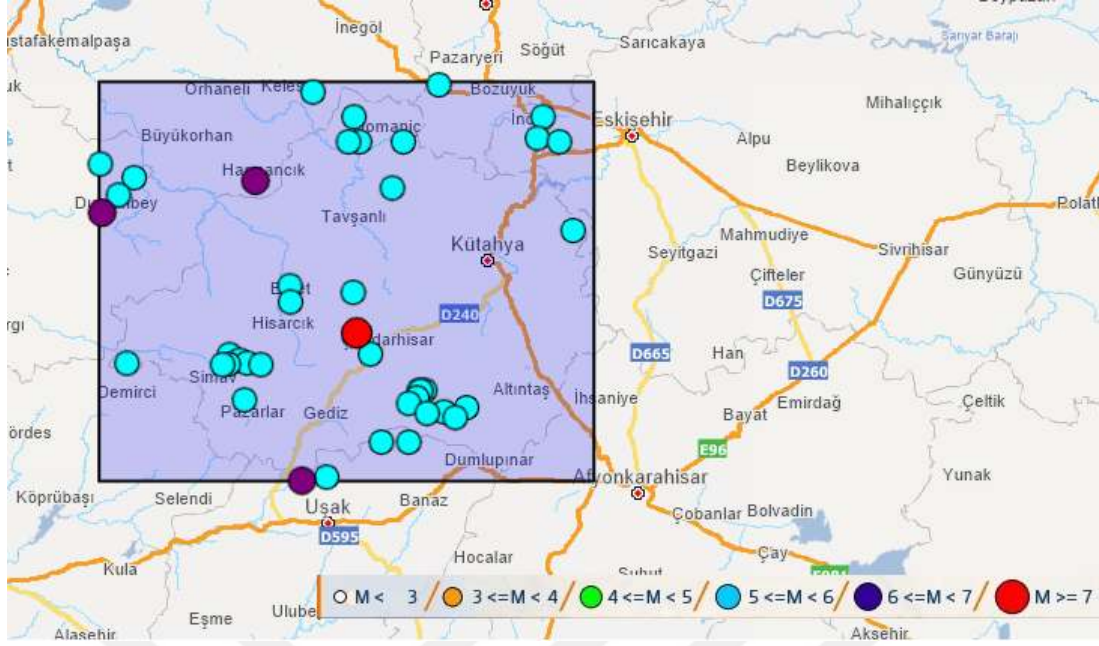
“38.25°-40.75°N paralelleri ile 27.50°-31.50°E meridyenleri arasında kalan inceleme sahasının deprem riskinin belirlenebilmesi amacıyla bir dizi istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler için 1900-2010 arasındaki 100 yıllık süre içinde meydana gelen, süre magnitüdü 4'e eşit ve daha büyük olan, yıllık maksimum depremler (yılların en büyük depremleri) esas alınmıştır. Shewhart standart sapma analizine göre, Kütahya deprem yöresinde herhangi bir yıl içinde meydana gelen ve meydana gelebilecek olan en büyük depremin büyüklüğünün 3.7 M ile 6.5 M arasında olması, % 95 olasılıkla normal görünmektedir. Yörenin normal tektonik davranışına göre, yıl içindeki en büyük depremler % 99 olasılıkla 3.0M - 7.2M aralığında gerçekleşir. Bu değerler, Kütahya yöresinin deprem yönünden oldukça aktif olduğunu göstermektedir. Gumbel-Gutenberg-Richter ve üstel olasılık dağılım yöntemleri ile yapılan yılların en büyük depremlerinin analiz sonuçlarına göre, % 63 ihtimal ile her yıl kaydedilebilecek maksimum yıllık magnitüd Kütahya deprem yöresinde 4.6, 100 yıl içinde gerçekleşmesi muhtemel maksimum magnitüd Kütahya deprem yöresinde 7.6 M' dır. 7.4 büyüklüğündeki bir depremin tekrarlama süresi Kütahya deprem yöresinde 77 yıldır” (Sezer 2010).



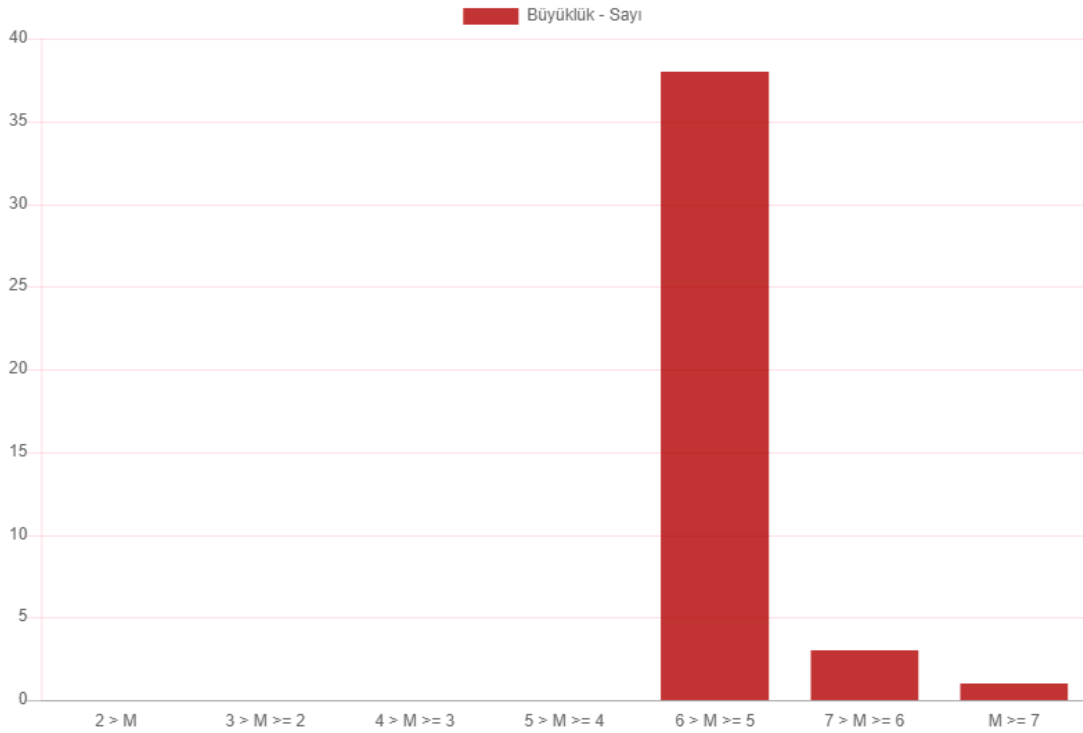
Şekil 3.4 Kütahya-Merkez diri fay haritası (Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü).

3.2.1 Kütahya Bölgesinde Geçmişte Olan Depremler

1900-2020 yılları arasında $38.79^{\circ} - 39.92^{\circ}$ enlemleri ile $28.57^{\circ} - 30.38^{\circ}$ boylamları içinde kalan bölgede (Şekil 3.5) büyüklüğü 5 ve daha büyük olan 42 deprem olmuştur. Bunlardan 38 tanesi büyüklüğü 5 ile 5.9 arasında, 3 tanesi 6 ile 6.9 arasında, 1 tanesi 7' den daha büyük olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.6). En büyük deprem ise 28 Mart 1970 tarihinde, Türkiye Saati ile 23:02(TS)'de meydana gelen ve Türkiye deprem tarihine, 'Gediz Depremi' adı ile geçen depremdir. Bu depremin dışmerkezi Akçaalan Köyü ile Gediz - Emet yolu arasında kalan Bozbağlar sırtında yer almaktadır. Depremin magnitudü $M_s=7.2$ (Ayhan vd. 1981) , odak derinliği ise 15-18 km arasındadır.



Şekil 3.5 1900-2020 yılları arasında $38.79^{\circ} - 39.92^{\circ}$ enlemleri ile $28.57^{\circ} - 30.38^{\circ}$ boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremlerin konumu (AFAD).



Şekil 3.6 1900-2020 yılları arasında $38.79^{\circ} - 39.92^{\circ}$ enlemleri ile $28.57^{\circ} - 30.38^{\circ}$ boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremlerin sayısı (AFAD).

Çizelge 3.1 1900-2020 yılları arasında 38.79° – 39.92° enlemleri ile 28.57° – 30.38° boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremler.

Tarih	Enlem	Boylam	Tip	Büyüklük	Derinlik
14/04/1943	39.6200	29.6400	Ms	5.0	40.00
05/02/1949	39.8900	29.3500	Ms	5.0	40.00
28/03/1961	39.8200	30.1900	Ms	5.0	10.00
30/03/1970	39.2980	29.2680	Ms	5.0	7.80
31/03/1970	39.1200	29.1600	Mb	5.0	43.00
06/11/1971	39.0460	29.7440	Mb	5.0	30.90
23/08/1979	39.6877	28.5734	Mb	5.0	10.00
27/06/2011	39.1200	29.0200	Mw	5.0	9.00
09/08/1939	39.9100	29.8100	Ms	5.1	60.00
28/03/1970	38.9000	29.7000	Ms	5.1	33.00
28/03/1970	39.0470	29.7590	Ms	5.1	30.70
29/03/1970	39.0470	29.7380	Ms	5.1	39.60
02/04/1970	38.9000	29.6000	Mb	5.1	41.00
07/04/1970	39.3440	29.2660	Ms	5.1	35.20
14/05/1970	39.0200	29.1000	Mb	5.1	38.00
28/05/2011	39.1215	29.0408	Mw	5.1	23.02
25/07/1939	39.7500	29.5200	Ms	5.2	50.00
23/02/1956	39.7600	30.1700	Ms	5.2	60.00
28/03/1970	39.1500	29.5600	Ms	5.2	31.00
16/04/1970	38.9980	29.9110	Ms	5.2	36.10
17/02/2009	39.1488	29.0448	Mw	5.2	7.00
03/05/2012	39.1245	29.1100	Mw	5.2	10.59
02/08/1939	39.7500	29.4800	Ms	5.3	50.00
19/10/1939	39.8200	29.5000	Ms	5.3	10.00

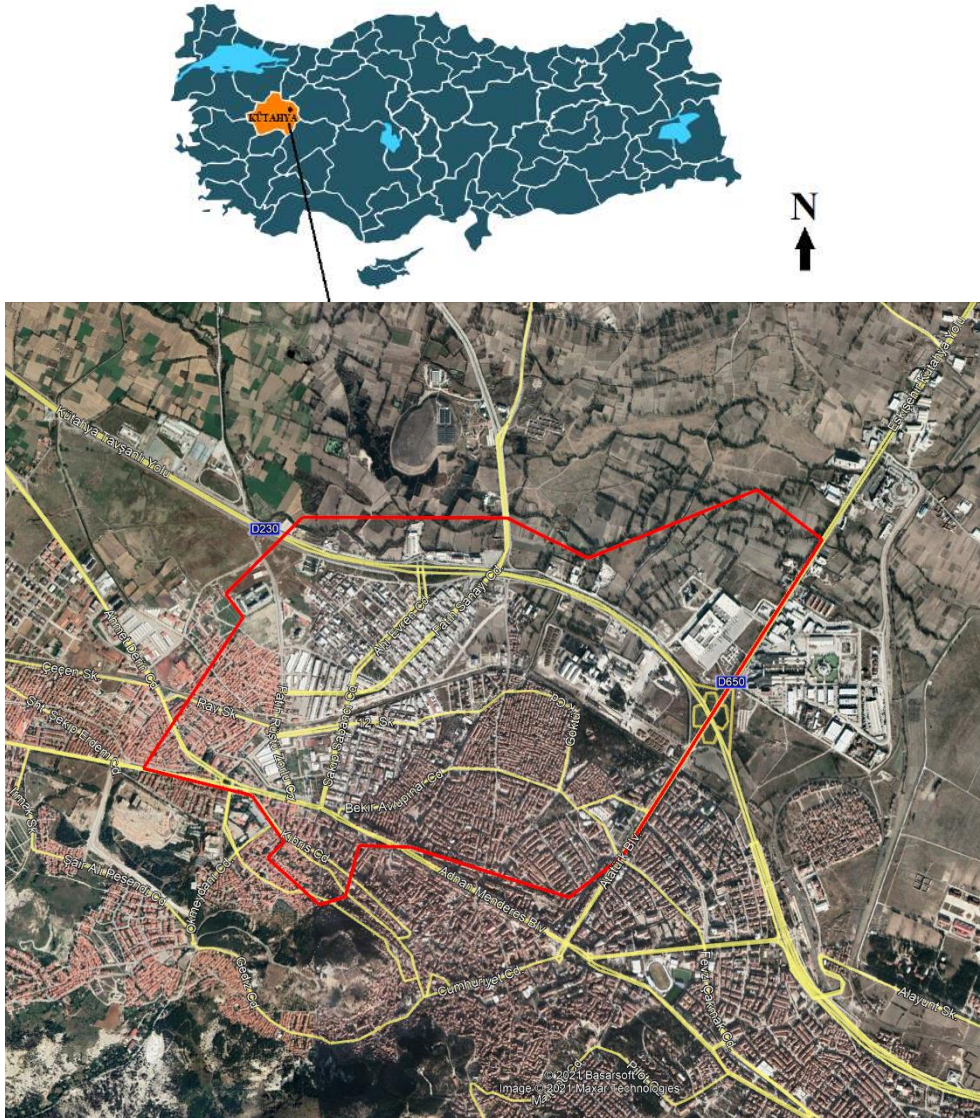
Çizelge 3.1 (Devam) 1900-2020 yılları arasında 38.79° – 39.92° enlemleri ile 28.57° – 30.38° boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen büyüklüğü 5 ve daha büyük olan depremler.

