

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIVILAŞMA ANALİZİ İLE İLGİLİ BİR İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Candan AYDIN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

SIVILAŞMA ANALİZİ İLE İLGİLİ BİR İNCELEME

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Candan AYDIN
501051304**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. M. Tuğrul ÖZKAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Melike ALTAN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesi için ortaya konulan kriterlerin incelendiği bu yüksek lisans tez çalışmasında şartnamelerin, farklı deprem şiddetlerinin ve hesaplamada kullanılan parametreler için elde edilmiş korelasyonların sıvılaşma analizine etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışma süresince desteğini esirgemeyen herkese teşekkürü bir borç bilirim:

Lisans ve yüksek lisans derslerim ve bu tez çalışması boyunca her türlü bilgiye ulaşmamda bana ışık tutan, mühendislik etiğini kavramamda en doğru yolu gösteren, beni Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği ile tanıştıran çok değerli hocam Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN'a;

Bilgi ve kaynaklarını benimle paylaşan tüm İ.T.Ü. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine;

Şahsıma göstermiş oldukları hoşgöründen dolayı tüm ELİT Gayrimenkul Değerleme A.Ş. çalışanlarına;

Bana olan inanç ve desteğiyle beni motive ve onore eden, sonu gelmez sorularıma her zaman bir cevabı ve bitmek bilmeyen teknik sorunlara her daim bir çözümü olan, bu çalışma boyunca tüm içtenliğiyle yanımda olan ve bu çalışmadaki en önemli desteklerimden biri, sevgili arkadaşım, değerli meslektaşım, İnş. Y. Müh. Mustafa Serkan SARI'ya;

Bu süreçte her bir alt basamağa inişimde bana merdivenin başını ve sonunu işaret eden çok sevgili arkadaşlarım Av. Nedret GÜLTEKİN'e, Tel. Müh. Ekin BOZOKLAR'a ve Çev. Y. Müh. Aslıhan ALBOSTAN'a;

Yüreği, sevgisi ve inancı için çok sevgili desteğim Met. ve Malz. Müh. Volkan URAL'a;

Önlerinde duran en genç örnek olmam dolayısıyla duyduğum sorumlulukla bu gibi çalışmalarda beni sabırlı, soğukkanlı ve yürekli olmaya iten sebeplerim, sevgili kuzenlerim Onur YAVUZ'a; Zeynep İdil YAVUZ'a, Ali ALBAYRAK'a; Alpin ALBAYRAK'a;

Ailemin her bir ferdine;

İfade etmekte kelimelerin kifayetsiz kalacağı destekleri için sevgili annem Berrin AYDIN'a ve sevgili babam Can AYDIN'a;

En büyük kaybım, her konuda ve her zaman çizgisinden gitmeye çalıştığım meslektaşım, ömrümce yüreğimden özlemimi silmeyeceğim sevgili dedem Rıfat AKBULUT'a;

En içten duygularıyla teşekkür ederim.

Haziran, 2008

Candan AYDIN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ZEMİN SONDA DENEYLERİ	3
2.1 Sonda Deneyi ve Amaçları	3
2.2 Sonda Deneyleri Çeşitleri	3
2.2.1 Statik sonda deneyleri	4
2.2.2 Dinamik sonda deneyleri	4
2.3 Standart Penetrasyon Deneyi	5
2.3.1 SPT deneyinin yapılışı	5
2.3.2 SPT deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	7
2.4. Koni Penetrasyon Deneyi	12
2.4.1 CPT deneyinin yapılışı	12
2.4.2 CPT deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	15
2.5 SPT – CPT Korelasyonları	16
3. SIVILAŞMA KAVRAMI	18
3.1 Sıvılaşma Nedir?	18
3.2 Sıvılaşma İle İlgili Tanımlar	18
3.2.1 Akma sıvılaşması	18
3.2.2 Devirsel hareketlilik	19
3.2.3 Düz yüzey sıvılaşması	19
3.3 Boşluk Suyu Artış Mekanizması	19
3.4 Sıvılaşma Mekanizması	21
3.5 Sıvılaşmaya Karşı Duyarlılık	24
3.5.1 Zemin cinsi	24
3.5.2 Relatif sıkılık	25
3.5.3 Yer altı su seviyesi derinliği	26
3.5.4 Depremin eşik şiddeti ve maksimum odak uzaklığı	26
3.5.5 Dane dağılımı	26

3.5.6 Sıvılaştırılabilir zeminin derinliği	27
4. ZEMİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ KRİTERLERİ	28
4.1 Periyodik Kayma Gerilmesi Kriteri	28
4.1.1 SPT ile karakterizasyon	30
4.1.2 CPT ile karakterizasyon	32
4.1.3 Kayma dalgası hızı ile karakterizasyon	34
4.2 Eşik İvme Kriteri	35
4.3 Sıvılaşıma İndeksi Kriteri (Ampirik Kriter) (Iwasaki ve diğ., 1984)	36
4.4 Kohezyonlu Tabakalar İçin Analiz Kriterleri	37
4.5 Sıvılaşıma Şiddetinin Tahmini	39
4.6 Enerji Metodu	39
4.7 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte Sıvılaşıma İle İlgili Bükümler	40
4.8 EUROCODE 8 – 1998 İçeriğinde Sıvılaşıma İle İlgili Hükümler İçinde Yer Alan Kriterler	43
4.9 Sıvılaşımaya Karşı Alınacak Önlemler	43
5. SIVILAŞMA ANALİZİ İLE İLGİLİ BİR İNCELEME	45
5.1 Sıvılaşıma Hesabında Kullanılan Hesap Yöntemi	45
5.2 Yapılan Hesaplar	46
5.3 Yapılan Hesapların Değerlendirilmesi	47
6. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	52
EKLER	57
ÖZGEÇMİŞ	98

KISALTMALAR

ABBYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
CRR	: Cycling Resistance Ratio (Döngüsel Dayanım Oranı)
CSR	: Cycling Stress Ratio (Yaratılmış Döngüsel Direnç Oranı)
SSL	: Steady State Line (Sabit Durum Çizgisi)
FLS	: Faz Dönüşüm Çizgisi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : SPT-N sayısına göre killi zeminlerin kıvam dereceleri ve kumlu zeminlerin sıklık dereceleri (Uzuner, 2000).....	8
Tablo 2.2 : Granüler Zeminlerde Relatif Sıklık ile Standart Penetrasyon Sayıları Arasındaki Bağını (Molay, M.M., 1993)	8
Tablo 2.3 : Kohezyonsuz Zeminlerde $N-D_r$, ϕ , E , γ , Sıklık Kohezyonlu Zeminlerde Kıvam Bağınıları (Toğrol, 1970).	9
Tablo 2.4 : SPT-N ile D_r arasındaki korelasyonlar.....	10
Tablo 2.5 : Kayma dalgası hızı (V_s) ile SPT-N değeri arasındaki korelasyonlar..	11
Tablo 2.6 : SPT-N'e göre kohezyonlu zeminlerin kıvamı ile q_u arasındaki değerler.	12
Tablo 2.7 : Zemin cinslerine göre q_u ile SPT-N arasındaki ilişkiler.	12
Tablo 2.8 : Kil Zeminlerde Kıvam – Koni Uç Direnci Bağınısı (Sağlamer, 1996)	15
Tablo 2.9 : Kohezyonsuz Zeminlerde Relatif Sıklık - q_u Bağınısı (Schmertmann, 1978)	15
Tablo 2.10: Çeşitli Zeminlerde Tipik q_c (kPa) / N_{ar} Oranları (Sağlamer, 1996) ...	16
Tablo 2.11: Tipik q_c / N oranları (Sanglerat, 1972).....	17
Tablo 4.1 : İnce malzeme miktarı ile uç direnci artışı arasındaki ilişki (Ishihara, 1993)	33
Tablo 4.2 : Kohezyonlu Tabakalar İçin Sıvılaşma Analizi Kriterleri.....	38
Tablo 4.3 : Sıvılaşma derecesi I_L ile sıvılaşma şiddeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Tezcan ve Özdemir, 2004).	39
Tablo 4.4 : Zemin grupları (ABYYHY, 2006).....	41
Tablo 4.5 : Yerel zemin sınıfları (ABYYHY, 2006).....	42
Tablo 4.6 : Spektrum karakteristik periyotları (ABYYHY, 2006).....	42
Tablo 4.7 : Sıvılaşma riskinin gözlenmeyeceği zemin tipleri (Eurocode 8 -1998)	43
Tablo A.1 : Veri girişleri tablosu	58
Tablo A.2 : Özet Tablo Raporu	59