Tarih	Enlem	Boylam	Tip	Büyüklük	Derinlik
28/03/1970	39.5000	30.3000	Ms	5.3	33.00
23/04/1970	39.1240	28.6710	Ms	5.3	35.00
24/04/1970	39.0100	29.7000	Mb	5.3	44.00
18/07/1979	39.6490	28.6970	Mw	5.3	4.40
19/03/1952	39.6000	28.6400	Ms	5.4	40.00
03/08/1939	39.7500	29.6800	Ms	5.5	50.00
25/06/1944	38.9700	29.8700	Ms	5.5	40.00
19/04/1970	38.9860	29.8290	Ms	5.5	17.60
25/05/1971	39.0260	29.7300	Ms	5.5	11.80
14/03/1972	39.3250	29.4970	Ms	5.5	41.40
10/10/1900	38.8000	29.4000	Ms	5.6	10.00
15/09/1939	39.7500	30.2500	Ms	5.6	35.00
19/04/1970	38.9820	29.7670	Ms	5.6	14.80
19/05/2011	39.1328	29.0820	Mw	5.9	24.46
25/06/1944	38.7900	29.3100	Ms	6.0	40.00
02/05/1928	39.6400	29.1400	Ms	6.1	10.00
15/11/1942	39.5500	28.5800	Ms	6.1	10.00
28/03/1970	39.2100	29.5100	Ms	7.2	18.00

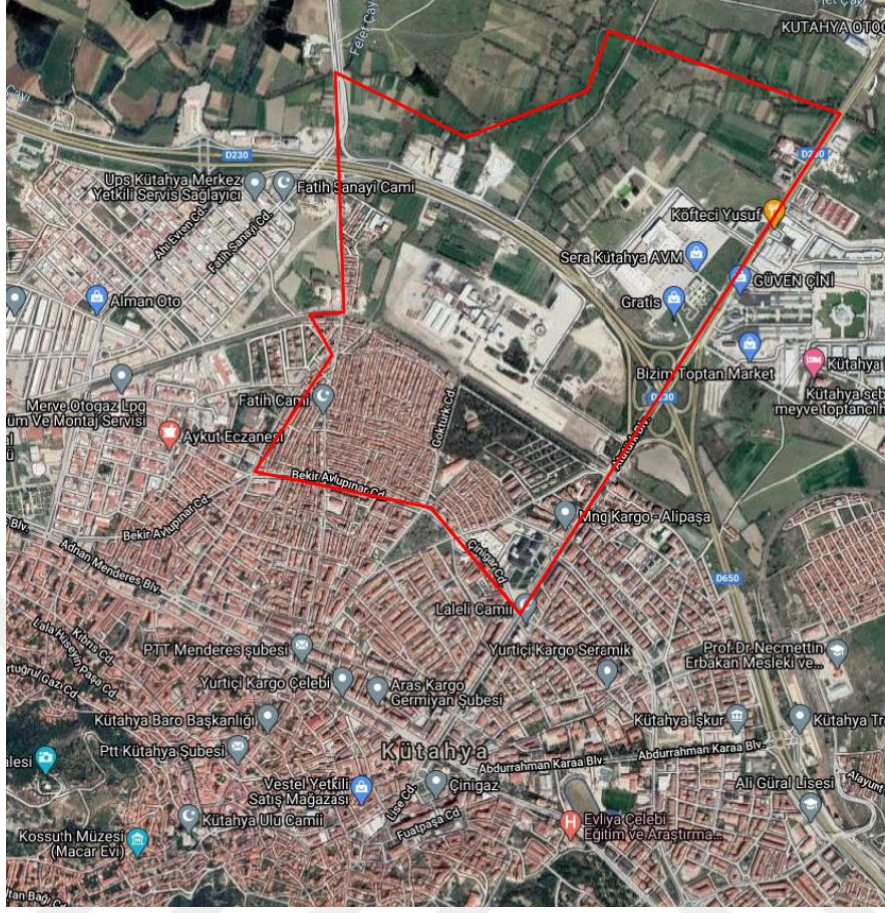
* Ms : yüzey-dalgası büyüklüğü, Mb : cisim dalgası büyüklüğü, Mw : moment büyüklüğü

3.3 Çalışma Yapılan Mahallelerin Tanıtılması

Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı olan Gaybiefendi, Meydan, Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde zemin etüd raporları incelenerek mahallelerin sıvılaşma potansiyellerini belirlemek için çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda Gaybiefendi Mahallesinde 44, Meydan Mahallesinde 33, Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde 35 sondaj noktası incelenmiştir. Çalışma yapılan alanın dış sınırları Şekil 3.7’ de gösterilmiştir. Alanın içindeki mahalle sınırları ise Şekil 3.8, 3.9, 3.10’ da verilmiştir (Çalışmada kullanılan mahallelerin sınırları, ada ve parsel bilgilerini de içeren Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünden alınmıştır).



Şekil 3.7 Çalışma alanının sınırları.



Şekil 3.8 Gaybiefendi Mahallesi (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).



Şekil 3.9 Meydan Mahallesi (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).

Çizelge 3.2 Kayma dalgası hızının SPT-N değerine bağlı olarak çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenen bağıntıları (Sönmezer 2016).

Araştırmacılar	V _s (m/sn)		
	Tüm Zeminler	Kum	Kil
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$	-	-
Ohma ve Toruimu (1970)	$V_s=84N^{0.31}$	-	-
Ohta ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$	-	-
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61.4N^{0.5}$	-	-
Tonouchi vd. (1983)	$V_s=97N^{0.314}$	-	-
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+31.85)^{0.202}$	-	-
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$	-	-
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$	-	-
Jafari vd. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$	-	-
Kiku vd. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$	-	-
Hasançebi and Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.308}$	$V_s=90.82N^{0.319}$	$V_s=97.89N^{0.269}$
Hanumantharao ve Ramana (2008)	$V_s=82.6N^{0.42}$	$V_s=79N^{0.433}$	-
Dikmen (2009)	$V_s=58N^{0.40}$	$V_s=73N^{0.33}$	$V_s=44N^{0.48}$

Bu çalışma kapsamında V_s değeri için (İyisan 1996) (3.1) bağıntısı kullanılmıştır.

$$V_s = 51,5 \times N^{0,516} \quad (3.1)$$

V_s = Kayma dalgası hızı

N = Spt deneyinden elde edilen N₃₀ değeri

3.4.2 Birim Ağırlık

İncelenen etüd raporlarında zeminler için birim ağırlık deneyleri yapılmamıştır bu yüzden gerçek birim ağırlık değerleri hesaplanamamıştır. Çizelge 3.3’ deki veriler referans alınarak birim ağırlık değerleri tahmin edilerek belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Bazı zeminlerin tipik yoğunluk değerleri (Hansbo 1975).

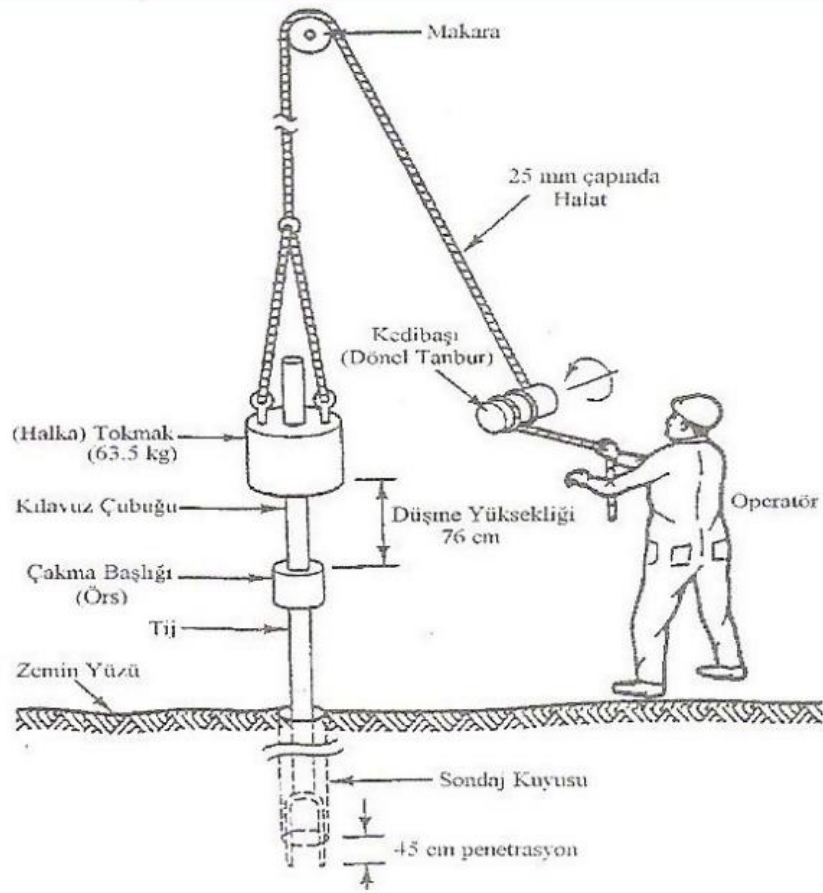
Zemin Türü	Yoğunluk (Mg/m ³)		
	ρ_{sat}	ρ_d	ρ'
Kumlar ve Çakıllar	1,9-2,4	1,5-2,3	0,9-1,4
Siltler ve Killer	1,4-2,1	0,6-1,8	0,4-1,1
Buzul kökenli sert kil	2,1-2,4	1,7-2,3	1,1-1,4
Kırılmış Kaya	1,9-2,2	1,5-2,0	0,9-1,2
Turba	1,0-1,1	0,1-0,3	0,0-0,1
Organik siltler ve killer	1,3-1,8	0,5-1,5	0,3-0,8

* ρ_{sat} = doymuş yoğunluk, ρ_d = kuru yoğunluk, ρ' = su altındaki yoğunluk

3.4.3 N₆₀ (Düzeltilmiş SPT sayısı) Değerinin Belirlenmesi

SPT deneyinde 63,5 kg ağırlığındaki malzemenin 76 cm yükseklikten düşürülerek numune alıcının zeminde 45 cm yol alması prensibine dayanan bir arazi deneyidir. Numune alıcı zeminde ilgili derinliğe indirilir ve ağırlığın üzerine düşürülmesi ile üç aşamada her aşama için 15 cm yol aldığı mesafe kaydedilir. İlk 15 cm' lik mesafe numune alıcıyı indirirken zeminde örselenme oluşturduğu için sayılmayıp son 30 cm' lik mesafe SPT-N sayısı olur (Şekil 3.11).

SPT deneyi arazi deneyleri arasında en sık kullanılan deneydir. Bunda deneyde kullanılan ekipmanın kolay, uygulanabilir ve dayanıklılığı, deney maliyetinin düşük oluşu, bütün zemin gruplarında ve yeraltı su seviyesi altında da kullanılabilir olması ve istenilen seviyeden numune alınabilmesi gibi sebepleri oluşturmaktadır (Sivrikaya ve Toğrol 2009).



Şekil 3.11 SPT Deneyinin yapılışı (Coduto 1994).

SPT deneyi yapılırken birçok etken deneyin sonuçlarını etkilemektedir. Dünyanın farklı yerlerinde farklı çeşitlerde deney aparatları kullanılmakta ve çıkan sonuçların evrensel olabilmesi için düzeltilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çeşitli düzeltme faktörleri kullanılmaktadır. En sık kullanılan düzeltme faktörleri denklem (3.2)' de verilmiştir.

$$N_{60} = (SPT - N) \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R \quad (3.2)$$

N_{60} = Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı

SPT-N = Spt deneyinden elde edilen değer

C_E = Enerji düzeltme faktörü

C_B = Kuyu çapı düzeltme faktörü

C_S = Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü

C_R = Tij uzunluğu düzeltme faktörü

C_s düzeltme katsayısı eğer numune alma yöntemi standart numune alıcı (kılıflı) ise 1,0 kılıfsız numune alıcı ise 1,1-1,3 arasında olmaktadır.

C_B düzeltme faktörü için Robertson ve Fear 1996 tarafından önerilen değerler Çizelge 3.4' te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kuyu çapı düzeltme faktörü (C_B) değerleri (Robertson ve Fear 1996).

Kuyu Çapı (mm)	Kuyu çapı düzeltme faktörü (C_B)
65-115	1,05
150	1,05
200	1,15

Şahmerdandan zemine iletilen enerji Spt mekanizmasına göre farklılıklar göstermektedir ve bunun için C_E düzeltme faktörü oluşturulmuştur. Birçok ülkede enerji verimi %60 olarak kabul görmüştür (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu 2006). Çeşitli şahmerdan mekanizmasına göre C_E değerleri Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Ülkelere göre enerji düzeltme faktörü (Toğrol ve Sivrikaya 2009).

Ülke	Tokmak Tipi	Tokmak Düşürülme Tipi	ER (%)	C_E
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45	0.75
Brezilya	Çivi	Serbest elle düşürme	72	1.20
Çin	Otomatik	Tetikleme (trip)	60	1.00
	Halka	Kedibaşı	50	0.83
Kolombiya	Halka	Kedibaşı	50	0.83
Japonya	Halka	Tombi trigger	78~85	1.30~1.42
	Halka	Kedibaşı 2 devir+özel düşürme	65~67	1.08~1.12
Britanya	Otomatik	Tetikleme	73	1.22
Amerika	Güvenli	Kedibaşında 2 devir	55~60	0.92~1.00
	Halka	Kedibaşında 2 devir	45	0.75
Venezüella	Halka	Kedibaşı	43	0.72

Bu çalışmada N_{60} için enerji düzeltme faktörü (C_E) ve t_{ij} uzunluğu düzeltme faktörü (C_R) parametreleri kullanılmıştır. C_E sabit 0,75 alınıp C_R değerleri Çizelge 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Çalışmada kullanılan C_R düzeltme faktörleri.

Derinlik	Tij uzunluğu düzeltme faktörü (C_R)
≤ 3	0,75
4,5	0,85
6	0,95
7,5	0,95
9	0,95
10-30	1,00

3.4.4 Derinlik Düzeltmesi (C_N)

İri daneli zeminlerin (kum) Spt sayısı çevre basıncına bağlıdır. Aynı kum zemin için derinlerde yapılan Spt sayısı, yüzeye yakın yerlerdeki Spt sayısından daha fazla çıkacaktır. Bu durum Spt değerlerinin gerçek anlamını yitirmesine neden olmaktadır. Bu yüzden derinlik düzeltmesi kullanılarak değerler daha anlamlı hale getirilmektedir. Jeolojik gerilmenin 100 kPa'dan küçük olduğu derinliklerde derinlik düzeltme faktörü uygulanmaz. Derinlik düzeltme faktörü için çeşitli araştırmacıların önerdiği bağıntılar Çizelge 3.7' de verilmektedir.

Çizelge 3.7 Derinlik düzeltme faktörü (C_N) değerleri (Toğrol ve Sivrikaya 2009).

Referans	Düzeltilme Faktörü (C_N)
Teng (1962)	$C_N = \frac{50}{(10 + 0.145 \sigma_v')}$
Bazaraa (1967)	$C_N = \frac{4}{(1 + 0.04 \sigma_v')}$ $\sigma_v' \leq 72 \text{ kPa}$ $C_N = \frac{4}{(3.25 + 0.01 \sigma_v')}$ $\sigma_v' > 72 \text{ kPa}$
Peck et al. (1974)	$C_N = 0.77 \log_{10} \left(\frac{2000}{\sigma_v'} \right)$
Seed (1976)	$C_N = 1.00 - 1.25 \log_{10} \sigma_v'$
Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{(0.7 + 0.01 \sigma_v')}$
Liao ve Whitman (1986)	$C_N = \sqrt{\frac{1}{0.01 \sigma_v'}}$
Skempton (1986)	$C_N = \frac{2}{(1 + 0.01 \sigma_v')}$ orta sıklıkta ince kumlar

* σ_v' kPa' dır.

Çalışmada C_N değeri için (Liao ve Whitman 1986), bağıntısı (3.3) kullanılmıştır. $(N_1)_{60}$ düzeltilmesi, N_{60} ile C_N değeri çarpılarak elde edilmiştir.

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{0.01 \times \sigma_v'}} \leq 1,70 \quad (3.3)$$

C_N = Derinlik düzeltme faktörü

σ_v' = Efektif gerilme

3.4.5 İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)

İçsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (C) zeminin kayma dayanımı parametrelerindendir. İçsel sürtünme açısı çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmektedir. Bunun yanında yapılan bazı deneylerle ilişkilendirilerek, bağıntılar yardımıyla da hesaplanabilir. SPT, kumlar ve siltler için arazideki efektif kayma mukavemeti açısını (ϕ) tahmin etmede kullanılabilir. SPT-N ile efektif kayma mukavemeti arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntılar Çizelge 3.8' de verilmiştir.

Bazı ifadelerde SPT-N sayısını, N_{60} değerine düzeltmeden vermektedir. SPT için teorik enerjinin %60'ını aktaran tokmaklar en yaygın şekilde kullanılmıştır. Denklemlere göre esas alınan verilerin böyle tokmaklara sahip deneylerden elde edilmesi muhtemeldir. Bundan ötürü Çizelge 3.8' deki verilerde N_{60} ifadesi verilmektedir (McGregor ve Duncan 1998).

Çizelge 3.8 SPT-N ile ϕ' arasındaki ilişkiler (McGregor ve Duncan 1998).

Zemin Cinsi	ϕ' (°)	Referans
Köşeli ve iyi derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 25$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve iyi derecelenmiş veya köşeli ve üniform derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 20$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve üniform derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 15$	Dunham (1954)
Kumlu	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 15$	Ohsaki ve diğ. (1959)
Kaba daneli	$\phi' = (3.5N_{60}^*)^{0.5} + 20$	Muromachi ve diğ. (1974)
Kumlu	$\phi' = (15N_{60}^*)^{0.5} + 15 > 45$ ($N_{60}^* > 5$)	Japan Road Association (1990)
Kumlu	$\phi' = (20N_{1,60}^*)^{0.5} + 20$ $N_{1,60}^* = \text{SPT-N'nin Liao ve Whitman (1986) bağıntısını kullanarak 100 kPa jeolojik basınçla normalize edilmiş şekli. McGregor ve Duncan (1998) bu ifade için } N_1 \text{ yerine } N_{1,60} \text{ kullanmayı tavsiye etmektedirler.}$	Hatanaka ve Uchida (1996)

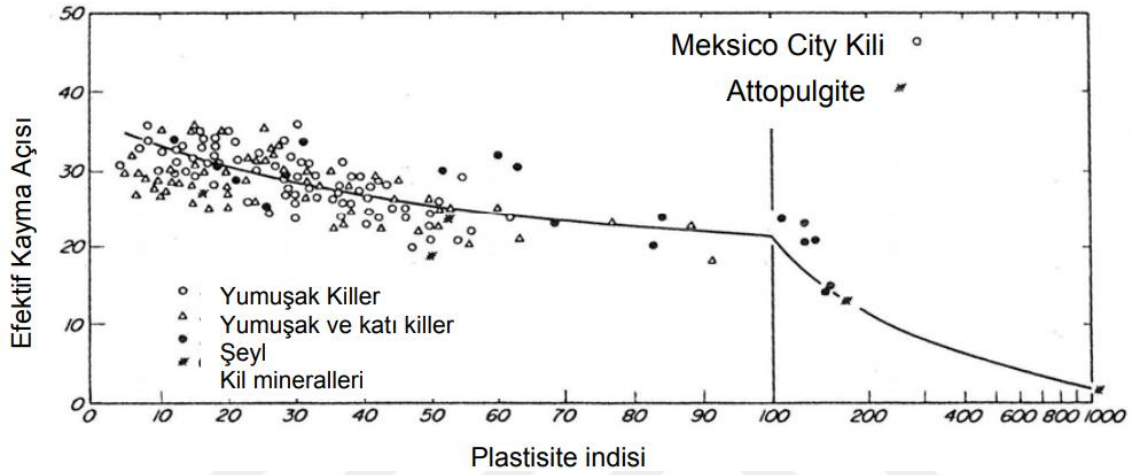
Çalışmada kum, çakıl ve silt zeminlerin ϕ değerinin belirlenmesinde Hatanaka ve Uchida 1996 (3.4) bağıntısı kullanılmıştır.

$$\phi = \sqrt{20 \times (N_1)_{60}} + 20 \quad (3.4)$$

ϕ = içsel sürtünme açısı

$(N_1)_{60}$ = SPT-N' nin Liao ve Whitman 1986 bağıntısını kullanarak 100 kPa jeolojik basınçla normalize edilmiş hali

Kil zeminler için ϕ değeri, Şekil 3.12' de verilen Plastisite indisine (PI) karşılık gelen değerden alınmıştır.



Şekil 3.12 Efektif Kayma Direnci Açısı ile Plastisite indisi arasındaki ilişki (Terzaghi vd. 1996).

3.4.6 Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı (K_0)

İlk kez Donath 1891, sükunetteki toprak basıncı katsayısını K_0 yatay yer değiştirmenin sıfır olduğu durumda, zemine tatbik edilen düşey gerilme altında doğan yatay gerilmenin (σ_h), düşey gerilmeye (σ_v) oranı şeklinde tarif etmiştir (Sağlamcı 1972).

Normal konsolide zeminlerde K_0 değerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bağıntı Jaky 1944, tarafından oluşturulmuştur. Jaky, granüler zeminler üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda K_0 değerini, efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') cinsinden ifade etmiştir. Normal yüklenmiş kumlarda, sükunetteki toprak basıncı katsayısının belirlenmesinde Jaky denklemi, deney sonuçlarıyla yaklaşık aynı değerler vermektedir.

Çalışmada K_0 değerinin belirlenmesinde kum, çakıl ve silt zeminlerde Jaky 1944, (3.5) bağıntısı kullanılmıştır. Kil zeminlerde K_0 değeri sabit 0,5 alınmıştır.

$$K_0 = 1 - \sin\varphi \quad (3.5)$$

K_0 = Sükunetteki toprak basıncı katsayısı

φ = içsel sürtünme açısı

3.4.7 Drenajsız Kayma Mukavemeti (C_u)

Zeminlerin kayma dayanımlarının doğru tahmin edilmesi birçok mühendislik projede önem arz etmektedir. Zeminin kayma dayanımı, zeminin katlanacağı nihai ve ya maksimum kayma gerilmesidir.

Şev stabilitesi, derin ve sığ temellerin taşıma kapasitesi, istinat duvarının tasarımı ve dolaylı olarak da yol kaplaması tasarımı gibi konularda stabiliteyi etkileyen en önemli zemin parametreleridir. Yapı ve şevler beklenen en büyük yükleme şartları altında sağlam durabilmelidir (Holtz vd. 2015).

Kohezyonlu (kil) zeminlerin kayma mukavemeti literatürde tartışılan konulardandır. Kohezyonlu zeminlerin kayma mukavemetine etki eden etmenler, geçirimsizlik katsayısının çok düşük olması sonucu hızlı yükleme durumunda beliren ve hemen sönmeyen fazla boşluk suyu basınçları ve aşırı konsolidasyonun kilin davranışına etkisi olarak gösterilmektedir (Önalp 1982).

Kohezyonsuz zeminlerin mukavemeti yenilme anındaki kayma direnci açısıyla tanımlanır. Taneli zeminlerde, çevre basıncı arttıkça zeminin kayma direnci açısında bir azalış gözlemlenir (Arsoy 2004). Kohezyonsuz zeminlerde kayma dayanımı belirlenmesinde yaygın olarak Cloumb denklemi (3.6) kullanılmaktadır.

$$\tau = \sigma \times \tan\varphi \quad (3.6)$$

τ = Kayma düzlemi boyunca göçme anında etkiyen kayma gerilmesi

σ = Normal gerilme

φ = Kayma mukavemeti açısı

Drenajsız kayma dayanımı ise zeminde drenajın mümkün olmadığı yükleme durumlarındaki kayma dayanımını ifade etmektedir. Çalışmada drenajsız kayma dayanımı için denklem (3.7) kullanılmıştır.

$$C_u = \sigma' \times \tan \varphi \quad (3.7)$$

C_u = Drenajsız kayma dayanımı

σ' = Efektif gerilme

φ = Efektif kayma mukavemeti açısı

3.4.8 Aşırı Konsolidasyon Oranı (OCR)

Zeminler geçmişte maruz kaldıkları gerilme durumuna göre normal konsolide ve aşırı konsolide olarak ayrılır. Zemin geçmişte, şu anki bulunduğu durumdan daha büyük bir gerilmeyle karşılaşmışsa aşırı konsolide zemin olarak adlandırılır. Aşırı konsolide zeminler normal konsolide zeminlere göre bazı zemin parametreleri daha iyi olmaktadır ve dolayısıyla dayanımları da daha yüksektir.

Zeminin ön konsolidasyon basıncının örtü basıncına oranı (denklem 3.8), aşırı konsolidasyon oranı (OCR) olarak adlandırılır. $OCR > 1$ ise zemin aşırı konsolide, $OCR = 1$ ise normal konsolidedir.

$$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma_0} \quad (3.8)$$

OCR = Aşırı konsolidasyon oranı

σ_c = Ön konsolidasyon basıncı

σ_0 = Örtü basıncı

Çalışmada Aşırı konsolide oranı (OCR) için denklem (3.9) kullanılmıştır.

$$OCR = 0,193 \times \left(\frac{N_{60}}{\sigma'/1000} \right)^{0,689} \quad (3.9)$$

OCR = Aşırı konsolidasyon oranı

N_{60} = Düzeltilmiş SPT-N sayısı

σ' = Efektif gerilme

3.5 Aşırı Boşluk Suyu Basıncı Oluşum Modelleri

Sıvılaşma analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en eski ve sık kullanılanı Standart Penetrasyon Deneyine bağlı olarak verilen ve Seed ve İdriss (1971) tarafından önerilen Basitleştirilmiş Yöntem olarak bilinen yöntemdir. Bu yöntemde zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği direnç oranının (CRR), depremin oluşturduğu tekrarlı gerilme oranı (CSR) ile karşılaştırılması esasına dayanarak, bir güvenlik sayısı (FS) elde edilmesine dayanır.

İlerleyen yıllarda deneysel çalışmalarla birlikte sıvılaşma analizi için bünye modelleri geliştirilmiştir. Deprem anında zeminlerde tekrarlı gerilmeler oluşmaktadır ve bunun sonucu olarak boşluk suyu basıncı artar ve efektif gerilme azalır bu da sıvılaşma durumunu meydana getirmektedir. Zeminde meydana gelen boşluk suyu basınçlarının hesaplanabilmesi durumunda sıvılaşma olasılığı tespit edilebilmektedir. Bu sayede bünye modelleri oluşturulmuştur. Bünye modellerinde zeminlerin dinamik özelliklerinin (kayma modülü, sönüm oranı) belirlenmesi ve efektif gerilme analizi yapılması sebebiyle, zeminlerin deprem anındaki davranışları oldukça başarılı tahmin edilebilmektedir (Özaydın 2007). Çizelge 3.9' da aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelleri ve parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.9 Aşırı boşluk suyu basıncı oluşum model ve parametreleri (Hashash vd. 2016).

Model	Zemin Tipi	Kısaltma	Model No	Parametreler						
				1	2	3	4	5	6	7
Dobry& Matasovic	Kum	S-M /D	1	f	p	F	s	γ_{tvp}	v	-
Matasovic & Vucetic	Kil	C-M	2	s	r	A	B	C	D	γ_{tvp}
GMP	Kohezyonsuz	GMP	3	α	Dr (%)	FC (%)	-	-	v	-
Park& Ahn	Kum	P/A	4	α	β	$D_{ru}=1$	CSR_t	-	v	-
Generalized	Herhangi biri	G	5	α	β	-	-	-	v	-

3.5.1 Dobry & Matasovic Modeli

Bu modelde Matasovic ve Vucetic (1993, 1995) tarafından, kumlar için önerilen denklem (3.10) kullanılmaktadır.

$$u_N = \frac{p * f * N_C * F * (\gamma_c - \gamma_{tvp})^s}{1 + f * N_C * F * (\gamma_c - \gamma_{tvp})^s} \quad (3.10)$$

Modelde kullanılan, denklem (3.10)' da ki parametrelerin tanımları Çizelge 3.10 da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Dobry & Matasovic Modeli Parametreleri.

PARAMETRELER	AÇIKLAMALAR
u_N	Normalleştirilmiş aşırı boşluk suyu basıncı ($r_u = u'/\sigma_v'$).
N_{eq}	Eşdeğer döngü sayısı
γ_c	Geçerli ters kayma birim deformasyonu
γ_{tvp}	Eşik kayma birim deformasyon değeri
p	Eğri ayarlama parametresidir. Farklı tip ve bağl yoğunluklu kumlar için $1 \pm 7,1$ arasında değer almaktadır. Laboratuvar verileri bulunmadığında, genellikle $p = 1$ olarak kabul edilmektedir.
s	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. $s = (FC + 1)^{0,1252}$ (FC , yüzde olarak ince tane oranıdır.) (Carlton, 2014)
F	Eğri ayarlama parametresidir. $F = 3810 * V_s^{-1,55}$ (V_s , m/s cinsinden kayma dalgası hızıdır.) (Carlton, 2014)
f	Boyutluluk faktörüdür. Bir boyutlu hareket için $f=1$, iki boyutlu hareket için $f=2$ alınmaktadır
v	İndirgeme parametresidir.

3.5.2 Matasovic & Vucetic Modeli

Killer için aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu için Matasovic ve Vucetic (1995) denklem (3.11)' i önermiştir.

$$u_N = AN_C^{-3s(\gamma_c - \gamma_{tvp})^r} + BN_C^{-2s(\gamma_c - \gamma_{tvp})^r} + CN_C^{-s(\gamma_c - \gamma_{tvp})^r} + D \quad (3.11)$$

Denklem 3.11' de verilen parametrelerin açıklamaları Çizelge 3.11' de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Matasovic & Vucetic Modeli Parametreleri.

PARAMETRELER	AÇIKLAMALAR
u_N	Normalleştirilmiş aşırı boşluk suyu basıncı ($r_u = u'/\sigma_v'$).
N_{eq}	Eşdeğer döngü sayısı
γ_c	En Son Geçerli ters kayma birim deformasyonu
γ_{tvp}	Eşik kayma birim deformasyon değeri
r	Eğri ayarlama parametresidir. $r = 0,7911 \times PI^{-0,113} \times OCR^{-0,147}$ (Carlton, 2014).
s	Eğri ayarlama parametresidir. $s = 1,6374 \times PI^{-0,802} \times OCR^{-0,417}$ (Carlton, 2014).
A	Eğri ayarlama katsayısıdır. $A = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ için } 7,6451 \\ OCR \geq 1,1 \text{ için } 15,641 \times OCR^{-0,242} \end{cases}$ (Carlton, 2014).
B	Eğri ayarlama katsayısıdır $B = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ için } -14,714 \\ OCR \geq 1,1 \text{ için } -33,691 \times OCR^{-0,33} \end{cases}$ (Carlton, 2014).
C	Eğri ayarlama katsayısıdır. $C = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ için } 6,38 \\ OCR \geq 1,1 \text{ için } 21,45 \times OCR^{-0,468} \end{cases}$ (Carlton, 2014).
D	Eğri ayarlama katsayısıdır. $D = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ için } 0,6922 \\ OCR \geq 1,1 \text{ için } -3,4708 \times OCR^{-0,857} \end{cases}$ (Carlton, 2014).

* PI : Plastisite indisi, OCR : Aşırı konsolidasyon oranı

3.6 Çalışmada Kullanılan Aşırı Boşluk Suyu Basıncı Oluşum Modelleri

- Kil ve silt zeminlerde Matasovic / Vucetic modeli kullanılmıştır ancak non-plastik (NP) siltli zeminlerde Dobry / Matasovic modeli kullanılmıştır.
- Çakıl ve Kum zeminlerde Dobry / Matasovic modeli ile hesaplanmıştır ancak kum zeminlerde ince malzeme (200' nolu elekten geçen) miktarı %30' dan büyük ise Matasovic / Vucetic modeli kullanılmıştır.
- Kum zeminlerde ince malzeme miktarı %30' dan büyük ve aynı zamanda non-plastik ise Dobry / Matasovic modelinden yararlanılmıştır (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12 Çalışmada kullanılan aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelleri.