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Hafif Dinamik Sonda (Önalp, 1982)	4
Şekil 2.2 : SPT şeması ve SPT kaşığı (Uzuner, 2000)	7
Şekil 2.3 : Koni penetrasyon deneyi (Uzuner, 2000)	13
Şekil 2.4 : CPT zemin sınıfı	14
Şekil 2.5 : Koni Penetrasyon Deneyi ve Standart Penetrasyon Deneyi arasındaki İlişki (Burland ve Burbridge, 1985)	17
Şekil 3.1 : Aynı efektif çevre basıncındaki gevşek ve sıkı kumların birim şekil değiştirme kontrollü üç eksenli deneylerde davranışları (Kramer, 1996)	21
Şekil 3.2 : Kritik Boşluk Oranı (CVR) eğrisi (aritmetik ve logaritmik ekseninde) (Kramer, 1996)	22
Şekil 3.3 : Faz Dönüşüm Çizgisi (FLS) (Kramer, 1996)	22
Şekil 3.4 : Tekdüze yükleme deneylerinde sıvılaşma, sınırlı sıvılaşma ve genişleme (Kramer, 1996)	23
Şekil 3.5 : $e - \tau$ düzleminde, $e - \sigma'$ düzleminde ve $\tau - \sigma'$ düzlemindeki izdüşümleri gösteren üç boyutlu sabit durum çizgisi. (Kramer, 1996)	23
Şekil 3.6 : Relatif Sıklık – Maksimum yer ivmesi (Tezcan ve Özdemir, 2004)	25
Şekil 3.7 : Sıvılaşma Gözlenmiş Zeminlerin Dane Çapı Dağılım Eğrileri (Ishihara, 1985)	27
Şekil 4.1 : Gerilme azaltma katsayısının (r_d) derinlik ve deprem büyüklüğü ile değişimi (Seed ve Idriss, 1971)	29
Şekil 4.2 : $M = 7,5$ depremde temiz kumlarda sıvılaşmaya neden olan CRR ile $N_{1(60)}$ değerleri arasındaki ilişki (Seed ve diğ., 1975)	31
Şekil 4.3 : $M = 7,5$ depremde siltli kumlarda sıvılaşmaya neden olan CRR ile $N_{1(60)}$ değerleri arasındaki ilişki (Seed ve diğ., 1975)	31
Şekil 4.4 : CPT ile karakterizasyon için kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli ilişkisi (Stark&Olson, 1995)	33
Şekil 4.5 : Sıvılaşma Direncinin V_s ile bulunuşu (Sönmez, 2002)	35
Şekil 4.6 : Maksimum ivme ile deprem merkezine olan uzaklık ilişkisi (Tezcan ve Özdemir, 2004)	35
Şekil 4.7 : Tasarım ivme spektrumu (ABYYHY, 2006)	43
Şekil A.1 : Özet Grafik Raporu	60
Şekil B.1 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	62
Şekil B.2 : EUROCODE 8 - 1998, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	63

Şekil B.3	: ABBHHYY, 2. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	64
Şekil B.4	: ABBHHYY, 3. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	65
Şekil B.5	: ABBHHYY, Tezcan ve Özdemir'in Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	66
Şekil B.6	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve diğ. (1976)'nin V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	67
Şekil B.7	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai (1977)'nin halosen yaşlı kum zeminler için V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	68
Şekil B.8	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Ohta ve Goto (1978)'nin orta kumlar için V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	69
Şekil B.9	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Tonouchi (1982)'nin V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	70
Şekil B.10	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Okamoto ve diğ. (1989)'nin kum zeminler için V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	71
Şekil B.11	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, İyisan (1996)'nin V_s tüm zeminler için korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	72
Şekil B.12	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Mayerhof (1956)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap ...	73
Şekil B.13	: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Peck ve Bazaraa (1969)'nin D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	74

Şekil B.14 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Yoshida ve Ikemi (1988)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	75
Şekil B.15 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Jamuolkowski ve diğ. (1985)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap.....	76
Şekil B.16 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Kayen ve diğ. (1992)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap ...	77
Şekil B.17 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Tokimatsu ve Yoshimi (1983)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	78
Şekil B.18 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Seed ve Idriss (1982)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap ...	79
Şekil B.19 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Seed (1976)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap	80
Şekil B.20 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Peck ve diğ. (1974)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap ...	81
Şekil B.21 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu, Robertson (1983)'in elektrik uç ve kil-silt-kum karışımı korelasyonu kullanılarak hesap	82
Şekil B.22 : ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu, Robertson (1983)'in mekanik uç ve kil-silt-kum karışımı korelasyonu kullanılarak hesap.....	83

SEMBOL LİSTESİ

$(N_1)_{60}$	: Düzeltilmiş SPT-N değeri
$(N_1)_{60cs}$	: İnce malzeme miktarına göre düzeltilmiş, normalize edilmiş SPT darbe sayısı
ϕ	: Kayma mukavemeti açısı
a_{maks}	: Maksimum yüzey ivmesi
a_t	: Sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için gerekli eşik ivmesi
B	: Drenajsız yükleme koşullarında hidrostatik basınç veya hücre basıncı artışının boşluk suyu basıncında meydana getirdiği artış parametresi.
B'	: Ortalama dane çapına bağlı katsayı
C_A	: Çakma başlığı düzeltme faktörü
C_B	: Sondaj çapı düzeltme faktörü
C_{BF}	: Tokmak düşürme frekansı düzeltme faktörü
C_C	: Tokmak yastığı düzeltme faktörü
C_E	: Enerji düzeltme faktörü
C_N	: Jeolojik yük düzeltme faktörü
C_S	: Numune alıcısındaki kılıf için düzeltme faktörü
C_{sk}	: Zemin iskeletinin sıkışması
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
C_v	: Boşluk suyu sıkışması
D	: Deprem büyüklüğüne bağlı olarak sıvılaşmanın olabileceği uzaklık
d	: Derinlik
D_{50}	: Ortalama dane çapı
D_r	: Relatif (izafi) sıklık
e	: Boşluk oranı
e_c	: Kritik boşluk oranı
f_2	: 0,002 mm. çaplı elekten geçen yüzde malzeme miktarı
f_5	: 0,005 mm. çaplı elekten geçen yüzde malzeme miktarı
f_{50}	: 0,050 mm. çaplı elekten geçen yüzde malzeme miktarı
F_a	: Eşik ivme kriterine göre emniyet faktörü
F_L	: Ampirik kritere göre emniyet faktörü
F_{LR}	: Sıvılaşma dayanımı
F_s	: Sıvılaşma emniyet faktörü
F_v	: Kayma dalgası hızı ile karakterizasyonda kullanılan emniyet faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
G/G_{max}	: Kayma modülü oranı
G_{max}	: Kumlu zeminlerde küçük uzamalarda ölçülen ön kayma modülü
GS_{CPT}	: SPT ile karakterizasyonda kullanılan emniyet faktörü
GS_{SPT}	: SPT ile karakterizasyonda kullanılan emniyet faktörü
I_L	: Sıvılaşma şiddeti
I_p	: Plastite indisi
L	: Şiddetli bir depremde meydana gelebilecek kayma gerilmesi oranı

m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
M_w	: Deprem şiddeti
N	: Standart penetrasyon değeri
N_{ar}	: Arazide elde edilen SPT-N değeri
P_a	: Atmosfer basıncı
q_c	: Uç direnci
q_{c1}	: Normalize edilmiş uç direnci
q_s	: Sürtünme direnci
q_u	: Serbest basınç dayanımı
R	: Odak uzaklığı
R	: Zeminin sıvılaşma anındaki periyodik kayma direnci oranı
r_b	: Deprem şiddetine bağlı etkili ivme katsayısı
r_d	: Derinliğe bağlı gerilme azaltma faktörü
R_f	: Sürtünme oranı
S_t	: Hassaslık derecesi
V_s	: Kayma dalgası hızı
V_{s1}	: Normalize edilmiş kayma dalgası hızı
$W(Z)$	: Zemin tabakasının ağırlık fonksiyonu
w_L	: Likit limit
w_n	: Su muhtevası
z	: Tabaka ortasına kadar olan derinlik
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlığı
γ_t	: Eşik kayma uzaması
Δ_{max}	: Maksimum odak uzaklığı
ΔN_1	: İnce malzeme miktarına göre uç direnci artışı
Δu	: Boşluk suyu basıncı artışı
$\Delta \sigma_1, \Delta \sigma_2, \Delta \sigma_3$	: Toplam normal gerilme değişimleri
$\Delta \sigma_c$	: Hücre basıncındaki değişim
σ'	: Normal gerilme
σ_c	: Hücre basıncı
σ_{v0}	: Efektif normal gerilme
τ	: Kayma gerilmesi
τ_0	: Ortalama kayma gerilmesi
τ_s	: Periyodik sınır kayma gerilmesi

SIVILAŞMA ANALİZİ İLE İLGİLİ BİR İNCELEME

Zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için kullanılan çeşitli şartnameler, kriterler ve yöntemler bulunmaktadır. Bu şartname, yönetmelik ve kriterlere göre yapılan değerlendirmelerin tümü sıvılaşma analizini oluşturur.

Yapılan bu çalışmada EUROCODE 8 – 1998 ve ABBYYHY şartnamelerinin esaslarına göre Excel programı ile kohezyonlu tabakalar için kriterlerin, relatif sıklık kriterinin, sıvılaşma riski taşımayan tabaka kalınlığına bağlı kriterin, CPT, SPT ve kayma dalgası hızı deneyleri ile yapılan karakterizasyonların, ampirik kriterin ve eşik ivme kriterinin sonuçlarının değerlendirildiği bir hesaplama programı hazırlanmıştır. Programda hesaplama sonuçları iki adet özet grafik raporu ve bir adet özet tablo raporu şeklinde görülmektedir. “Özet Tablo Raporu” seçilen tek bir deprem şiddeti (M_w) için hesap adımlarının tablo halinde bir özeti şeklindedir ki bu tablo tahmini sıvılaşma şiddetini (I_L) de içerir. “Özet Grafik Raporu (1)”, periyodik kayma gerilmesi kriteri hesap sonuçları ile beş adet yöntemle belirlenmiş güvenlik sayılarının derinlikle değişimini gösteren grafikleri içerir. “Özet Grafik Raporu (2)”, seçilen farklı dört adet deprem şiddeti için her bir yöntemle hesaplanmış güvenlik sayılarının ayrı ayrı beş adet grafikte derinlikle değişimini gösterir.