ZEMİN TİPİ	KULLANILAN MODEL
Kil	Matasovic / Vucetic
Silt	Matasovic / Vucetic
Silt (NP)	Dobry / Matasovic
Çakıl	Dobry / Matasovic
Kum (ince malzeme miktarı %30' dan küçük)	Dobry / Matasovic
Kum (ince malzeme miktarı %30' dan büyük ise)	Matasovic / Vucetic
Kum (ince malzeme miktarı %30' dan büyük aynı zamanda NP ise)	Dobry / Matasovic

* NP : non-plastik

3.7 Deprem Kayıtlarının Belirlenmesi

Deepsoil programında sıvılaşma analizi yapılırken kullanılan depremler Çizelge 3.13' de verilmiştir.

Çizelge 3.13 Analizlerde kullanılan depremler (AFAD).

Depremi Adı	Büyükklüğü (M_w)	Derinliğı (km)
Adana (Ceyhan) 27/06/1998	6.2	23
Bingöl 01/05/2003	6.1	6
Chi Chi (Tayvan) 21/09/1999	7.3	8
Denizli 20/03/2019	5.5	10.76
Dinar (Afyon) 01/10/1995	6.1	5
Düzce 12/11/1999	7.2	11
Elazığ 24/01/2020	6.8	8.06
Erzincan 13/03/1992	6.6	23
Kobe 17/01/1995	6.9	17.6
Kocaeli 17/08/1999	7.4	15.9
Van 23/10/2011	6.7	19.02

* M_w : Moment büyüklüğü

Deprem kayıtları oluşturulmasında her deprem yer hareketi düzeyleri (DD) için ivme değerleri belirlenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) deprem yer hareketi düzeylerini şu şekilde tanımlanmaktadır.

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır (TBDY 2018).

Çalışma kapsamında Çizelge 3.13' de ki depremler referans alınarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) açıklanan deprem yer hareketi düzeyleri (DD) kullanılarak deprem kayıtları oluşturulmuştur. Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı olan Gaybiefendi, Meydan, Lala Hüseyin Paşa Mahalleleri için TBDY' de belirtilen şekilde Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (AFAD) kullanılarak DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 kapsamında PGA (En Büyük Yer İvmesi) değerleri alınmıştır. Bu değerler Çizelge 3.13' de verilen 11 adet depreme her bir DD değeri için ölçeklendirilmiş ve toplamda 44 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Mahallelerde kullanılan PGA değerleri, her bir deprem yer hareketi düzeyine göre Çizelge 3.14' de verilmiştir.

Çizelge 3.14 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde kullanılan ivme değerleri.

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	PGA (g)
DD-1	0,78
DD-2	0,37
DD-3	0,10
DD-4	0,07

* PGA : En büyük yer ivmesi

4. BULGULAR

Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı olan Gaybiefendi, Meydan, Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için zemin etüd raporları Kütahya Belediyesinden temin edilmiştir. Bu kapsamda Gaybiefendi Mahallesinde 44, Meydan Mahallesinde 33, Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde 35 sondaj noktası incelenmiştir.

Zemin etüd raporlarından SPT (N_{30}) sayısı, zemin sınıfı, ince malzeme oranı (200 no'lu elekten geçen), plastisite indisi ve yer altı suyu seviyesi değerleri alınmıştır. Daha sonra etüd raporlarından alınan verilerle, ilgili bağıntılar kullanılarak (Bölüm 3.4) düzeltilmiş Spt sayısı (N_{60}), kayma dalgası hızı (V_s), aşırı konsolidasyon oranı (OCR), sükunetteki toprak basıncı katsayısı (K_0), örtü gerilimi (C_N), içsel sürtünme açısı (ϕ), drenajsız kayma mukavemeti (C_u) değerleri hesaplanmıştır.

Belirlenen zemin sınıfına göre Matasovic/Vucetic ve ya Dobry/Matasovic boşluk suyu basıncı oluşum modeli kullanılmıştır. İlgili sondaj kuyusu için belirtilen ifadeler her derinlikte hesaplanmıştır. Hesaplanan boşluk suyu oluşum model değerleri ve zemin parametreleri, Illinois Üniversitesi'nde görev yapan Prof. Youssef M.A. Hashash başkanlığında geliştirilen Deepsoil 6.1 programına girilerek profiller oluşturulmuştur. Belirlenen deprem kayıtlarıyla (Bölüm 3.7) sondaj kuyuları için analizler yapılmış ve sonuçları toparlanarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) belirtilen her bir deprem yer hareketi düzeyine (DD) göre sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur.

4.1 İncelenen Sondaj Kuyuları

Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı olan Gaybiefendi, Meydan, Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için incelenen sondaj kuyuların yerleri aşağıdaki şekil ve çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.1 (Devam) Gaybiefendi Mahallesi içinde incelenen sondaj kuyularının konumları.

Ada / Parsel	Koordinat (Enlem / Boylam)	
1974/12	39.4311	29.9853
1985/15	39.4308	29.9824
1987/20	39.4309	29.9822
1992/1	39.4303	29.9827
1993/53	39.4301	29.9831
1997/19	39.4285	29.9856
1999/16	39.4269	29.9871
2003/16	39.4277	29.9872
2005/5	39.4284	29.9871
2080/1	39.4292	29.9849
2081/19	39.4283	29.9843
2081/39	39.4279	29.9851
2082/19	39.4296	29.9831
2083/1	39.4291	29.9839
2086/28	39.4294	29.9822
2118/27	39.4301	29.9802
2118/28	39.4304	29.9803
2118/29	39.4305	29.9804
2119/1	39.4306	29.9809
2122/41	39.4287	29.9807
2123/11	39.4296	29.9812
2129/28	39.4292	29.9790
2560/9	39.4366	29.9824
2561/9	39.4365	29.9828
2561/12	39.4363	29.9826
2561/18	39.4362	29.9823
2561/24	39.4365	29.9826
2561/27	39.4367	29.9828
2573/7	39.4364	29.9830
2625/6	39.4352	29.9826
2779/1	39.4361	29.9831



Şekil 4.2 Meydan Mahallesi'nde incelenen sondaj kuyularının yerleri (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).

Çizelge 4.2 Meydan Mahallesi'nde incelenen sondaj kuyularının konumları.

Ada / Parsel	Koordinat (Enlem / Boylam)	
114/4	39.4275	29.9791
115/7	39.4274	29.9796
118/12	39.4270	29.9811
123/39	39.4240	29.9884
123/274	39.4250	29.9863
123/355	39.4233	29.9851
123/381	39.4232	29.9854
125/121	39.4236	29.9826
127/93	39.4251	29.9798
129/6	39.4273	29.9807
160/58	39.4245	29.9790
173/9	39.4270	29.9784
173/14	39.4269	29.9781
173/26	39.4274	29.9785
187/42	39.4246	29.9806
468/38	39.4266	29.9803

Şekil 4.3 Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde incelenen sondaj kuyularının yerleri (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü).

51

Çizelge 4.3 Lala Hüseyin Paşa Mahallesiinde incelenen sondaj kuyuların konumları.

Ada / Parsel	Koordinat (Enlem / Boylam)	
203/41	39.4246	29.9683
205/6	39.4261	29.9675
205/18	39.4263	29.9674
206/7	39.4263	29.9671
207/30	39.4270	29.9673
207/31	39.4267	29.9673
207/32	39.4271	29.9667
208/83	39.4264	29.9681
208/119	39.4255	29.9693
209/9	39.4255	29.9706
209/112	39.4252	29.9702
209/178	39.4247	29.9695
209/184	39.4253	29.9696
209/188	39.4252	29.9706
209/189	39.4251	29.9704
209/198	39.4262	29.9705
210/27	39.4241	29.9703
211/17	39.4244	29.9716
211/49	39.4237	29.9707
211/129	39.4248	29.9719
243/119	39.4314	29.9619
243/130	39.4314	29.9620
243/164	39.4305	29.9612
880/5	39.4349	29.9700
905/6	39.4357	29.9791
1483/11	39.4263	29.9746
1745/126	39.4237	29.9708
2194/169	39.4310	29.9617
2195/121	39.4315	29.9618
2201/4	39.4303	29.9635
2230/20	39.4291	29.9773
2506/7	39.4259	29.9736

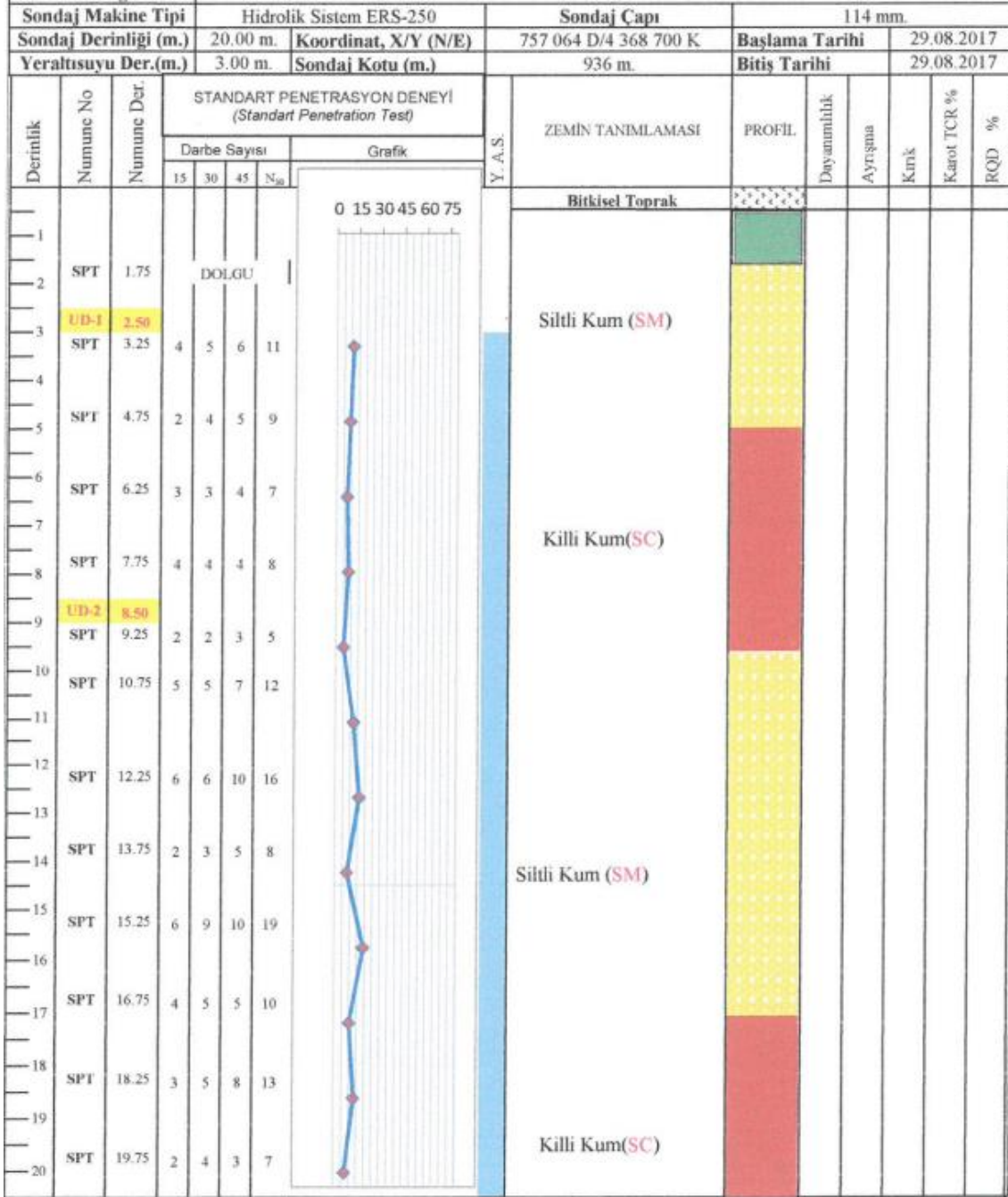
Çizelge 4.3 (Devam) Lala Hüseyin Paşa Mahallesi içinde incelenen sondaj kuyularının konumları.

Ada / Parsel	Koordinat (Enlem / Boylam)	
2517/1	39.4283	29.9781
2522/5	39.4269	29.9762
2524/5	39.4266	29.9753

4.2 Sıvılaşma Potansiyellerinin Belirlenmesi

Sondaj kuyularında sıvılaşma analizi için yapılan adımları göstermek amacıyla Gaybiefendi Mahallesi içinde bulunan 232 Ada 5 Parsel, 39.4286 enlem 29.9864 boylam koordinatlı kuyu örnek verilerek işlem adımları anlatılmıştır. Bu işlemler tüm kuyularda uygulanarak çıkan sonuçlar ile mahallelerin sıvılaşma haritaları çizilmiştir.

Şekil 4.4’ te 39.4286 / 29.9864 koordinatlı sondaj kuyusu için sondaj logu verilmiştir. Sondaj logunda Spt sayıları, zemin sınıfı, yeraltı suyu seviyesi bilgileri bulunmaktadır. Ayrıca zemin etüd raporundan ince malzeme oranı ve plastisite indisi değeri alınmıştır.



Şekil 4.4 232 Ada 5 Parsel, 39.4286 enlem 29.9864 boylam koordinatlı kuyunun sondaj logu.

Sondaj logu ve zemin etüd raporundan alınan bilgiler ile gerekli bağıntılar (Bölüm 3.4) kullanılarak Çizelge 4.4 oluşturulmuştur. Zemin sınıfına göre belirlenen boşluk suyu oluşum modelleri (Bölüm 3.5 ve 3.6) için gerekli parametreler hesaplanarak Çizelge 4.5 meydana getirilmiştir.

Çizelge 4.4 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun zemin parametre değerleri.

Derinlik (m)	N ₃₀	V _s (m/s)	Zemin Sınıfı	200 Nolu Elekten Geçen (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Efektif Gerilme (kN/m ²)	(N ₁) ₆₀	Plastisite İndisi	N ₆₀	OCR	K _o	C _N	İçsel Sürtünme Açısı ° (φ)	Cu (kN/m ²)
1,50	11	177,49	SM	31,40	1,89	13,9057	10,52	NP	6,19	1,00	0,43	1,700	34,50	9,56
3,00	11	177,49	SM	38,60	1,89	41,717	9,58	NP	6,19	1,00	0,44	1,548	33,84	27,97
4,50	9	160,03	SM	38,60	1,94	62,5377	7,26	17,4	5,74	1,00	0,47	1,265	32,05	39,15
6,00	7	140,57	SC	41,50	1,94	76,3677	5,71	17,4	4,99	1,00	0,49	1,144	30,68	45,31
7,50	8	150,59	SC	29,30	1,94	90,1977	6,00	18	5,70	1,00	0,49	1,053	30,96	54,10
9,00	5	118,16	SC	43,20	1,94	104,028	3,49	20,2	3,56	1,00	0,53	0,980	28,36	56,15
10,50	12	185,64	SM	43,20	1,94	117,858	8,29	20,2	9,00	1,00	0,46	0,921	32,88	76,18
12,00	16	215,34	SM	23,70	1,94	131,688	10,46	NP	12,00	1,00	0,43	0,871	34,46	90,38
13,50	8	150,59	SM	23,70	1,94	145,518	4,97	NP	6,00	1,00	0,50	0,829	29,97	83,93
15,00	19	235,31	SM	49,20	1,94	159,348	11,29	NP	14,25	1,00	0,43	0,792	35,03	111,68
16,50	10	168,97	SM	49,20	1,94	173,178	5,70	NP	7,50	1,00	0,49	0,760	30,68	102,73
18,00	13	193,46	SC	44,60	1,94	187,008	7,13	23,4	9,75	1,00	0,47	0,731	31,94	116,59
19,50	7	140,57	SC	44,60	1,94	200,838	3,70	23,4	5,25	1,00	0,52	0,706	28,61	109,53

*Yeraltı suyu seviyesi 3 m' dendir.

Çizelge 4.5 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun boşluk suyu oluşum model parametreleri.

Derinlik	Vs	Zemin Sınıfı	200 No'lu Elekten Geçen (%)	PI	OCR	Model		f: 2 s	p: 1 r	F A	s B	y: 0.06 C	v: 1 D	y: 0.1 -
						Dobry & Matasovic: 1	Matasovic & Vucetic: 2							
1,5														
3,0														
4,5	160,0281	SM	38,6	17,4	1	2	2	0,1657	0,5729	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1
6,0	140,5652	SC	41,5	17,4	1	2	2	0,1657	0,5729	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1
7,5	150,5919	SC	29,3	18	1	1	1	2	1	1,6045	1,5328	0,06	1	-
9,0	118,1614	SC	43,2	20,2	1	2	2	0,1470	0,5633	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1
10,5	185,6371	SM	43,2	20,2	1	2	2	0,1470	0,5633	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1
12,0	215,3442	SM	23,7	NP	1	1	1	2	1	0,9217	1,4941	0,06	1	-
13,5	150,5919	SM	23,7	NP	1	1	1	2	1	1,6045	1,4941	0,06	1	-
15,0	235,312	SM	49,2	NP	1	1	1	2	1	0,8033	1,6328	0,06	1	-
16,5	168,9691	SM	49,2	NP	1	1	1	2	1	1,3422	1,6328	0,06	1	-
18,0	193,4648	SC	44,6	23,4	1	2	2	0,1306	0,5540	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1
19,5	140,5652	SC	44,6	23,4	1	2	2	0,1306	0,5540	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1

Sondaj kuyusu için elde edilen veriler (Çizelge 4.4 ve 4.5) kullanılarak Deepsoil 6.1 yazılımında boşluk suyu basıncı oranları oluşturulmuştur. Deepsoil yazılımında, önce boşluk suyu basıncı analizinin tanımlaması yapılmıştır. Tanımlanan analiz Şekil 4.5’ te gösterilmiştir.

INSTRUCTIONS

To begin, either complete the fields in the "Define Analysis" section and select "Next".

Define Analysis

Frequency Domain Analysis

☐ Linear

☒ Equivalent Linear

Dynamic Properties Formulation:

☒ Discrete Points

☐ Nonlinear Parameters

Time Domain Analysis

☐ Linear

☒ Nonlinear

☒ Also Generate Equivalent Linear Results

Nonlinear Backbone Formulation

☐ Pressure-Dependent Modified Kondner Zelesko (MKZ)

☒ General Quadratic Model (GQ/H)

Hysteretic Re/Unloading Formulation

☒ Non-Masing Re/Unloading

☐ Masing Re/Unloading

Pore Pressure Generation

☐ Do Not Generate

☒ Generate

☐ Include PWP Dissipation

Bottom of Profile:

☒ Permeable

☐ Impervious

Initial Shear Stiffness Definition

☒ Shear Wave Velocity (Vs)

☐ Shear Modulus (Gmax)

Units

☐ English

☒ Metric

Soil Model

DS-NL4-PWP0 ?

Şekil 4.5 Deepsoil 6.1 yazılımında boşluk suyu basıncı analizinin tanımlanması.

Analiz tanımlandıktan sonra sondaj kuyusundaki her 1,5 m’ lik kısımların zemin parametre değerleri tabakalar halinde programa girilmiştir. Şekil 4.6’ da 1. tabakanın (0-1,5 m) programa girilen değerleri verilmiştir. Programda referans eğrileri için Darendeli 2001 kullanılmıştır. 1. Tabakanın zemin parametreleri ve Darendeli 2001 referans eğrisi ile o tabakaya ait G/Gmax, Damping (sönümlleme), Shear Strength (kayma dayanımı, Cu) eğrilerini program elde etmiştir (Şekil 4.7). Tabakalar için elde edilen boşluk suyu model parametreleri de girilmiştir. Bu işlemler sondaj kuyusunun her tabakası için yapılmış ve sondaj kuyusunun profili oluşturulmuştur. Çizelge 4.6’ da Deepsoil yazılımında kuyunun her tabakası için oluşturulan parametreler verilmiştir.

Soil Properties

Current Soil Properties

Layer Name	1
Thickness (m)	1.5
Unit Weight (kN/m ³)	18.9
Shear Velocity (m/s)	177.49
Effective Vertical Stress (kPa)	14.2
Damping Ratio (%)	1.63547383980337
Shear Strength (kPa)	9.56
Theta1	-0.42
Theta2	0.7000000000000157
Theta3	1
Theta4	1
Theta5	0.71
A	1
P1	0.55
P2	0.25
P3	9.5

Material Library

SLI_Materials

SLI_M_NL.dem

Other Material Files

Reference Curve

Sand Clay User Defined

Reference Curve: Darendeli, 2001

Parameter	Value	Strain (%)	G/Gmax	Damping (%)
OCR	1	0.0001	0.990114701762...	1.712645219201...
Ko	0.43	0.0003	0.973329055940...	1.887936518437...
N	10	0.001	0.923487028815...	2.475098350029...
Frequency (Hz)	1	0.003	0.814734411585...	3.959450191769...
PI	0	0.01	0.592575045476...	7.662873031150...
		0.03	0.346376780636...	12.87898662307...
		0.1	0.149128225472...	18.25687193534...
		0.3	0.060025705972...	21.09976500743...
		0.7	0.028477604257...	21.82553408849...
		1	0.020683256253...	21.82515257860...
		3	0.007636460315...	21.069201877524...
		7	0.003519810666...	20.04315185546...
		10	0.002538585746...	19.55977316115...

Generate

Curve Fitting

Fitting Procedure: MRDF-UIUC (Modulus Reduction and Damping Curve Incl. Reduction Factor)

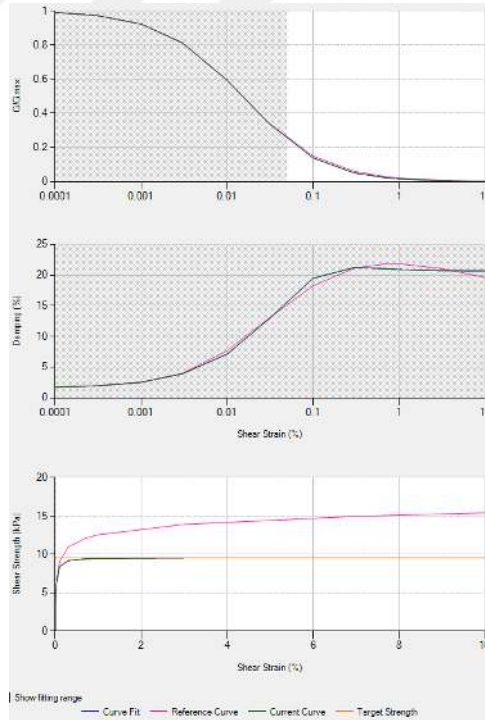
Fit Curve

Strain (%)	G/Gmax	Damping (%)	Parameter	Value
0.0001	0.991204437368...	1.73383597454601	Damping Ratio (%)	1.63547383980337
0.0003	0.974558613506...	1.92814102198788	Shear Strength (kPa)	9.56
0.001	0.923336212990...	2.52460424051052	Theta1	-0.42
0.003	0.813029397780...	3.88334647011424	Theta2	0.7000000000000157
0.01	0.594388407305...	7.11857641934637	Theta3	1
0.03	0.34495896848524	12.724065852907	Theta4	1
0.1	0.138250622300...	19.4670183706689	Theta5	0.71
0.3	0.050374940874...	21.2146037071871	A	1
0.7	0.022119477704...	21.0161197572762	P1	0.55
1	0.015565536559...	20.8992459506933	P2	0.25
3	0.005230192985...	20.7032719870915	P3	9.5
7	0.002246502512...	20.6790222162598		
10	0.001573330655...	20.6819288949992		

Save Material Plot Curve

Delete Load

Şekil 4.6 Deepsoil yazılımında 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun 1.tabakası (0-1,5m) için girilen zemin parametre değerleri.



Şekil 4.7 Deepsoil yazılımında 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun 1.tabakası (0-1,5m) için oluşturulan G/Gmax, Damping (sönümlleme), Shear Strength (kayma dayanımı, Cu) eğrileri.

Çizelge 4.6 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun Deepsoil profili.

Layer #	Thickness (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Shear Velocity (m/s)	Damping Ratio (%)	Shear Strength (kPa)	Theta1	Theta2	Theta3	Theta4	Theta5	A	Max Ru	PWP Model	PWP Input 1	PWP Input 2	PWP Input 3	PWP Input 4	PWP Input 5	PWP Input 6	PWP Input 7	P1	P2	P3
1	1.5	18.9	177.49	1.63547383380337	9.56	-0.42	0.70000000000000157	1	1	0.71	1	0.999	1	1	0	1	0	0	1	-	0.55	0.25	9.5
2	1.5	18.9	177.49	1.18752824809365	27.97	-1.51	-2.0999999999999984	1	1	0.99	1	0.999	1	1	0	1	0	0	1	-	0.595	0.3	27
3	1.5	19.4	160.03	1.03706626017502	39.15	-2.76	-3.4299999999999985	1	1	0.77	1	0.885	2	0.165666344	0.572861083	7.6451	-14.714	6.38	0.6922	0.1	0.685	0.4	25.5
4	1.5	19.4	140.57	0.942539396766843	45.31	-5.69	2.0000000000000016	1	1	0.99	1	0.885	2	0.165666344	0.572861083	7.6451	-14.714	6.38	0.6922	0.1	0.865	0.55	11.5
5	1.5	19.4	150.59	0.899331854837557	54.1	-5.44	1.9300000000000016	1	1	0.99	1	0.885	1	2	1.604472948	1.532758678	0.06	1	1	-	0.865	0.55	11
6	1.5	19.4	118.16	0.848431185425428	56.15	-9.88	8.4000000000000014	1	1	0.99	1	0.885	2	0.146981606	0.563283046	7.6451	-14.714	6.38	0.6922	0.1	0.865	0.7	18.5
7	1.5	19.4	185.64	0.849157316583118	76.18	-4.27	0.43000000000000157	1	1	0.39	1	0.775	2	0.146981606	0.563283046	7.6451	-14.714	6.38	0.6922	0.1	0.775	0.45	13.5
8	1.5	19.4	215.34	0.841828041297076	90.38	-2.45	-2.5999999999999985	1	1	0.32	1	0.73	1	2	1.9321655478	1.494051812	0.06	1	1	-	0.73	0.4	14.5
9	1.5	19.4	150.59	0.778043213853638	83.93	-7.76	6.0000000000000015	1	1	0.99	1	0.885	1	2	1.604472948	1.494051812	0.06	1	1	-	0.865	0.65	16
10	1.5	19.4	235.31	0.797295295794119	111.68	-2.25	-2.6199999999999985	1	1	0.32	1	0.73	1	2	1.803297917	1.632781629	0.06	1	1	-	0.73	0.4	14
11	1.5	19.4	168.97	0.742811272730134	102.73	-6.93	5.1000000000000016	1	1	0.99	1	0.885	1	2	1.3422202	1.632781629	0.06	1	1	-	0.865	0.65	15.5
12	1.5	19.4	193.46	0.732146043239506	116.59	-5.57	3.2000000000000016	1	1	0.99	1	0.885	2	0.130630223	0.554000291	7.6451	-14.714	6.38	0.6922	0.1	0.865	0.6	13
13	1.5	19.4	140.57	0.707925012160792	109.53	-10	9.3400000000000014	1	1	0.99	1	0.885	2	0.130630223	0.554000291	7.6451	-14.714	6.38	0.6922	0.1	0.865	0.8	19.5

Yazılıma her bir katman için ilgili değerler girildikten sonra diğer bir aşamada en son katmanın Shear Velocity (kayma dalgası hızı), Unit Weight (birim ağırlık) ve Damping Ratio (sönüm oranı yüzdesi) verileri girilmiştir (Şekil 4.8).

Halfspace Properties

☒ Elastic Half-Space ☐ Rigid Half-Space

Bedrock Properties

Bedrock Name

140.57 Shear Velocity (m/s)

19.4 Unit Weight (kN/m³)

5 Damping Ratio (%) ?

Save Bedrock

Use Saved Bedrock

Default.bed

Load

Information Regarding Rock Properties

The selection of bedrock type is related to the type of input motion.

If an outcrop motion is being used (most common situation), the Elastic Half-Space option should be selected.

If a within motion is being used (e.g. from a vertical array), the Rigid Half-Space option should be selected.

Halfspace Porewater Pressure Dissipation

☒ Use Cv of bottom layer ☐ Specify Halfspace Cv: 0 m2/s

Deconvolution

Motion applied at top of layer: 1 Input motion treated as a within motion.

Output motion for selected layers: ☒ Within ☐ Equivalent Outcrop

Şekil 4.8 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun son katman parametrelerinin tanımlanması.

Deprem kayıtları için 11 adet deprem seçilmiştir (Adana (Ceyhan) 1998, Bingöl 2003, Chi Chi (Tayvan) 1999, Denizli 2019, Dinar (Afyon) 1995, Düzce 1999, Elazığ 2020, Erzincan 1992, Kobe 1995, Kocaeli 1999, Van 2011). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) tanımlanan dört adet deprem yer hareketi düzeyleri (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) için Türkiye Deprem Haritasından (AFAD) mahallelere ait PGA (en büyük yer ivme) değerleri alınmıştır (Bölüm 3.7). Alınan PGA değerleri ile seçilen depremler ölçeklendirilmiş ve toplamda 44 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Her sondaj kuyusu bu 44 adet deprem kaydı ile analiz edilmiştir.

39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem analizi sonucu Deepsoil programından elde edilen boşluk suyu basıncı oranları sırasıyla Çizelge 4.7, 4.8, 4.9, 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.7 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-1 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.