Bu hesaplama programı kullanıcıya yetersiz veri durumunda sıvılaşma hesabı için gerekli parametrelerin farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulan ve kullanıcının seçeceği korelasyonlar ile hesaplanması olanağı tanıyarak hesabı yürütmekte, aynı zamanda korelasyonların karşılaştırması için olanak sağlamaktadır.

A STUDY TOWARDS LIQUEFACTION ANALYSIS

There are kinds of standards, criteria and methods to estimate the liquefaction potential of soils. We call “Liquefaction Analyses” to evaluation of all these standards, criteria and methods.

In this study, by using EUROCODE 8 – 1998 ve ABBYYHY standards, and by using the Excel programme, a calculation programme has been prepared which evaluates the results of criteria for cohesionless soils, relative density criteria, unliquifiable soil criteria, SPT,CPT and shear wave (S-wave) velocity based characterization, empirical criteria, threshold acceleration method.

The results of the calculations which this new programme runs, show the results as two kind of graphical summary report and a table summary report. “Table Summary Report “ is a summary of calculation steps for only a chosen magnitude of an earthquake (M_w) as a table and this table shows the liquefaction index (I_L). “Graphical Summary Report (1)” shows the SPT,CPT and shear wave (S-wave) velocity based characterization results and the depth-safety factors which have been calculated by five different methods. “Graphical Summary Report (1)” shows the results of these five safety factors – earthquake magnitude-depth relationship on five different graphs.

This calculation programme gives a choice to user to choose a correlation for a needless data to give a result; so also user can compare the results according to different correlation of different investigators.

1. GİRİŞ

Sıvılaşma, geoteknik deprem mühendisliğinin ilginç ve üzerine çokça tartışılan konularından birisidir. 1964, Alaska ve 1964, Nigata depremlerinde sıvılaşmadan sebebiyle oluşan büyük yıkımlar, mühendislerin ve araştırmacıların konuya ilgilerini artırmış olup, 1936'da Casagrande tarafından tanımlanan sıvılaşmanın önem ve yıkıcı etkileri bu depremlerden sonra tam olarak anlaşılabilmiştir. 7.4 şiddetindeki 1999 Kocaeli Depreminin ardından depremin en çok hasar verdiği il olan Adapazarı'nda görülen sıvılaşma kayıpları sebebiyle ülkemizde de özellikle bölgeye ait konu ile ilgili çalışmalar artmıştır.

Sıvılaşma konusunda değişik ön değerlendirme kriterleri, analiz kriterleri, analiz metodları ve standartlar bulunmakatadır. Casagrande'nin çalışmalarından sonra Seed ve Idriss (1967) yaptıkları çalışmalar ile bahsi geçen Nigata depreminin hasarlarının temellerin altındaki kumun sıvılaşması ile meydana geldiğini belirlemişlerdir. Sıvılaşma, genelde suya doygun kum ve silt zeminlerde görülmektedir. Sıvılaşma esnasında deprem gibi titreşimlere maruz kalıp sıkışmaya çalışan zemin hacimce azalır. Bu durum boşluk suyu basıncını artırır. Artan boşluk suyu basıncı normal gerilme değerine ulaştığında efektif gerilme sıfır olur zemin yüzeyine yakın kum tabakası sıvı gibi davranarak taşıyıcılığını kaybeder.

Sıvılaşma konusundaki devam eden çalışmalar laboratuvar ve arazi deney yöntemlerinin geliştirilmesi ile tekrarlı yükler altındaki kumlu zemin tabakalarının birçok araştırmacı tarafından incelenmesine teşvik etmiştir.

Depremin etkisiyle oluşan hasarlar zemin koşullarının birbirinden farklı etkileri altında kalmaktadır. Bu sebeple yapıların projelendirilmelerinden önce yapılacak zemin etüdlerinin değerlendirilmesinde, temel zeminini oluşturacak tabakaların oluşması muhtemel bir deprem esnasındaki sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Sıvılaşmanın insan hayatı ve ekonomi üzerindeki ciddi etkileri sebebiyle konu üzerine yapılan çalışmalar gitgide artmakta ve öne kazanmaktadır. Kum, siltli kum gibi zeminler içeren tabakaların sıvılaşma potansiyellerini değerlendirebilmek

amacıyla arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen çeşitli parametrelerin bir arada kullanıldığı çeşitli kriterler ve analiz yöntemleri önerilmektedir. Aynı zamanda bazı parametrelerin belirlenebilmesi için arazi deneylerinden elde edilen verilerin kullanılarak hesaplandığı birçok korelasyon bağıntısı farklı araştırmacılar tarafından sunulmuştur. Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında Excel ile oluşturulan program ile bu hesap yöntemleri, EUROCODE 8 – 1998 ve ABBYYHY standartlarına ve farklı deprem şiddetlerine göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş olup, hesap için gereken parametreler için kullanılabilecek korelasyon bağıntılarının da bu hesap yöntemlerinin sonuçlarına etkisi gözlenmiştir.

2. ZEMİN SONDA DENEYLERİ

2.1 Sonda Deneyi ve Amaçları

Zemin sonda deneylerinin esasını, zemin özellikleri bilinmeyen bir arazide inşa edilecek bir yapı için öncelikle zeminin sağlam olup olmadığını anlamak gerekliliği oluşturulmuş, böylelikle zemin sondalaması teknik açıdan zamanla gelişmiştir. Sonda deneyi; metal bir putrelin zemine çakılması, belirli bir darbe sayısı göz önüne alınarak penetrasyon miktarının ölçülmesiyle bu sırada maruz kalınan direncin belirlenmesidir. Literatürde rastlanan ilk örneği 1846'da Fransa'da Collin tarafından kullanılmış olan küçük çaplı bir penetrometredir.

2.2 Sonda Deneyleri Çeşitleri

Sonda deneyleri iki çeşittir. Bunlar statik ve dinamik deneylerdir. Statik sonda deneyinde bir konik başlık belirli bir hızda zemin içine itilir. Dinamik sonda için ise zemine çakma işlemi belirli bir yükseklikten düşen bir tokmakla gerçekleştirilir. Statik sondalama gevşek kum ve hassas killerde yapılan ölçümlerde zeminin özelliklerini değiştirmedikten tercih edilir. Dinamik sonda deneyi ise statik deneyin yetersiz kaldığı çakıllı zeminde bile kısmen de olsa kullanılabilir.

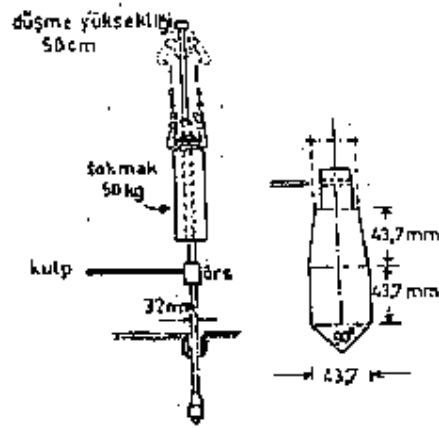
Statik penetrometreler içinde cep penetrometresi kullanımı en basit olanıdır ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu penetrometrenin kullanım esası, penetrometreyi zemin içine 5 mm kadar batırmak için gerekli kuvvetin, içteki yay aracılığı ile aletin göstergesinde, zeminin serbest basınç mukavemeti olarak ölçülmesidir. Cep penetrometresinin kayma mukavemeti ve zemin kıvamı hakkında oldukça doğru ve faydalı bilgi verdiği düşünülmektedir.

2.2.1 Statik sonda deneyleri

Statik sonda deneylerinin gelişimi 1930'lu yıllarda Hollanda'da başlamıştır. Bu deney zemin direncinin derinlikle değişiminin ölçülmesi ile temel tasarımında oldukça yeterli bilgi vermekte olup kazıklı temellerin uç direnci ve çevre sürtünmesi için gerekli bilgiler de yine bu sondalama ile bulunabilmektedir. Statik sonda deneyinde bir konik başlık 1.25 m/dak'dan büyük olmaması gereken üniform bir hızda zemin içine itilir. Günümüzde, esas olarak 1945'ten bu yana giderek gelişen hidrolik ve hidrolik-elektronik ölçümler yapabilen sistemler kullanılmakta olup daha hassas ölçmeler gerektiren yapılarda "Fugro" tipi sondalar tercih edilmektedir.

2.2.2 Dinamik sonda deneyleri

Dinamik sonda deneyinde kullanılan kaplama boruları, belli bir yükseklikten düşen bir tokmakla çakılır. Çakılma sırasında zeminin gösterdiği direnç vuruş sayısının bir fonksiyonudur. Dinamik sonda ağır ve hafif olmak üzere iki tiptir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Hafif Dinamik Sonda (Önalp, 1982)

Hafif sonda aletinde 10 kg ağırlığındaki bir tokmak 50 cm yükseklikten düşürülür. Oysa ağır sonda aletinde tokmak ağırlığı 50 kg'dır.

Dinamik sonda deneyinde darbeler 2 saniyelik aralıklarla vurulmalı ve belli derinliğe varılıncaya kadar deneye ara verilmemelidir. Genelde 10 cm veya 20 cm giriş için gerekli darbe sayısı belirlenir.