Derinlik (m)	Adana (Ceyhan) 1998	Bingöl 2003	Chi Chi 1999	Denizli 2019	Dinar (Afyon) 1995	Düzce 1999	Elazığ 2020	Erzincan 1992	Kobe 1995	Kocaeli 1999	Van 2011
0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	0,010	0,014	0,010	0,007	0,044	0,086	0,177	0,141	0,116	0,004	0,030
5,25	0,039	0,051	0,087	0,050	0,238	0,145	0,484	0,380	0,141	0,020	0,114
6,75	0,669	0,865	0,863	0,264	0,865	0,865	0,755	0,865	0,865	0,401	0,806
8,25	0,120	0,144	0,339	0,049	0,196	0,281	0,340	0,735	0,354	0,092	0,449
9,75	0,0177	0,024	0,091	0,004	0,056	0,052	0,057	0,713	0,043	0,009	0,035
11,25	0,114	0,123	0,133	0,006	0,117	0,074	0,183	0,721	0,354	0,035	0,185
12,75	0,865	0,865	0,865	0,383	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,852	0,865
14,25	0,065	0,066	0,198	0,002	0,063	0,039	0,194	0,686	0,186	0,009	0,105
15,75	0,865	0,704	0,865	0,133	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,369	0,865
17,25	0,053	0,061	0,194	0,004	0,050	0,106	0,197	0,486	0,053	0,015	0,037
18,75	0,311	0,110	0,639	0,016	0,214	0,294	0,661	0,865	0,187	0,103	0,154

Çizelge 4.8 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-2 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.

Derinlik (m)	Adana (Ceyhan) 1998	Bingöl 2003	Chi Chi 1999	Denizli 2019	Dinar (Afyon) 1995	Düzce 1999	Elazığ 2020	Erzincan 1992	Kobe 1995	Kocaeli 1999	Van 2011
0,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,75	0,010	0,000	0,014	0,000	0,010	0,015	0,005	0,030	0,019	0,000	0,009
5,25	0,061	0,010	0,055	0,003	0,086	0,073	0,032	0,112	0,065	0,003	0,049
6,75	0,865	0,145	0,657	0,020	0,865	0,865	0,601	0,810	0,865	0,021	0,865
8,25	0,194	0,038	0,300	0,008	0,110	0,169	0,127	0,385	0,162	0,012	0,140
9,75	0,032	0,006	0,039	0,000	0,015	0,026	0,013	0,116	0,035	0,000	0,019
11,25	0,106	0,013	0,204	0,000	0,026	0,071	0,042	0,423	0,165	0,000	0,062
12,75	0,865	0,244	0,865	0,025	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,144	0,865
14,25	0,030	0,002	0,259	0,000	0,009	0,015	0,013	0,294	0,048	0,000	0,025
15,75	0,413	0,079	0,865	0,004	0,412	0,354	0,420	0,865	0,504	0,028	0,746
17,25	0,021	0,008	0,170	0,000	0,008	0,014	0,020	0,110	0,040	0,000	0,024
18,75	0,102	0,019	0,395	0,004	0,089	0,076	0,097	0,144	0,158	0,011	0,206

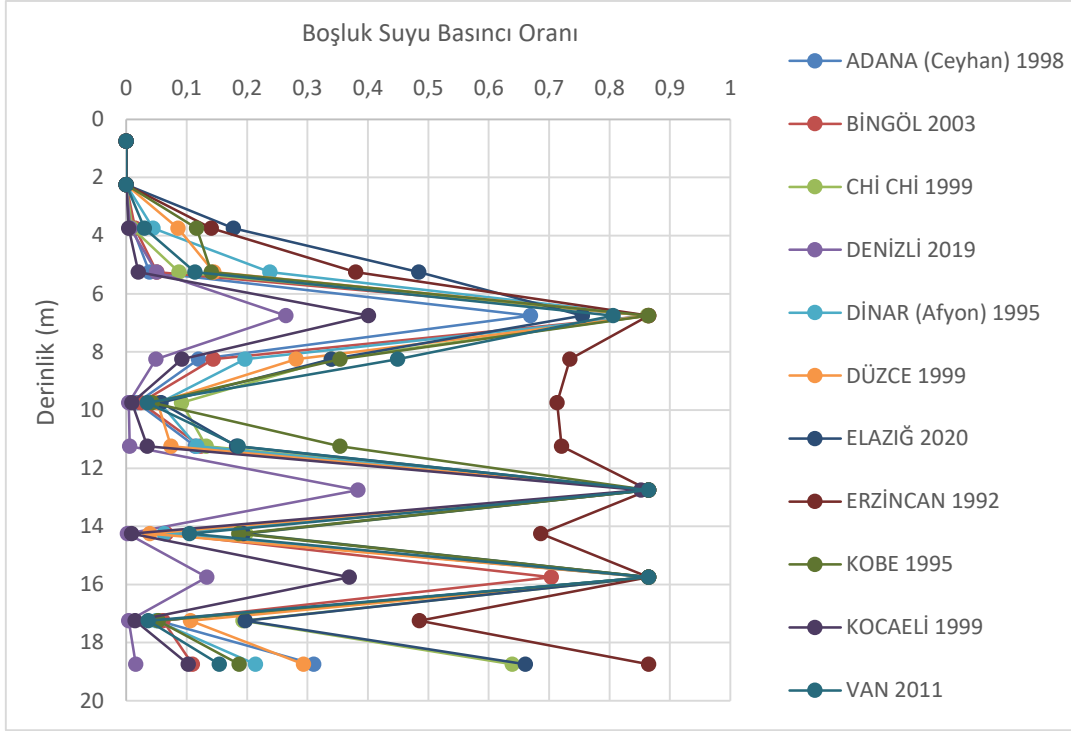
Çizelge 4.9 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-3 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.

Derinlik (m)	Adana (Ceyhan) 1998	Bingöl 2003	Chi Chi 1999	Denizli 2019	Dinar (Afyon) 1995	Düzce 1999	Elazığ 2020	Erzincan 1992	Kobe 1995	Kocaeli 1999	Van 2011
0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,75	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0	0,001	0,000	0	0
8,25	0,009	0	0,007	0	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006	0	0,007
9,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,75	0,035	0	0,039	0	0	0,018	0	0,050	0,024	0	0,017
14,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,75	0,006	0	0,007	0	0	0,002	0	0,019	0,005	0	0,003
17,25	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0	0	0
18,75	0,006	0	0,009	0	0	0,004	0	0,005	0,005	0	0,003

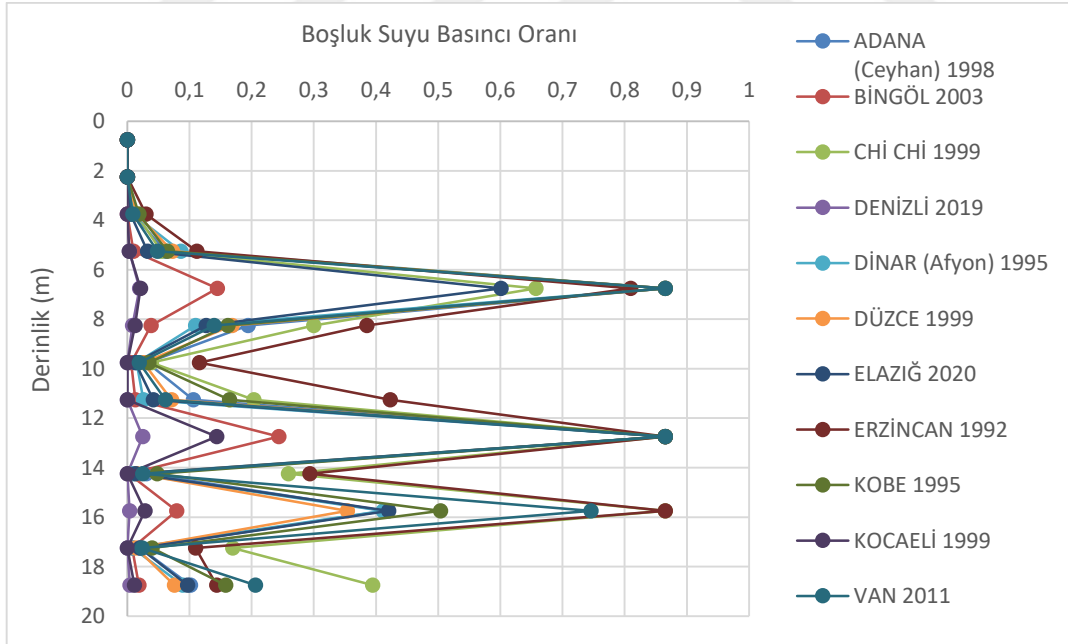
Çizelge 4.10 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-4 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranları.

Derinlik (m)	Adana (Ceyhan) 1998	Bingöl 2003	Chi Chi 1999	Denizli 2019	Dinar (Afyon) 1995	Düzce 1999	Elazığ 2020	Erzincan 1992	Kobe 1995	Kocaeli 1999	Van 2011
0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,75	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0,005	0,001	0	0
14,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,75	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0
17,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,75	0	0	0,003	0	0	0	0	0,003	0	0	0

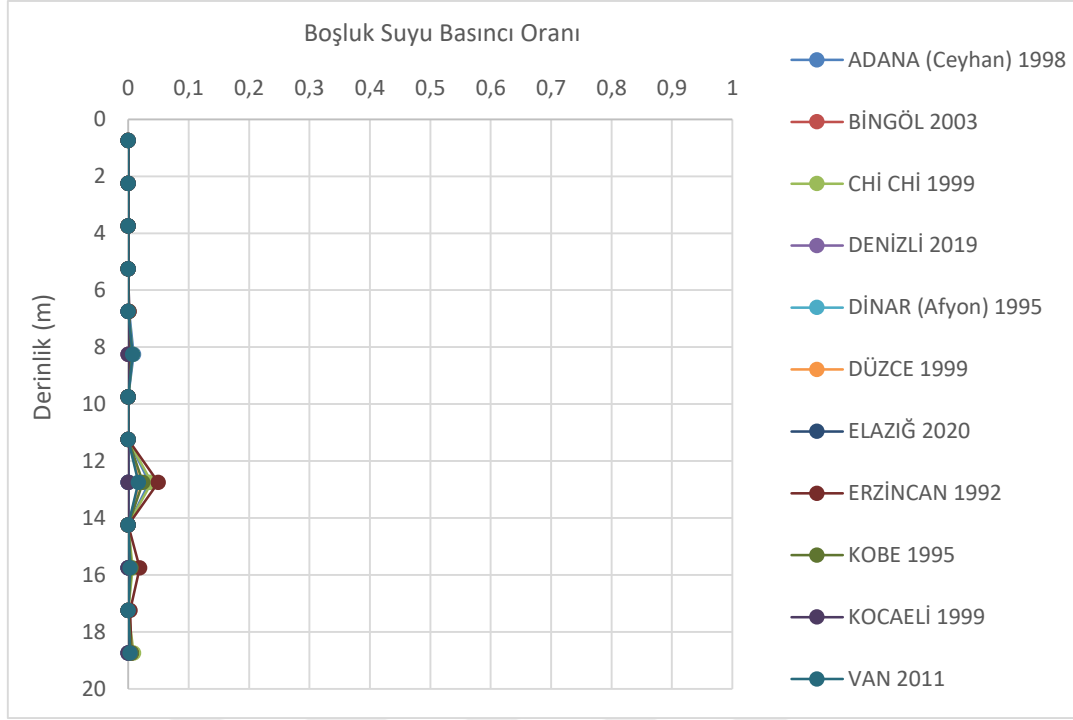
Boşluk suyu basıncı oranı değerleri 0-1 arasında değişmektedir ve 1' e ne kadar yakın ise sıvılaşma riski o kadar yüksektir. Elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12' de verilmiştir.



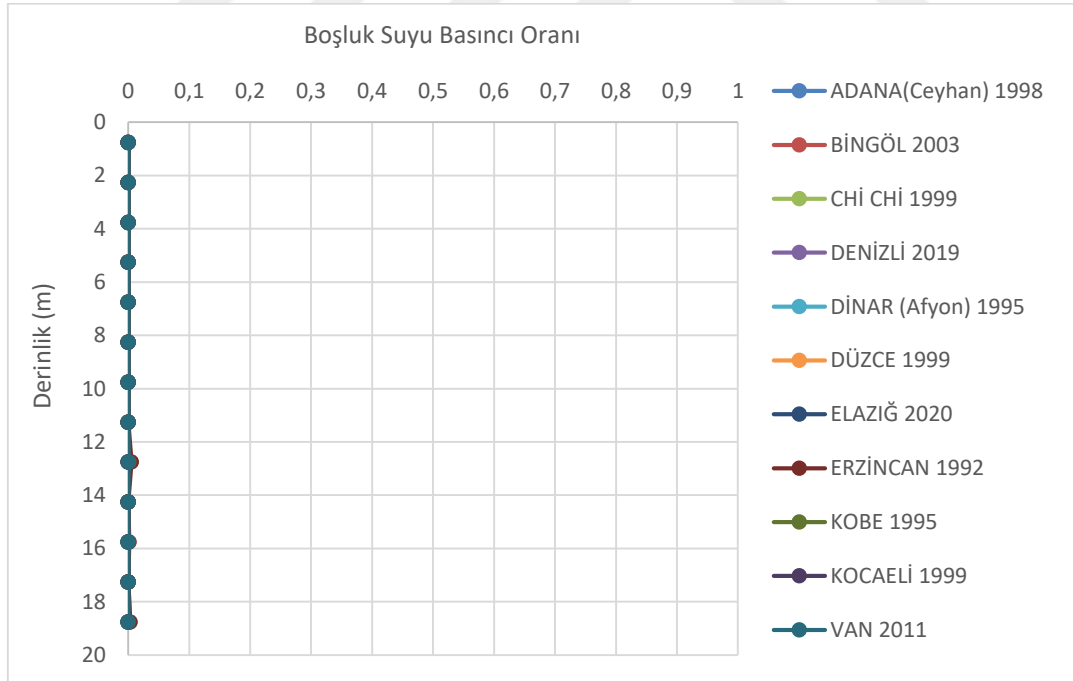
Şekil 4.9 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-1 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 4.10 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-2 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.



Şekil 4.11 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-3 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.

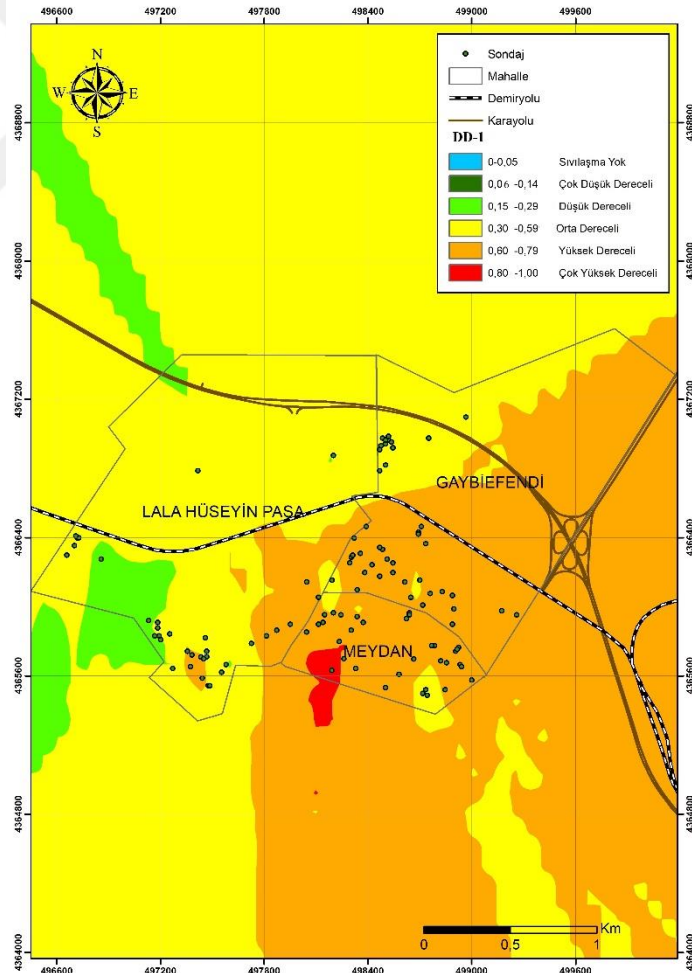


Şekil 4.12 39.4286 / 29.9864 koordinatlı kuyunun DD-4 analizi sonucu boşluk suyu basıncı oranlarının grafiksel gösterimi.