2.3 Standart Penetrasyon Deneyi

2.3.1 SPT deneyinin yapılışı

SPT, geoteknik araştırma ve incelemelerinde tüm dünyada yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir. Deneyin amacı; zemin tabakalarının penetrometreye gösterdiği dirence bağlı olarak kaba daneli zeminlerin yerleşim sıklığı, ince daneli zeminlerin kıvamı ve zeminlerin mukavemetleri hakkında bilgi sahibi olmaktır. Ayrıca örselenmiş numune alınarak, bu numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile zemin parametreleri tayin edilebilmektedir.

Deney standart bir numune alıcının zemine çakılmasından ibarettir. Numune alıcının iç çapı 3.5 cm, dış çapı 5 cm, uzunluğu ise 81 cm'dir. Çakma işi 63.5 kg ağırlığındaki bir tokmanın 76 cm yükseklikten serbest düşürülmesi ile zemine toplam 45 cm çakılmasıdır. Tokmak dakikada ortalama 30 kez düşürülür. İlk 15 cm giriş deneye başlanılan seviyedeki örselenmiş tabakayı temsil ettiğinden dikkate alınmaz. Son 30 cm giriş için gerekli vuruş sayılarının toplamı, standart penetrasyon değeri veya SPT direnci olarak tanımlanır ve "N" ile gösterilir.

Yapılan deneylerden kullanılabilir sonuçların sağlanabilmesi, uygulamada standartların tam yerine getirilmesi ile mümkün olmaktadır. SPT çekicinin düşürülme yöntemi ve onun düştüğü alt başlık, bu deney için önemli değişkenlerdir ve çekicinin serbest düşmesiyle oluşan teorik enerjinin çubuklara aktarılan kısmını kontrol ederler. Çekicinin alt başlığa çarpması, düşme sisteminin enerji yutan özellikleri nedeniyle enerjinin bir kısmı kaybolur. Bu yüzden, serbest düşmeden oluşan toplam enerjinin tamamı standart ucun penetrasyonuna yansımaz.

SPT sonuçlarının değişmesine neden olan birçok faktör vardır. Bunlar, sondaj metotları ve sondaj çapı, numune alıcının doğal zemine oturmaması, numune alıcının durumu, numune alıcının kaplama borusu içindeki konumu, tij uzunluğu, tokmak düşürme yöntemi ve düşürme sıklığı, eksantrik çarpma ve operatör deneyimidir.

Bu faktörler SPT sonuçlarının yorumlanmasında ve önceki verilerin kullanılmasında zorluklara neden olmaktadır. Bu nedenle SPT verilerine etkiyen bu faktörler dikkate alınarak düzeltilmektedir. Ölçülen vuruş sayıları C_i gibi sabit bir düzeltme katsayısı ile çarpılır.

Düzeltilme faktörleri, zemin tipi, YASS ve deneyin uygulanmasında kullanılan ekipmana göre belirlenmektedir. Düzeltme faktörleri şunlardır:

- Jeolojik yük (C_N)
- Tokmak düşürme frekansı (C_{BF})
- YASS

Bu düzeltme sadece YASS altında doymun ince kum veya siltli kumlarda yapılır.

$$N_{arazi} > 15 \text{ için } N = 15 + \left(\frac{N_{arazi} - 15}{2} \right) \quad (2.1)$$

- Enerji (C_E)
- Tij boyu (C_R)
- Sondaj çapı (C_B)
- Numune alıcısındaki kılıf (C_S)
- Çakma başlığı (C_A)
- Çakma başlığındaki blok yastık (C_C)

N_{ar} : arazide elde edilen SPT-N değeri

$N_{1.60}$: düzeltilmiş SPT-N değeri

İndiste yer alan (60) normalize edilen enerji oranını, (1) ise düzeltmelerin yapıldığını göstermektedir. Bu durumda düzeltilmiş N şu şekildedir:

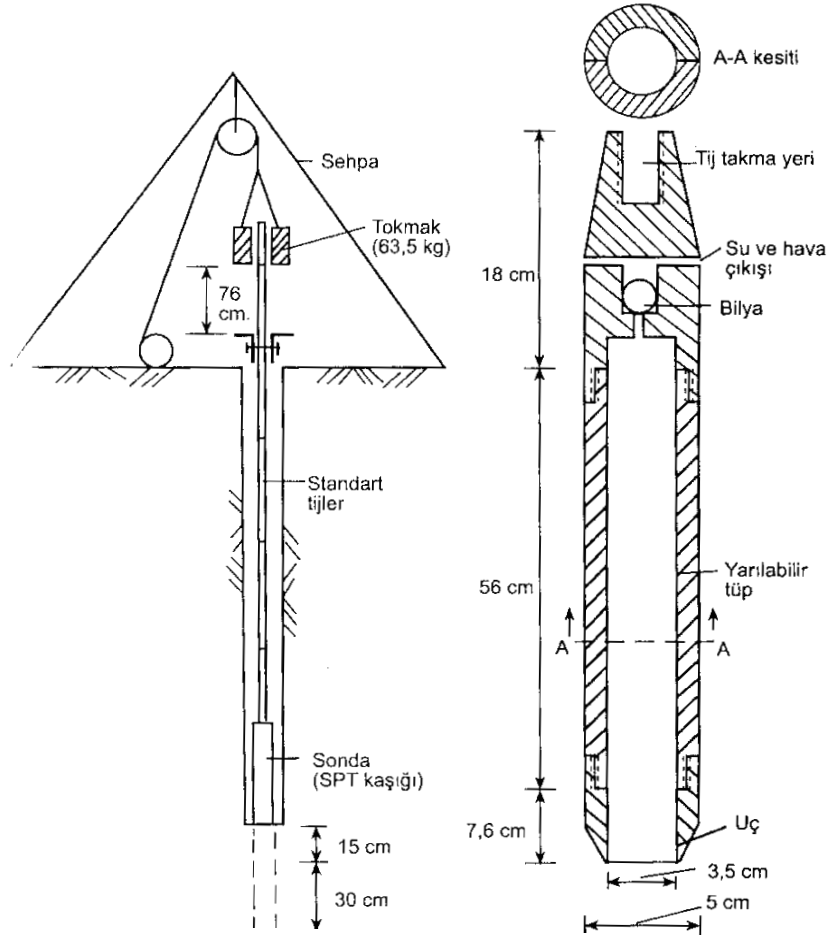
$$N_{1.60} = (C_N * C_{BF} * C_E * C_R * C_B * C_S * C_A * C_C) * N_{ar} \quad (2.2)$$

Geoteknik uygulamalarda genelde efektif düşey gerilme C_N ve enerji düzeltmesi C_E yapılmakta, diğerlerinin etkisi daha az olduğundan ihmal edilebilmektedir.

Bu durumda düzeltilmiş N değerleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$N_{60} = N_{ar} * C_E \quad (2.3)$$

$$N_{1.60} = (N_{ar} * C_E) * C_N \quad (2.4)$$



Şekil 2.2 : SPT şeması ve SPT kaşığı (Uzuner, 2000)

2.3.2 SPT deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

SPT sonuçlarından kohezyonsuz zeminlerin taşıma gücü ve oturma hesapları için gerekli olan kayma mukavemeti açısı (ϕ), relatif sıkılık (D_r), serbest basınç (q_u) (Bkz. Tablo 2.1), drenajsız kayma mukavemeti (c_u) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerleri elde edilir.

$$D_r, \phi = f(N)$$

$$q_u, c_u, m_v = f(\text{SPT-}N_{30})$$

Ayrıca sıvılaşma potansiyeli, kayma dalgası hızı ve zemin büyütmesi hakkında bilgi sahibi olunur.

SPT sonuçlarının değerlendirilmesi kendi başına kapsamlı bir konu olup, yaptığımız bu çalışmada zeminlerin sıvılaşma analizi hesaplamalarında kullanılan bazı korelasyonlar üzerinde durulacaktır.

Tablo 2.1: SPT-N sayısına göre killi zeminlerin kıvam dereceleri ve kumlu zeminlerin sıklık dereceleri (Uzuner, 2000)

KİL			KUM		
SPT-N	qu (kPa)	Kıvam	Spt-N	Dr	Sıklık
<2	<25	çok yumuşak	<4	0.00 - 0.15	çok gevşek
2-4	25 – 50	yumuşak	4 – 10	0.15 – 0.35	gevşek
4 - 8	50 - 100	orta katı	10 - 30	0.35 – 0.65	orta sıkı
8 - 15	100 - 200	katı	30 - 50	0.65 – 0.85	sıkı
15 – 30	200 - 400	çok katı	>50	0.85 – 1.00	çok sıkı
>30	>400	sert			

Tablo 2.2: Granüler Zeminlerde Relatif Sıklık ile Standart Penetrasyon Sayıları Arasındaki Bağını (Molay, M.M., 1993)

N Darbe Sayıları	Relatif Sıklık
0 – 4	Çok gevşek
4 – 10	Gevşek
10 – 30	Orta
30 – 50	Sıkı
50	Çok sıkı

Kohezyonlu zeminlerde serbest basınç mukavemeti ile penetrasyon direnci arasında çeşitli bağıntıları önerilmiştir. Tablo 2.2’de gösterilen kohezyonsuz zeminler için relatif sıklık-penetrasyon direnci, kohezyonlu zeminler için ise penetrasyon direnci-serbest basınç mukavemeti, Tablo 2.3’deki kıvam-N bağıntıları araştırmacılar tarafından önerilmiştir (Toğrol, 1970).

Tablo 2.3: Kohezyonsuz Zeminlerde N-D_r, ϕ , γ , Sıkılık Kohezyonlu Zeminlerde Kıvam Bağlılıları (Toğrol, 1970)

N	D _r	ϕ	γ kN/m ³	Sıkılık	H	100 KPa	Kıvam
0-4	0.00-0.15	25-30 27-32	1.1-1.6	Çok gevşek	0-2	0.00-0.25	Çok yumuşak
4-10	0.15-0.35	27-32 30-35	1.4-1.8	Gevşek	2-4	0.25-0.50	Yumuşak
10-30	0.35-0.65	30-35 35-40	1.8-2.1	Orta	4-8	0.50-1.00	Orta
30-50	0.65-0.85	35-40 38-43	1.8-2.2	Sıkı	8-15	1.00-2.00	Katı
50	0.85-1.00	38-43 43	2.1-2.4	Çok sıkı	15-30	2.00-4.00	Çok katı

Zeminin kayma mukavemeti katsayıları ile SPT direnci değerleri arasındaki bağıntılardan birisi de içerisinde %5 den fazla ince malzeme bulunan zeminde

$$\phi = 25 + 0.15 D_r \quad (2.5)$$

olarak verilmiştir.

% 5 den az ince malzeme bulunan zeminler için ise bu bağıntı

$$\phi = 30 + 0.15 D_r \quad (2.6)$$

şeklindedir (Önalp, 1982).

Ayrıca, Gibz ve Holtz (1957), Mayerhof (1956), Peck ve Bazaraa (1969) ve Yoshida ve İkemi (1988) tarafından kaba daneli zeminler için SPT-N ile izafi sıkılık aralarında verilen ilişkiler Tablo 2.4’de topluca gösterilmiştir (Sivrikaya, 2003).

Tablo 2.4: SPT-N ile D_r arasındaki korelasyonlar

Zemin türü	İzafi sıkılık (D_r)	Parametreler ve Birimler	Referans
Normal konsolide kumlar	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{1.7(10 + 0.15\sigma'_v)} \right)^{0.5}$	σ'_v = Efektif düşey gerilme (kPa)	Gibbs ve Holtz (1957)
Normal konsolide silika kum	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{16 + 0.234\sigma'_v} \right)^{0.5}$	σ'_v = Deney derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Meyerhof (1956)
Kaba kumlar	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{22 + 0.773\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad \sigma'_v < 75kPa$ $D_r = \left(\frac{N_{60}}{66 + 0.193\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad \sigma'_v \geq 75kPa$	σ'_v = Deney derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Peck ve Bazaraa (1969)
Çakıllı zeminler	$D_r = (N_{60})^{0.57} \sigma'^{-0.14}_v \quad (\text{ince kum})$ $D_r = 18(N_{60})^{0.57} \sigma'^{-0.14}_v \quad (\text{Çakıl oranı \%25})$ $D_r = 25(N_{60})^{0.44} \sigma'^{-0.13}_v \quad (\text{Çakıl oranı \%50})$ $D_r = 25(N_{60})^{0.46} \sigma'^{-0.12}_v \quad (\text{Ortalama tüm kumlar})$	σ'_v = Efektif düşey gerilme (kPa)	Yoshida ve İkemi (1988)

Yüzeye yakın tabakaların kayma dalgası hızı (V_s) inşaat ve deprem mühendisliğinde önemli zemin özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Zeminlerin dinamik özelliklerinden olan V_s sıvılaşma potansiyelinin tahmininde ve zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Ayrıca, İmai ve yoshimura (1970), İmai ve diğ. (1976), İmai (1977), Ohta ve Goto (1978), İmai ve Tonouchi (1982), Okamoto ve diğ.(1989) ve İyisan (1966) tarafından çeşitli zeminler için SPT-N ile kayma dalgası hızı arasında verilen ilişkiler Tablo 2.5’de topluca gösterilmiştir (Castillo, 2007).

Burada D = derinlik (m), σ'_{vo} = düşey efektif gerilme (kPa), N =SPT-N’nin düzeltilmemiş değeri, n = data sayısı ve r = korelasyon katsayısı’dır.

Tablo 2.5: Kayma dalgası hızı (V_s) ile SPT-N değeri arasındaki korelasyonlar.

Yapılan çalışmalar	Zemin Cinsi	V_s (m/sn)
İmai ve yoshimura (1970)	Tüm	$76N^{0.33}$
İmai ve diğ. (1976)	Tüm	$89.8N^{0.341}, n = 756$
İmai (1977)	Halosen (H) Kil Halosen (H) Kum Plastosen (P) Kil Plastosen (P) Kum	$102N^{0.29}$ $81N^{0.33}$ $114N^{0.29}$ $97N^{0.32}$
Ohta ve Goto (1978)	Kil İnce kum Orta kum Kaba kum Çakıllı kum Çakıl	$69N^{0.17} D^{0.2} EFn = 300$ $F = 1.00, E = I(H)veya1.3(P)$ $F = 1.09, E = I(H)veya1.3(P)$ $F = 1.07, E = I(H)veya1.3(P)$ $F = 1.14, E = I(H)veya1.3(P)$ $F = 1.45, E = I(H)veya1.3(P)$
İmai ve Tonouchi (1982)	Tüm	$97N^{0.114}, n = 1654, r = 0.868$
Okamoto ve diğ.(1989)	Plastosen (P) Kum	$125N^{0.3}$
İyisan (1966), Aşağı ve karşıt kuyu deneyleri yapılmıştır.	Tüm Tüm Kil (CL) Kum (SM) Çakıl (GP, GM)	$51.5N^{0.516}, n = 65, r = 0.81$ $61N^{0.267} (100_{vo})^{0.281}, n = 65, r = 0.83$ $47.3N^{0.324} (100_{vo})^{0.27}, n = 65, r = 0.90$ $54N^{0.33} (100_{vo})^{0.221}, n = 65, r = 0.64$ $205.7N^{0.074} (100_{vo})^{0.133}, n = 65, r = 0.53$

Terzaghi ve Peck (1967) ve Bowles (1968) tarafından önerilen, SPT-N ile serbest basınç mukavemeti arasındaki yaklaşık ilişkiler Tablo 2.6’da çizelge halinde verilmiştir.

Tablo 2.6: SPT-N’e göre kohezyonlu zeminlerin kıvamı ile q_u arasındaki değerler

Zemin Kıvamı	Terzaghi ve Peck (1967)		Bowles (1968)	
	SPT-N ₆₀	q_u (kPa)	SPT-N ₆₀	q_u (kPa)
Çok yumuşak	<2	<25	<2	0 - 25
Yumuşak	2 - 4	25 - 50	2 - 4	25 - 50
Orta Katı	4 - 8	50 - 100	4 - 8	50 - 100
Katı	8 - 15	100 - 200	8 - 16	100 - 200
Çok Katı	15 - 30	200 - 400	16 - 32	200 - 400
Sert	>30	>400	>32	>400

Çeşitli araştırmacılar, zeminin cinsine bağlı olarak serbest basınç mukavemeti (q_u) ile SPT-N sayısı arasında ilişkiler geliştirmişler. Bunlar Tablo 2.7’de topluca verilmiştir (Sağlam, 1996).

Tablo 2.7: Zemin cinslerine göre q_u ile SPT-N arasındaki ilişkiler

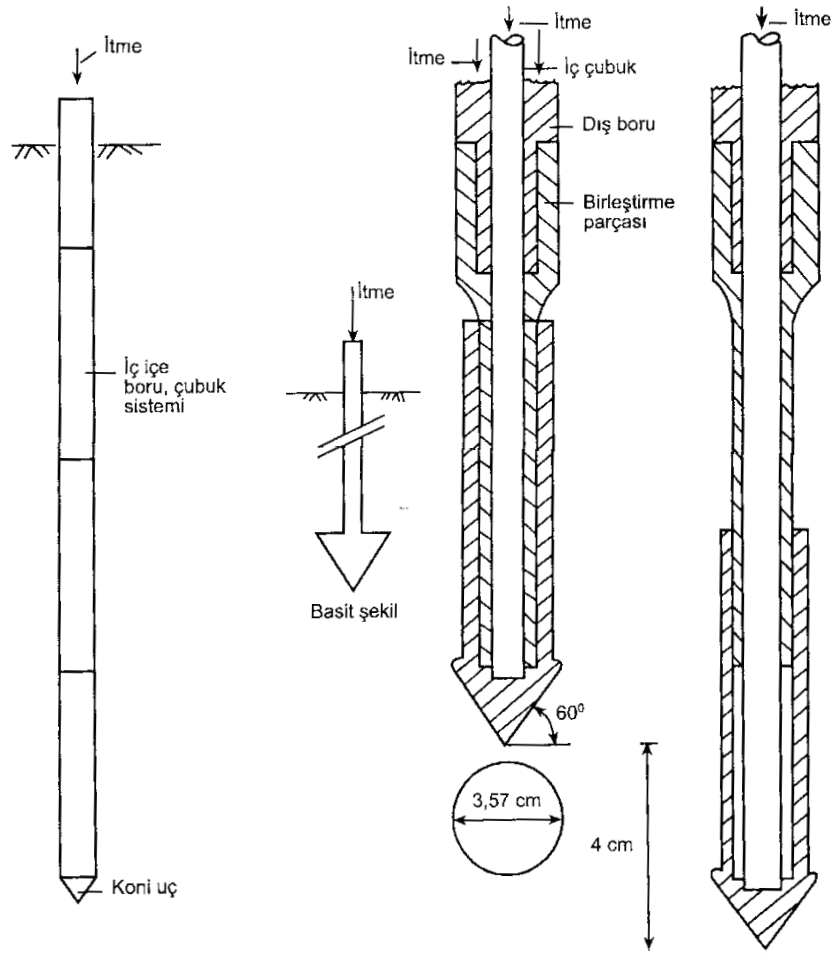
Yapılan Çalışmalar	Zemin Cinsi	q_u (kPa)
Sanglerat (1972) ve Tomlinson (1986)	Kil	25N
	Sildi Kil	20N
Sowers (1979)	Yüksek Plastisiteli Kil	25N
	Orta Plastisiteli Kil	15N
	Düşük Plastisiteli Kil	7.5N
Nixon (1982)	Kil	24N
Kulhawy ve Mayne (1990)	Kohezyonlu zemin	$58N^{0.72}$

2.4. Koni Penetrasyon Deneyi

2.4.1. CPT deneyinin yapılışı

Deney, 60° ve 10 cm² kesit alana sahip konik bir başlığın hidrostatik basınç ve sabit bir hızla zemin içine itilerek uygulanmasıdır.