Sondaj kuyusunun analizinin tamamlanmasıyla DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 için boşluk suyu basıncı oranlarının grafikleri çizilmiştir. Her DD değerinde en büyük boşluk suyu basıncı oranı değeri alınmıştır. Bu kuyuda DD-1 için 0,865 , DD-2 için 0,865 , DD-3 için 0,049 ve DD-4 için 0,005 değerleri bulunmuştur ve bu analiz adımları her sondaj kuyusu için yapılarak mahallelerin sıvılaşma haritalarının çiziminde kullanılmıştır.

4.3 Sıvılaşma Haritaları

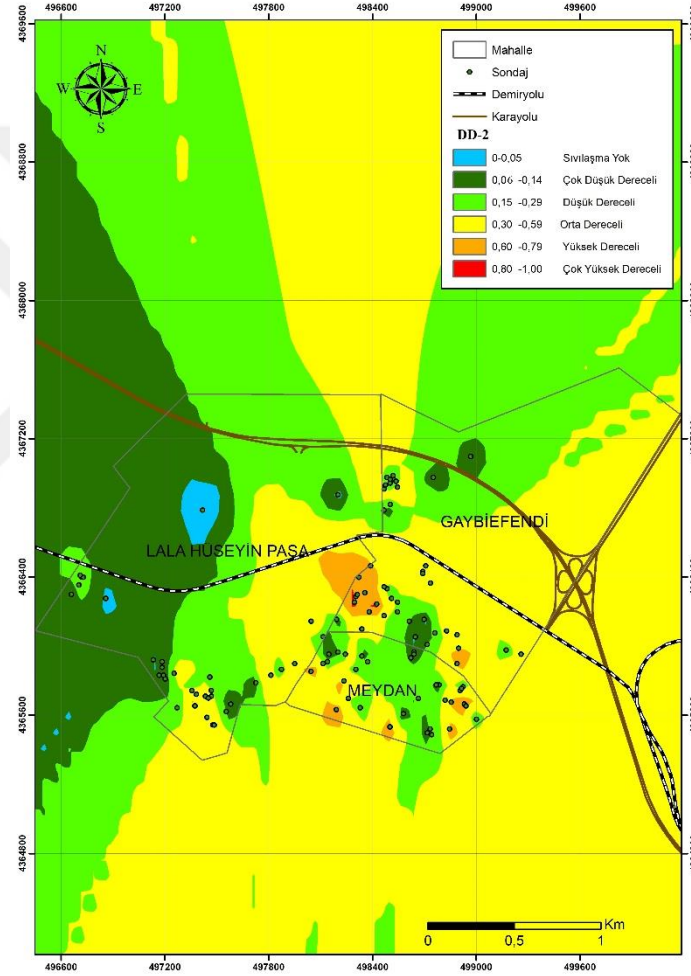
Sondaj kuyularından her yer hareketi düzeyi (DD) için alınan en büyük boşluk suyu basıncı oranı değerleriyle, coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak mahallelerin sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Sıvılaşma haritalarının oluşturulmasında kullanılan toplu sonuçlar Ekler kısmında verilmiştir. (Çalışmada kullanılan mahallelerin sınırları, ada ve parsel bilgilerini de içeren Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünden alınmıştır).



Şekil 4.13 Deprem yer hareketi DD-1'e göre sıvılaşma haritası.

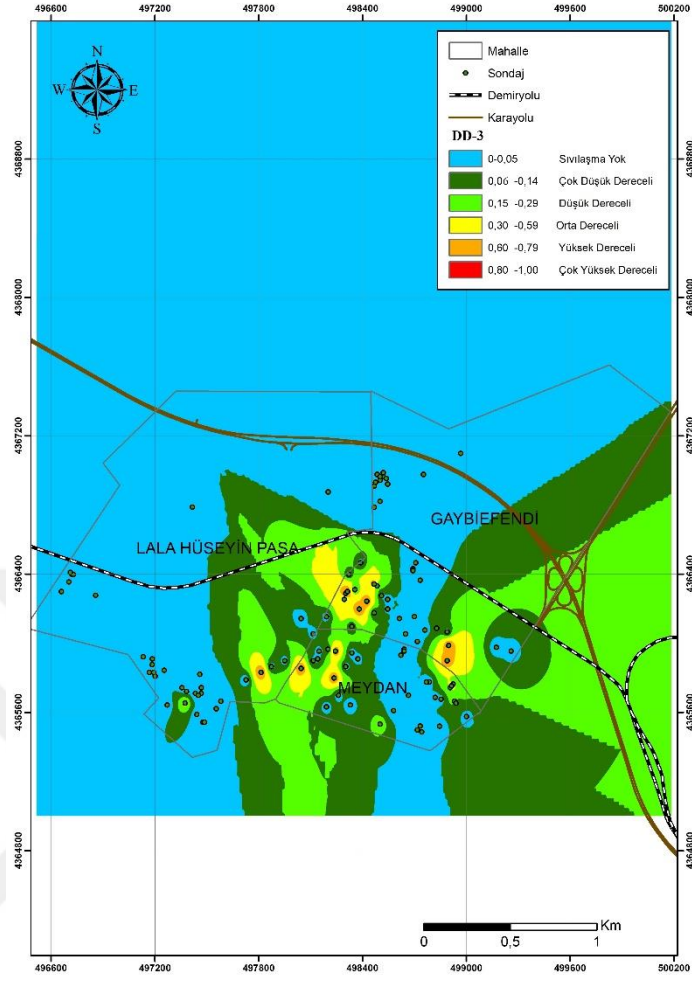
Yapılan analiz sonuçlarından elde edilen verilerin ortalaması alınarak, mahalleler için ortalama sıvılaşma riskleri elde edilmiştir.

DD-1 sıvılaşma analizi sonuçlarına göre ;Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sıvılaşma riski yüzdesi 63, bu değer Meydan Mahallesinde % 68 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 48’ dir. Meydan mahallesinde sıvılaşma riski çok yüksek dereceli bölgeler bulunmaktadır (Şekil 4.13).



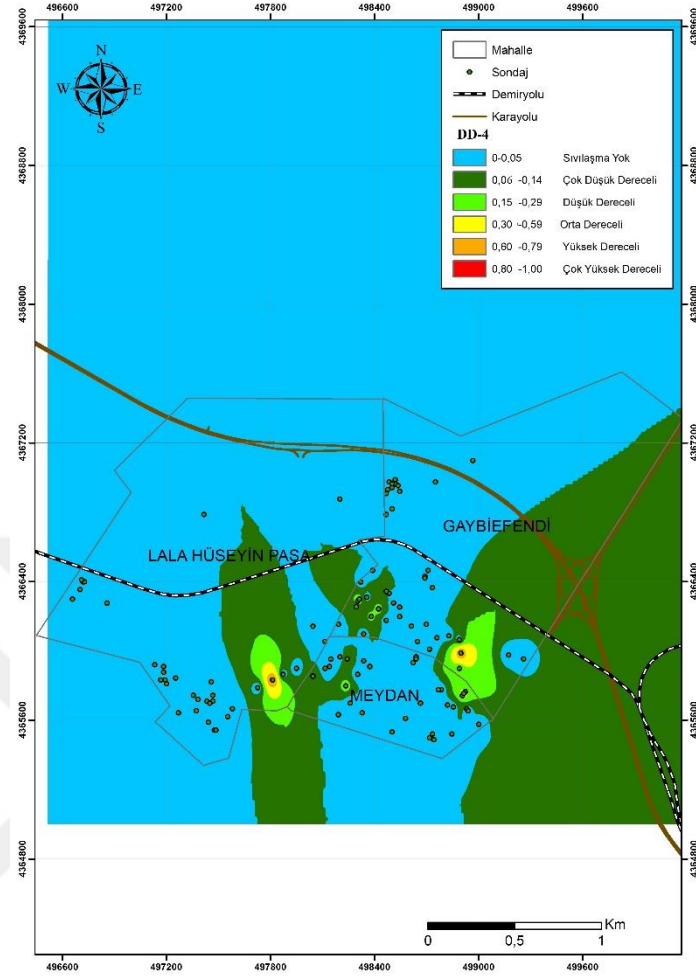
Şekil 4.14 Deprem yer hareketi DD-2' ye göre sıvılaşma haritası.

DD-2 sıvılaşma analiz sonuçlarına göre ;Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sıvılaşma riski % 40, bu değer Meydan Mahallesinde % 35 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 23’ tür. Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde sıvılaşma riskinin olmadığı bölgeler mevcuttur (Şekil 4.14).



Şekil 4.15 Deprem yer hareketi DD-3' e göre sivilaşma haritası.

DD-3 sivilaşma analiz sonuçlarına göre ;Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sivilaşma riski % 15, bu değer Meydan Mahallesinde % 12 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 4' tür. Haritalardaki mavi renk sivilaşma riskinin 0 ile %5 arasında olan yerleri göstermektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.16 Deprem yer hareketi DD-4' e göre sıvılaşma haritası.

DD-4 sıvılaşma analiz sonuçlarına göre ;Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sıvılaşma riski % 5, bu değer Meydan Mahallesinde % 5 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 3' tür (Şekil 4.16). Çizelge 4.11' de mahallelerin sıvılaşma risk değerleri toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.11 Analiz sonuçlarına göre yer hareketi düzeyleri (DD) için mahallelerin ortalama sıvılaşma riski yüzdeleri.

Mahalleler	Ortalama Sıvılaşma Riski Yüzdesi (%)			
	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
Gaybiefendi	63	40	15	5
Meydan	68	35	12	5
Lala Hüseyin Paşa	48	23	4	3

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı Gaybiefendi, Meydan ve Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde sondaj kuyularından elde edilen veriler ile Deepsoil 6.1 programı kullanılarak sıvılaşma potansiyelleri belirlenmiştir. Gaybiefendi Mahallesinde 44, Meydan Mahallesinde 33, Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde 35 sondaj noktası incelenmiştir. Belirlenen zemin sınıfına göre Matasovic/Vucetic ve ya Dobry/Matasovic boşluk suyu basıncı oluşum modeli kullanılmıştır. Analizler için 11 adet deprem seçilmiştir (Adana (Ceyhan) 1998, Bingöl 2003, Chi Chi (Tayvan) 1999, Denizli 2019, Dinar (Afyon) 1995, Düzce 1999, Elazığ 2020, Erzincan 1992, Kobe 1995, Kocaeli 1999, Van 2011). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) tanımlanan dört adet deprem yer hareketi düzeyleri (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) için Türkiye Deprem Haritasından (AFAD) mahallelere ait PGA (en büyük yer ivme) değerleri alınmıştır (DD-1 için 0,78g , DD-2 için 0,37g , DD-3 için 0,10g , DD-4 için 0,07g). Alınan PGA değerleri ile seçilen depremler ölçeklendirilmiş ve toplamda 44 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Her sondaj kuyusu bu 44 adet deprem kaydı ile Deepsoil 6.1 programında analiz edilmiş ve tüm DD değerleri için sonuçlar bulunmuştur.

Yapılan analiz sonuçlarından elde edilen verilerin ortalaması alınarak, mahalleler için ortalama sıvılaşma riskleri elde edilmiştir.

- DD-1 sıvılaşma analizi sonuçlarına göre ; Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sıvılaşma riski yüzdesi 63, bu değer Meydan Mahallesinde % 68 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 48' dir. Meydan mahallesinde sıvılaşma riski % 80' den fazla olan bölgeler bulunmaktadır (Şekil 4.13).
- DD-2 sıvılaşma analiz sonuçlarına göre ; Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sıvılaşma riski % 40, bu değer Meydan Mahallesinde % 35 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 23' tür. Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde sıvılaşma riskinin % 5' ten küçük olduğu bölgeler mevcuttur (Şekil 4.14).

- DD-3 sıvılaşma analiz sonuçlarına göre ; Gaybiefendi Mahallesiinde ortalama sıvılaşma riski % 15, bu değeri Meydan Mahallesiinde % 12 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesiinde % 4' tür (Şekil 4.15).
- DD-4 sıvılaşma analiz sonuçlarına göre ; Gaybiefendi Mahallesiinde ortalama sıvılaşma riski % 5, bu değeri Meydan Mahallesiinde % 5 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesiinde % 3' tür (Şekil 4.16).
- Gaybiefendi Mahallesiinde ortalama yeraltı suyu seviyesi (YASS) 3 m, Meydan Mahallesiinde 4,5 m ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesiinde 4 m' dir. YASS' nin yüzeye bu kadar yakın olması mahallelerin sıvılaşma potansiyellerini arttırmaktadır ancak Lala Hüseyin Paşa Mahallesiinde SPT (Standart Penetrasyon) değeriinin genel olarak yüksek olması sebebiyle sıvılaşma riski Gaybiefendi ve Meydan Mahallelerine göre düşüktür.
- İncelenen sondaj kuyularında ; Gaybiefendi Mahallesiinde çoğunlukla CL, ML nadir olarak SC, SM, Meydan Mahallesiinde çoğunlukla CL nadir olarak ML, SC, SM, Lala Hüseyin Paşa Mahallesiinde çoğunlukla CL nadir olarak ML, CH türü zeminlere rastlanılmıştır.
- Elde edilen sıvılaşma haritaları, bu bölgelerde yeni yapılacak yapılar için zeminin sıvılaşma durumunu göstererek önceden önlem alınmasına yardımcı olacaktır. Sıvılaşma riskinin yüksek olduğu mevcut yerleşim yerlerinde ise gerekli tedbirlerin alınması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akbuğa E, 2019, Seferihisar (İzmir) Bölgesinde Sıvılaşma Analizi Ve Haritalandırılması, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akkaya İ, Uğur ÖVÜN, ÖZVAN A, Mutluhan AKIN, & Müge AKIN 2017, Kayma Dalgası Hızı (V_s) kullanılarak Erciş (Van) yerleşim alanının sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32, 3, 56-68.
- Alparslan H, 2006, Sıvılaşma Potansiyeline Sahip Zeminlerde İyileştirme Yöntemlerine Ait Kriterlerin Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Alpaslan N, 2013, Zemin Sıvılaşması ve Mekanizması, Batman Üniversitesi, Yaşam Bilimleri Dergisi, 3, 67-89.
- Altındış M, 2020, Sıvılaşma Analizi ve Sıvılaşma Sonucu Oluşan Yanal Yayılma Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Altun, S, 2004, Suyu doymuş kumların drenajsız koşullardaki davranışının tekrarlı yükler altında burulmalı kesme deney aleti ile incelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6, 139-152.
- Arsoy S, 2004, “Granüler Zeminde Kayma Direnci Açısının Deformasyonla Değişmesi ve Potansiyel Kullanım Alanları”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 22.
- Azaklar Çuha B, 2018, İstanbul İli Riva Bölgesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyeli ve Zeminlerin Bulanık Mantık Metodu İle İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Basmacı E, 2002, Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Belirlenmesi Ve Bazı Zemin Özellikleriyle İlişkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Bray, J. D., Sancio, R. B., Riemer, M. F., and Durgunoglu, T., 2004a. Liquefaction susceptibility of fine-grained soils, 11th Int. Conf. on Soil Dynamics and