Deney özellikle yumuşak kil, yumuşak silt ve ince-orta kum zeminlerde uygundur. Sondanın zemine penetrasyonu sırasında gördüğü toplam direnç (q_t) ölçülür. Bu toplam direnç (q_t), uç direnci (q_c) ve çevre sürtünmesi (f_s/q_s) bileşenlerinden oluşmaktadır. Ayrıca özel bir donanım ile boşluk suyu basıncı da ölçülebilmektedir.



Şekil 2.3 : Koni penetrasyon deneyi (Uzuner, 2000)

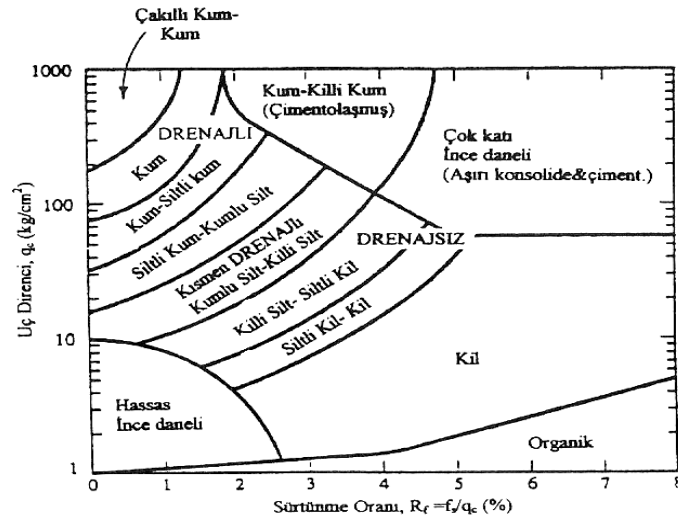
Koni penetrasyon deneyi, tabaka değişimleri, kalınlıkları ve zemin cinsini tanımlamak, tabakaların rölatif sıkılık (D_r), kayma mukavemeti açısı (Φ), drenajsız kayma mukavemeti (c_u) vb geoteknik özelliklerini belirlemek ve taşıma gücü, kazık temel, sıvılaşma vb hakkında bilgi sahibi olunması için arazi incelemelerinde kullanılır.

CPT, kolay ve hızlı uygulanmasının yanı sıra sürekli kayıt imkanı verir. Özellikle SPT deneyinde numune alınırken oluşan zemin örselenmesini minimuma indirir. Ayrıca, ekonomik bir deney olduğundan tekrarlanabilmesi mümkündür. CPT'nin başlıca dezavantajı deney esnasında numune alınamaması ve bu nedenle laboratuvar deneylerinin uygulanamamasıdır. Her zeminde uygulanamaması da deneyin diğer bir dezavantajıdır.

Mekanik ve elektronik olmak üzere iki çeşit CPT vardır. Mekanik CPT’de penetrometre ucu iç tijlere bağlıdır. Önce uç 40 mm kadar zemine itilerek q_c ölçülür. Sonra tijler biraz daha itilerek sürtünme kolunun konik başlık ile teması sağlanır ve birlikte zemine itilir. Bu durumda okunan düşey yük uç direnci ile sürtünme direncinin toplamına eşittir. Toplam okuma ile uç okuması farkı q_s ’e eşit olacaktır. Elektronik CPT’de penetrometre ucu tijlerin içinden geçen kablolarla bağlıdır. Uç yaklaşık 20 mm/sn hızla zemine itilir. q_c ve q_s ayrı ayrı veri toplama ünitesine sürekli olarak aktarılır. Diğerinde olduğu gibi toplam ve uç okuması için deney durdurulmaz. Sadece tij ekleme sırasında deneye ara verilir.

Koni penetrasyon deneyinde, penetrasyon sırasında penetrometre etrafında oluşan boşluk suyu basıncı nedeniyle boşluk suyu basıncı düzeltilmesi, tabakalar arasında yataklanmış ince tabakaların mekanik özellikleri tam olarak doğru ölçülmediği için tabakalaşma düzeltilmesi ve SPT deneyinde olduğu gibi, CPT sonuçlarında efektif düşey gerilme etkili olduğu için derinlik (düşey yük) düzeltilmesi uygulanır.

Zeminleri tanımlamak amacıyla q_c ve sürtünme oranı R_f arasında bir korelasyon geliştirilmiştir.



Şekil 2.4: CPT zemin sınıfı

2.4.2. CPT deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

CPT sonuçlarının değerlendirilmesi başlı başına bir çalışma konusu olup, yaptığımız bu çalışmada daha çok sıvılaşma analizi hesaplarında kullanılacak parametreler için ortaya konulmuş korelasyonlar üzerinde durulmuştur.

Koni penetrasyon deneyinde ölçülen uç mukavemetinden yararlanılarak kil zeminlerin kıvamının ve drenajsız kayma mukavemetinin bulunabileceği bilinmektedir. Tablo 2.8’de, kil zeminlerde kıvam – koni uç direnci bağıntısı verilmiştir (Sağlam, 1996).

Tablo 2.8: Kil Zeminlerde Kıvam – Koni Uç Direnci Bağıntısı (Sağlam, 1996)

Kıl Zeminin Kıvamı	Koni Uç Direnci q_c (MPa)
Çok yumuşak	0.2 – 0.4
Yumuşak	0.4 – 0.6
Orta katı	0.6 – 1.0
Katı	1.0 – 2.0
Çok katı	>2.0

Kohezyonsuz zeminlerde relatif sıklık ile koni uç mukavemeti arasında Tablo 2.9’da bağıntılar önerilmiştir (Schmertmann, 1978).

Tablo 2.9 : Kohezyonsuz Zeminlerde Relatif Sıklık – q_c Bağıntısı
(Schmertmann, 1978)

Relatif sıklık	Koni uç direnci q_c (MPa)
Çok gevşek	>2
Gevşek	2 - 4
Orta sıkı	4 - 12
Sıkı	12 - 20
Çok sıkı	>20

Görüldüğü gibi, gevşek zeminlerde, derinlikle uç mukavemetinde meydana gelen artış küçüktür. Buna karşılık, sıkı zeminlerde sıkı zeminlerde uç mukavemeti, derinlikle artmaktadır (Sağlam, 1996).

2.5. SPT – CPT Korelasyonları

Koni uç mukavemeti (q_c) değerleri ile SPT değerlerinden elde edilen darbe sayıları (N) arasındaki bağıntının içeriğini araştıran geoteknikçiler, q_c / N oranının SPT deneyinde kullanılan çekiç tipi ile zemin dane boyutu, diğer bir deyişle birim hacim ağırlığı ile değiştiğini göstermişlerdir (**Robertson 1983**).

SPT ve CPT deneyleri arasında daha güvenilir bir korelasyon yapılması gerekliliğini dikkate alan Schmertmann, N değerleri ile CPT deneylerinden elde edilen sürtünme direnci (f_s) arasında bir korelasyon oluşturmuş, bunun da daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (**Schmertmann, 1978**).

Zemin cinsine bağlı olarak çeşitli zeminlerdeki CPT uç mukavemeti ile SPT darbe sayısı arasındaki q_c / N_{ar} bağıntısı gösterilmiştir. CPT ucunun Fugro tipi (elektrikli) veya Delft tipi (mekanik) olmasına bağlı olarak çeşitli zeminler için q_c / N_{ar} korelasyonları Tablo 2.10’de verilmiştir (**Sağlamer, 1996**).

Tablo 2.10: Çeşitli Zeminlerde Tipik q_c (kPa) / N_{ar} Oranları (**Sağlamer, 1996**)

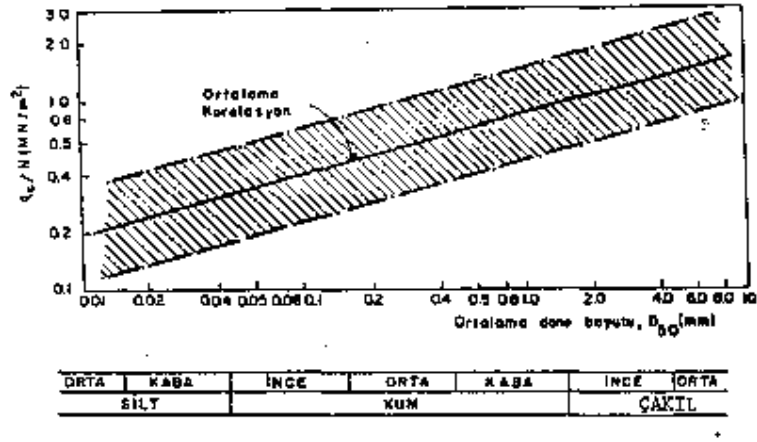
Zemin Cinsi	Elektrikli uç	Mekanik uç
Kum ve çakıl karışımı	800	600
Kum	500	400
Kumlu silt	400	300
Kil-silt-kum karışımı	200	200
Hassas olmayan kil	100	150
Hassas kil	q_c / N_{ar} oranı çok büyük olabilir. Zira, $N \rightarrow 0$	

Farklı zemin tipleri için araştırmacılar tarafından önerilen q_c / N oranları Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11: Tipik q_c / N oranları (Sanglerat, 1972)

Zemin Cinsi	q_c / N (MN/m ²)
Kil, siltli kil, killi silt	0.35
Kumlu kil, siltli kum	0.20
Kumlu silt	0.35
İnce kum	0.60
kum	1.00

Burbridge (1985), kohezyonsuz zeminler için q_c / N ortalama dane boyutu (D_s) ilişkisini içeren verileri bir araya getirmiştir. Şekil 2.5 bu şekilde bulunan korelasyonu göstermektedir.



Şekil 2.5: Koni Penetrasyon Deneyi ve Standart Penetrasyon Deneyi arasındaki ilişki (Burland ve Burbridge, 1985)

3. SIVILAŞMA KAVRAMI

3.1 Sıvılaşma Nedir?

Zemin sıvılaşmasının ana nedenleri uzun zamandır bilinmekle birlikte sıvılaşma mekanizmasını tanımlayabilmek için yaklaşık 40 yıldır çalışılmaktadır. Casagrande yaklaşık 70 yıl önce sıvılaşmayı açıklamak için kritik boşluk oranını göz önüne alarak bu konu ile ilgili ilk araştırmayı yapmıştır. Sıvılaşma teriminin tarihsel olarak ilk kullanılışı ise Mogami ve Kubo tarafından 1953’de olmuştur. Mogami ve Kubo kohezyonsuz zeminlerin drenajsız şartlar altındaki tekdüze, dengesiz ve tekrarlamalı örselenmeden kaynaklanan zemin şekil değiştirmeleri ile ilgili değişik olayları nitelemek için sıvılaşma terimini kullanmışlardır.

Sıvılaşma davranışını anlamak, sıvılaşmanın tüm biçimleriyle hızlı yükleme boyunca artan boşluk suyu basıncı altında kohezyonsuz zeminlerin gösterdiği sürtünme davranışı olduğunu anlamak ile başlar (**Poulos 1981**). Kohezyonsuz kuru zeminler statik ve tekrarlı yükler altında sıkılaşma eğiliminde olsalar da kohezyonsuz doymuş zeminlerin drenajsız şartlar altında yüklenmeleri çabuk gelişir ve aşırı boşluk suyu basıncı artarken efektif gerilme azalır. Bu süreç sonunda sıvılaşma olayı gerçekleşir. Sıvılaşma olayı akma sıvılaşması, devirsel hareketlilik ve düz yüzey sıvılaşması olarak üç gruba ayrılabilir.

3.2 Sıvılaşma İle İlgili Tanımlar

3.2.1 Akma sıvılaşması

Akma sıvılaşması, bir zemin kütlesindeki statik kayma gerilmesinin, zeminin sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından büyük olması durumunda gerçekleşir. Burada bahsi geçen statik kayma gerilmesi zemin kütlesinin statik dengesi için gereklidir. Bu tür bir sıvılaşmada katı parçacıklar arasındaki statik denge, bir şev üzerine inşa edilen yeni binaların zemine ek yük bindirmesi gibi statik bir yükleme veya deprem, patlatma, kazık çakılması gibi tetikleyici bir dinamik yüklemeyle birlikte artan boşluk suyu basıncı ile bozulması sonucu oluşur. Ancak, statik kayma

gerilmesi zemin dayanımını azaltarak akma yenilmesi ürettiği durumlarda devirsel gerilmeler zemini dengesiz duruma getirebilmektedir. Akma sıvılaşmasının karakteristik özellikleri aniden ortaya çıkması, hızla gelişmesi ve sıvılaştıran malzemenin çoğunlukla büyük mesafede hareketidir. Taşıma gücü kaybı nedeniyle yapıların taşıyıcı sistemlerinde yapısal hasar almaksızın dönmesi akma sıvılaşmasının ansızın ve hızla gelişmesine örnektir.

3.2.2 Devirsel hareketlilik

Devirsel hareketlilik, akma sıvılaşmasının aksine zemin kütleindeki statik kayma gerilmesinin sıvılaşmış zeminin kayma dayanımından küçük olması durumunda gerçekleşir. Ayrıca akma sıvılaşması ile oluşan büyük şekil değiştirmelerin nedeni statik kayma gerilmeleri iken, devirsel hareketlilik ile oluşanlara hem devirsel gerilmeler, hem de statik kayma gerilmeleri neden olur. Çok az eğimli yamaçlar ve su kütlelerine komşu düzlüklerde geliştiği bilinen bu şekil değiştirmeler yanal yayılma olarak anılır.

3.2.3 Düz yüzey sıvılaşması

Düz yüzey sıvılaşması, devirsel hareketliliğin bir alt grubu şeklinde düşünülebilir. Bu tip bir sıvılaşma esnasında statik yatay kayma gerilmeleri sıfırdır. Bu nedenle bir deprem esnasında büyük boyutlu ve düzensiz hareket gelişse de çok küçük kalıcı yatay şekil değiştirmeler oluşur.

Düz yüzey sıvılaşması türü yenilmelere neden olan faktör, depremin neden olduğu aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenmesi sırasında suyun yukarı doğru akışıdır. Hidrolik dengeye ulaşmak için gerekli zamanın uzunluğuna bağlı olarak, düz yüzey sıvılaşması, deprem sona erdikten uzun bir süre sonra da meydana gelebilir. Aşırı düşey oturma ve bunun sonucunda düşük kotlu zeminin akması ve kum kaynamalarının gelişmesi, düz yüzey sıvılaşması türü yenilmenin en belirgin özelliğidir (Kramer, 1996).

3.3 Boşluk Suyu Artış Mekanizması

Kohezyonsuz zeminler tekrarlı yükler altında, bulunduklarından daha sıkı bir konuma geçmek isterler. Kuru kumlar üzerinde yapılan değişik dinamik deneylerde bu hacim azalması ve sıkılığın artması gözlenmiştir. Suyu doygun zeminlerde ise,

daneler arasım dolduran boşluk suyu drenajsız halde tekrarlı yükler altında gevşek kuru kumlarda gözlenen hacimsel sıkışmaya engel olmaktadır. Suyun sıkışabilirliğinin zemin yapısına oranla çok daha az olmasından dolayı boşluk suyu basıncının artar. Süre açısından bir deprem sırasında boşluk suyu basıncında olabilecek sönüm miktarının ihmal edilebilir olacağı ve drenajsız yükleme koşullarının geçerli olduğu varsayılmaktadır.

Tek boyutlu yüklemelerde uygulanan düşey gerilmenin büyüklüğü oluşan boşluk suyu basıncına eşit olur. Üç boyutlu veya üç eksenli yüklemelerde boşluk suyu basıncı büyüklüğü zemin tipine ve gerilme tarihçesine bağlıdır. Mühendislik uygulamasında, çeşitli gerilmelerde drenajsız yükleme yapılması durumunda ne kadar fazla boşluk suyu basıncı oluşacağını genellikle tahmin etmek gereklidir. Bu gerilme değişiklikleri toplam gerilmeler cinsinden olup, hidrostatik veya kayma şeklinde de olabilir. Toplam gerilmelerdeki bu değişikliklere ($\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \Delta\sigma_3$), boşluk suyu basıncının tepkisi araştırıldığı için bu değişiklikleri boşluk suyu basıncı katsayıları veya parametreleri şeklinde ifade etmek uygun olur. Bu parametreleri ilk defa 1954 yılında İngiltere Imperial College’de Prof. Dr. A.W. Skempton tanıtmıştır.

Genelde zemin kütlesi, boşluklarında su ve hava bulunan sıkışabilir zemin iskeleti şeklinde düşünülebilir. Eğer zemin elemanına etkiyen gerilmeler arttırılırsa, bu elemanın hacminde bir azalma ve boşluk suyu basıncında artış gözlenir. Drenajsız (UU) üç eksenli deneyde hidrostatik hücre basıncı σ_c uygulanması durumunda eğer zemin % 100 suya doymuş ise uygulanan hücre basıncı değişikliği $\Delta\sigma_c$ değerine eşit bir boşluk suyu basıncı değişikliği (Δu) elde edilir. Bir başka deyişle $\Delta u/\Delta\sigma_c$ oranı 1’e eşit olur. Eğer zemin % 100’den daha az doymuşsa, meydana gelen ilave boşluk suyu basıncı Δu ’nın artan hücre basıncı $\Delta\sigma_c$ ’ye oranı 1’den az olur. Üç eksenli deneyde bu oran şöyle ifade edilebilir:

$$\frac{\Delta u}{\Delta\sigma_3} = \frac{1}{1 + \frac{nC_v}{C_{sk}}} = B \quad (3.1)$$

n: Porotize

C_v : Boşlukların sıkışması

C_{sk} : Zemin iskeletin sıkışmasıdır.