- Earthquake Engineering and 3rd Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., eds., Stallion Press, 655- 662
- Budak T Ö, 2020, Kohezyonlu Zeminlerin Drenajsız Kayma Dayanımlarının Çeşitli Laboratuvar Deneyleri İle Kıyaslanması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çiklaiblikçi P, 2019, Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Sonrasında Meydana Gelen Deplasmanların Belirlenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Donath, A.D., 1891. Untersuchungen Veber den Erddruck auf Stuetzwaende. Zeitschrift Fuer Bauwesen.
- Gücek S, 2020, Arazi Deneylerine Dayalı Zemin Büyütmesi ve Sıvılaşma Analizleri: Afyonkarahisar-Uydukent Yerleşim Alanı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Güngör H C, Ayday C, & Kibici Y, Coğrafi Bilgi Sistemi Teknolojisi İle Deprem Bilgi Sistemi Uygulaması: Kütahya İli, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26, 85-98.
- Hansbo S, 1975, Jordmateriallära, Almqvist & Wiksell Förlag AB, Stockholm, 218p.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2020) “DEEPSOIL 7.0, User Manual”. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hatanaka M, and Uchida A, 1996, Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils, Soils and Foundations, 36, 4, 1-9.
- Holtz R D, Kovacs WD, 2015, Geoteknik Mühendisliğine Giriş, 2.Cilt, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 540
- Ishihara, K, 1985, Stability of Natural Deposits During Eartquakes, *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, 1, 321-376

- İyisan R, 1996, Zeminlerde kayma dalgası hızı ile penetrasyon deney sonuçları arasındaki bağıntılar, Teknik Dergi, 7, 32.
- Jacky J, 1944, The Coefficient of Earth Pressure at Rest. Journal for Society of Hungarian Architects and Engineers, Budapest, Hungary, 355-358 p.
- Karakan, E., & EBREN, Z. (2020). Kuru Kumlarda Dane Çapı Dağılımının İçsel Sürtünme Açısına Etkisinin Kesme Kutusu Deneyleri ile Belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10, 3, 1702-1713.
- Karali S, 2019, Sıvılaşma Kaynaklı Zemin Deformasyonlarının Olasılıksal Yöntemlerle İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kiliç E, 2007, Konsolidasyon Özelliklerinin İstatistiksel Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Köleoğlu E, 2002, Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmeleri ve Sıvılaşma Analizi Kriterlerinin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Korkmaz Y, 2019, Üniform Silis Kumların Rölatif Sıkılığa Bağlı İçsel Sürtünme Ve Dilatasyon Açılarının Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, 652 pp, USA
- Liao S S, and Whitman R V, 1986, Overburden correction factors for SPT in sand, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112, 3, 373-377.
- Mcgregor J A, and Duncan J M, 1998, Performance and use of the standart penetration test in geotechnical engineering practice, A Report of a study performed by Virginia Tech Center for Geotechnica Practice and Research, Virginia Polytechnic Institue and State University, October 1998.
- Mert M, 2018, Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerle Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Mollamahmutoğlu, M. ve Babuçcu, F., 2006. Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara
- Okay, A. İ., Kaslılar-Ozcan, A., İmren, C., Boztepe-Guney, A., Demirbağ, E., ve Kescu, İ. (2000). Active faults and evolving strike-slip basin in the Marmara sea, Northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321, pp. 189-218.
- Önalp A, 1982, “İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi ”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Cilt -1, Trabzon, 292.
- Özçelik K, 2013, Zemin İncelemelerinde Standart Penetrasyon Ve Koni Penetrasyon Deneyleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Özmen C A, 2004, Zeminlerin Sıvılaşabilirliğine İnce Dane Oranı ve Plastisitenin Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özpınar O, 2019, Aydın İli, Efeler İlçesi Oyaeymir Mahallesinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Pampal S, 2000, “Depremler”, Alfa Basım Yayım Dağıtım, 54 – 66.
- Sağlamer, A., 1972. Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi, İ.T.Ü. Doktora Tezi, İstanbul.
- Sezer L İ, 2010, Kütahya yöresinin depremselliği, Ege Coğrafya Dergisi, 19, 2, 35-52.
- Şişman E, 2006, Fethiye Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Spt ve Kayma Dalga Hızı Verileriyle Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Sivrikaya O, 2003, Standart Penetrasyon Deneyi ile Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türkiye’deki Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2009. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsan Yayınevi, İstanbul.

- Siyahi B.G, Altaç Z, 2000, “Sıvılaşma potansiyelinin tahmininde Arias şiddeti yöntemi (17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri)”, Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, İstanbul, 45 – 68.
- Sönmezer, Y.B., 2016, Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikrobölgelemesi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kırıkkale.
- Subaşı Duman E, 2013, Erzincan İl Merkezi Ve Çevresindeki Zeminlerin Standart Penetrasyon Deneyi Verileri Kullanılarak Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Terzaghi, K., 1925. Erdbaumechnik auf Bodenphysikalischer Grundlage. Vienna, Deuticke.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons.
- Tosun H, 2002, Dolgu Baraj Depremselliği ve Tasarım Esasları, DSİ Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, s.45-74.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, Tarih: 18 Mart 2018, 30364.
- Ünverdi A, 2006, İnce Çakıl İçeriğinin Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Kayma Dayanımına Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ural N, 2008, İnce Daneli Zeminlerde Kil Oranının Sıvılaşmaya Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Uyanik, O., 2002. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Wang, W.S., (1979) Some Findings in Soil Liquefaction, Research Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Beijing, China.
- Yoshimi, Y., Tokimatsu, K. ve Hasaka, Y. (1989). “Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples”. Soils and Foundations, vol.29, no.1, pp. 93-104.

Youd T L., vd., (1985), “The Borah Peak, Idaho earthquake of October 28, 1983-liquefaction” Earthquake Spectra, Vol.2 ,1, 71-89.

Youd T.L., Idriss, I.M., 2001, “Liquefaction resistance of soils : summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127 , 4, 297 – 313.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.tuik.gov.tr/> ,02.01.2021
- 2) <https://depem.afad.gov.tr/depem-tehlike-haritasi> ,02.01.2021
- 3) https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis_diri_fay_haritalari/kutahya.pdf ,02.01.2021
- 4) <https://depem.afad.gov.tr/depemkatalogu#> ,02.01.2021
- 5) <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/> ,03.01.2021

EKLER

EK 1. Gaybiefendi Mahallesiinde incelenen sondaj kuyularının Deepsoil 6.1 programında sıvılaşıma analizi sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı oranları.

Ada / Parsel	Enlem	Boylam	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
194/48	39,4317	29,9848	0,64	0,016	0	0
194/72	39,4300	29,9817	0,865	0,865	0,865	0,199
194/97	39,4316	29,9848	0,82	0,82	0,007	0
194/98	39,4320	29,9850	0,858	0,459	0,002	0,002
222/58	39,4360	29,9822	0,64	0,64	0	0
222/135	39,4349	29,9822	0,301	0,015	0	0
223/21	39,4276	29,9904	0,595	0,161	0	0
223/48	39,4274	29,9914	0,685	0,475	0,013	0
227/15	39,4377	29,9880	0,595	0,104	0	0
227/34	39,4366	29,9855	0,483	0,016	0	0
232/5	39,4286	29,9864	0,865	0,865	0,049	0,005
1450/10	39,4320	29,9813	0,856	0,546	0,002	0,002
1455/14	39,4314	29,9805	0,64	0,64	0	0
1974/12	39,4311	29,9853	0,865	0,725	0,003	0
1985/15	39,4308	29,9824	0,587	0,018	0,017	0
1987/20	39,4309	29,9822	0,865	0,865	0,865	0,171
1992/1	39,4303	29,9827	0,64	0,64	0	0
1993/53	39,4301	29,9831	0,64	0,016	0	0
1997/19	39,4285	29,9856	0,722	0,016	0	0
1999/16	39,4269	29,9871	0,865	0,865	0,865	0,216
2003/16	39,4277	29,9872	0,865	0,865	0,865	0,865
2005/5	39,4284	29,9871	0,505	0,016	0	0
2080/1	39,4292	29,9849	0,21	0,013	0	0
2081/19	39,4283	29,9843	0,534	0,014	0	0
2081/39	39,4279	29,9851	0,413	0,014	0	0
2082/19	39,4296	29,9831	0,843	0,324	0,015	0,015
2083/1	39,4291	29,9839	0,805	0,119	0,017	0
2086/28	39,4294	29,9822	0,43	0,017	0	0
2118/27	39,4301	29,9802	0,865	0,865	0,291	0,037
2118/28	39,4304	29,9803	0,865	0,865	0,865	0,215
2118/29	39,4305	29,9804	0,865	0,865	0,865	0,192
2119/1	39,4306	29,9809	0,73	0,73	0	0
2122/41	39,4287	29,9807	0,806	0,215	0,017	0,017
2123/11	39,4296	29,9812	0,865	0,865	0,865	0,177

EK 1. (Devam) Gaybiefendi Mahallesinde incelenen sondaj kuyularının Deepsoil 6.1 programında sıvılaşma analizi sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı oranları.

Ada / Parsel	Enlem	Boylam	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
2129/28	39,4292	29,9790	0,07	0,015	0	0
2560/9	39,4366	29,9824	0,64	0,64	0	0
2561/9	39,4365	29,9828	0,64	0,64	0	0
2561/12	39,4363	29,9826	0,33	0,013	0	0
2561/18	39,4362	29,9823	0,775	0,775	0,021	0
2561/24	39,4365	29,9826	0,083	0,015	0	0
2561/27	39,4367	29,9828	0,07	0,014	0	0
2573/7	39,4364	29,9830	0,756	0,065	0,017	0,017
2625/6	39,4352	29,9826	0,093	0,012	0	0
2779/1	39,4361	29,9831	0,775	0,775	0,001	0

EK 2. Meydan Mahallesi'nde incelenen sondaj kuyularının Deepsoil 6.1 programında sıvılaşma analizi sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı oranları.

Ada / Parsel	Enlem	Boylam	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
114/4	39,4275	29,9791	0,64	0,016	0	0
115/7	39,4274	29,9796	0,865	0,865	0,865	0,176
118/12	39,4270	29,9811	0,821	0,261	0,015	0,016
123/39	39,4240	29,9884	0,595	0,111	0	0
123/274	39,4250	29,9863	0,538	0,016	0	0
123/355	39,4233	29,9851	0,785	0,131	0,015	0,015
123/381	39,4232	29,9854	0,063	0,016	0	0
125/121	39,4236	29,9826	0,865	0,865	0,214	0,01
127/93	39,4251	29,9798	0,775	0,21	0	0
129/6	39,4273	29,9807	0,134	0,014	0	0
160/58	39,4245	29,9790	0,865	0,865	0,006	0
173/9	39,4270	29,9784	0,845	0,319	0,015	0,015
173/14	39,4269	29,9781	0,792	0,204	0,016	0,015
173/26	39,4274	29,9785	0,087	0,014	0	0
187/42	39,4246	29,9806	0,82	0,133	0	0
468/38	39,4266	29,9803	0,865	0,2	0	0
533/47	39,4248	29,9876	0,865	0,865	0,255	0,03
533/107	39,4247	29,9877	0,865	0,865	0,017	0
533/110	39,4257	29,9875	0,566	0,071	0,017	0,016
533/113	39,4255	29,9873	0,4	0,015	0	0
533/116	39,4256	29,9874	0,865	0,865	0,865	0,864
538/181	39,4235	29,9866	0,82	0,82	0	0
538/215	39,4243	29,9835	0,64	0,056	0	0
639/276	39,4260	29,9795	0,865	0,865	0,865	0,219
673/439	39,4235	29,9853	0,012	0,012	0	0
673/464	39,4249	29,9867	0,857	0,635	0,002	0,002
1679/87	39,4275	29,9842	0,865	0,865	0,021	0,003
1679/89	39,4274	29,9842	0,73	0,014	0	0
1679/92	39,4272	29,9840	0,805	0,071	0,017	0
1688/375	39,4258	29,9859	0,219	0,015	0	0
1688/377	39,4258	29,9857	0,843	0,403	0,015	0,015
2525/2	39,4265	29,9773	0,865	0,865	0,834	0,154
2535/1	39,4251	29,9845	0,845	0,142	0,015	0,015

EK 3. Lala Hüseyin Paşa Mahallesi'nde incelenen sondaj kuyularının Deepsoil 6.1 programında sıvılaşma analizi sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı oranları.

Ada / Parsel	Enlem	Boylam	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
203/41	39,4246	29,9683	0,014	0,014	0	0
205/6	39,4261	29,9675	0,012	0,013	0	0
205/18	39,4263	29,9674	0,013	0,013	0	0
206/7	39,4263	29,9671	0,013	0,013	0	0
207/30	39,4270	29,9673	0,027	0,027	0	0
207/31	39,4267	29,9673	0,55	0,016	0	0
207/32	39,4271	29,9667	0,025	0,025	0	0
208/83	39,4264	29,9681	0,775	0,775	0	0
208/119	39,4255	29,9693	0,73	0,05	0,015	0
209/9	39,4255	29,9706	0,765	0,152	0,017	0
209/112	39,4252	29,9702	0,853	0,51	0,003	0,003
209/178	39,4247	29,9695	0,865	0,865	0,391	0,052
209/184	39,4253	29,9696	0,857	0,751	0,016	0,003
209/188	39,4252	29,9706	0,417	0,017	0,017	0
209/189	39,4251	29,9704	0,73	0,73	0	0
209/198	39,4262	29,9705	0,015	0,015	0	0
210/27	39,4241	29,9703	0,865	0,27	0	0
211/17	39,4244	29,9716	0,013	0,012	0	0
211/49	39,4237	29,9707	0,455	0,017	0	0
211/129	39,4248	29,9719	0,013	0,013	0	0
243/119	39,4314	29,9619	0,6	0,015	0	0
243/130	39,4314	29,9620	0,21	0,017	0	0
243/164	39,4305	29,9612	0,33	0,015	0	0
880/5	39,4349	29,9700	0,516	0,016	0	0
905/6	39,4357	29,9791	0,018	0,013	0	0
1483/11	39,4263	29,9746	0,865	0,865	0,865	0,865
1745/126	39,4237	29,9708	0,865	0,865	0,009	0
2194/169	39,4310	29,9617	0,843	0,31	0,016	0,015
2195/121	39,4315	29,9618	0,853	0,383	0,003	0,003
2201/4	39,4303	29,9635	0,014	0,014	0	0
2230/20	39,4291	29,9773	0,685	0,685	0	0
2506/7	39,4259	29,9736	0,537	0,017	0	0
2517/1	39,4283	29,9781	0,762	0,022	0,017	0
2522/5	39,4269	29,9762	0,854	0,579	0,003	0,003
2524/5	39,4266	29,9753	0,774	0,016	0	0