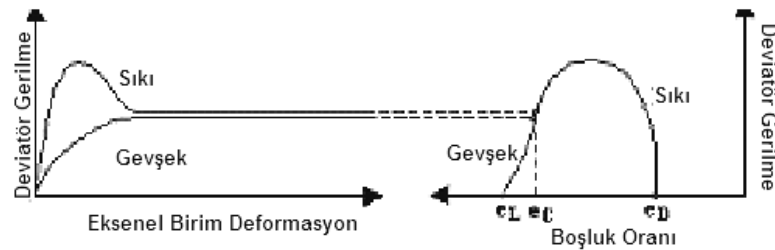
Prof. Skempton rahatlık açısından bu oranı B şeklinde isimlendirmiştir. B parametresi, drenajsız yükleme koşullarında hidrostatik veya hücre basıncı artışının boşluk suyu basıncında meydana getirdiği artışı ifade eder.

Eğer zemin tamamen doygunsa $C_v = C_w$ olur ve suyun sıkışabilirliği zemininkine göre çok küçük olduğu için $C_w / C_{sk} \rightarrow 0$ kabul edilebilir. Dolayısıyla doygun zeminlerde $B=1$ 'dir. Eğer zemin kuruysa C_v / C_{sk} sonsuza yaklaşır çünkü havanın sıkışabilirliği zemine göre çok fazladır. Dolayısıyla kuru zeminlerde $B=0$ olur. Kısmen doygun zeminlerde B parametresi 0 ile 1 aralığında değişir. B ve doygunluk derecesi arasındaki ilişki zemin tipine ve gerilme seviyesine bağlıdır (**Holtz ve Kovacs, 1981**).

Arazi ve laboratuvar ölçümleri sonucu sıvılaşmayı oluşturabilecek boşluk suyu basıncı artışının efektif düşey gerilmeye oranının % 50'den fazla olması gerektiği görülmüştür ($\Delta u / \Delta \sigma_v > 0.50$). bu oran laboratuvarında dinamik üç eksenli deneyle belirlenebilir (**Tezcan ve Teri, 1996**).

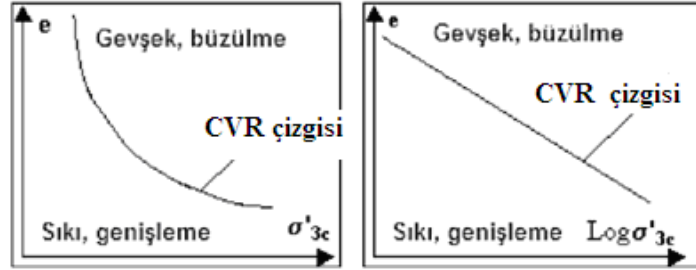
3.4 Sıvılaşma Mekanizması

1936'da Casagrande bir dizi drenajlı şekil değiştirme kontrollü üç eksenli deneyler yapmış ve aynı efektif çevre basıncındaki gevşek ve sıkı kum numunelerinin yüksek birim şekil değiştirmelerde aynı sıkılığa ulaştığını ve sabit bir kayma direnci ile devamlı şekilde kaymaya maruz kaldıklarını bulmuştur. Başlangıçta gevşek olan numuneler, yükleme sırasında büzölmüş veya sıkılaşmış; başlangıçta sıkı olan numuneler ise önce büzölmüş ve sonra çabuk bir şekilde genişlemiştir. Bu sabit sıkılıktaki boşluk oranına Kritik Boşluk Oranı (e_c) denilmiştir (Şekil 3.1).



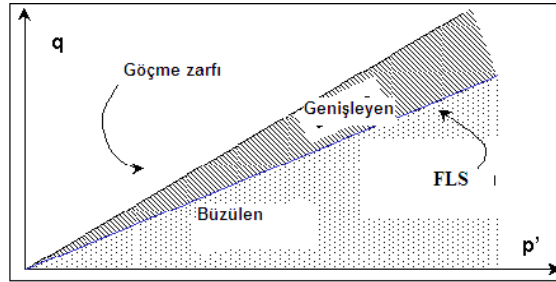
Şekil 3.1: Aynı efektif çevre basıncındaki gevşek ve sıkı kumların birim şekil değiştirme kontrollü üç eksenli deneylerde davranışları (**Kramer, 1996**)

Casagrande çeşitli çevre basınçlarında deneyler uygulayarak kritik boşluk oranının efektif çevre basıncı ile değiştiğini bulmuştur. Bu değerlerin grafik üzerinde gösterilmesi ile elde edilen eğriye Kritik Boşluk Oranı (CVR) eğrisi denir. Bu eğri drenajlı üç eksenli deneylerde genişleme ve büzülme davranışını birbirinden ayıran sınırdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Kritik Boşluk Oranı (CVR) eğrisi (aritmatik ve logaritmik eksenlerde) (Kramer, 1996)

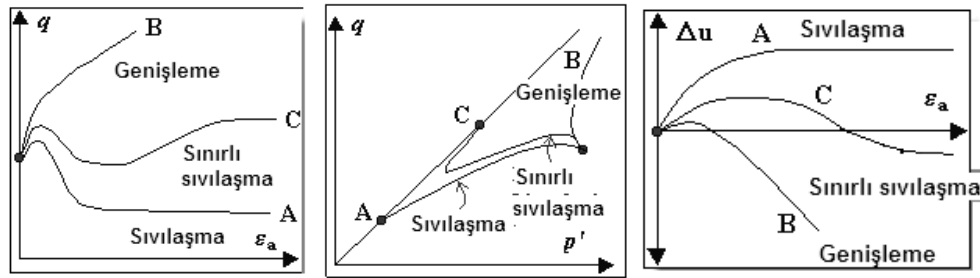
Tekrarlı yüklemenin anlaşılmasını sağlayan nokta Faz Dönüşüm Çizgisinin (FLS) tanımlanması olmuştur. Statik yükleme uygulanmış sıkı ve orta sıkı kumlar başta büzülme davranışı gösterse de daha sonra deforme oldukça genişleme davranışı gösterirler. Şekilde büzülmeden genişlemeye geçişi gösteren ve orijinden geçen noktalar FLS gerilme doğrultusu noktalarıdır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Faz Dönüşüm Çizgisi (FLS) (Kramer, 1996)

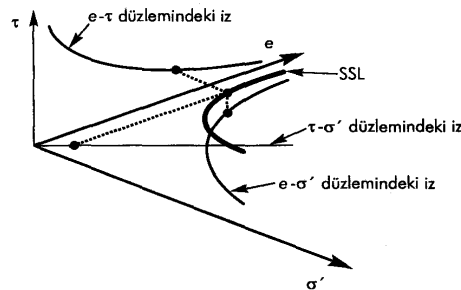
1960'ların ortasında Casagrande'nin öğrencisi Castro bir dizi drenajsız gerilme kontrollü üç eksenli test uygulayarak zeminin durumuna bağlı olarak üç tür gerilme – birim şekil değiştirme davranışı tespit etmiştir. Çok gevşek numuneler (Şekil 3.4 – A numunesi) düşük kayma birim şekil değiştirmesinde çökmüş ve düşük efektif çevre basıncındaki büyük şekil değiştirmelere doğru çabucak akmıştır. Castro bu davranışı sıvılaşma olarak adlandırmıştır ve bu davranış günümüzde akma sıvılaşması olarak bilinmektedir. Sıkı numuneler (Şekil 3.4 – B numunesi) başta büzülmüş ancak sonra

yüksek efektif çevre basıncı ve büyük birim şekil değiştirme dayanımına erişene kadar genişlemiştir. Orta sıkı numuneler (Şekil 3.4 – C numunesi) başta gevşek numuneler gibi aynı davranışı göstermiş fakat sonra büzülerek değişime uğramış, daha sonra ise genişlemiştir. Castro bu davranışı “sınırlı sıvılaşma” olarak tanımlamıştır. Şekil 3.4’de bu üç değişik gerilme – birim şekil değiştirme davranışı türüne ait eğriler gösterilmiştir. Burada, A eğrisi akma sıvılaşmasının şekil değiştirme özelliğini, B ve C eğrileri ise yüklemenin şekil değiştirme özelliğini göstermektedir (Castro, 1969).



Şekil 3.4: Tekdüze yükleme deneylerinde sıvılaşma, sınırlı sıvılaşma ve genişleme (Kramer, 1996)

Castro, yaptığı deneyler sonucunda efektif çevre basıncı ve şekil değiştirmenin sabit durumunda boşluk oranı ilişkisini Şekil 3.5’deki gibi çizmiştir. Castro, bu ilişkiyi tanımlayan noktaların yerine Sabit Durum Çizgisi (SSL) adını vermiştir. SSL gerçekte $e - \sigma' - \tau$ eksenlerinde tanımlanmış üç boyutlu bir eğridir. SSL, CVR eğrisine benzemektedir, aradaki fark ise Casagrande’nin tanımladığı “akış yapısıdır” (Kramer, 1996).



Şekil 3.5: $e - \tau$ düzleminde, $e - \sigma'$ düzleminde ve $\tau - \sigma'$ düzlemindeki izdüşümleri gösteren üç boyutlu sabit durum çizgisi. (Kramer, 1996)

3.5 Sıvılaşmaya Karşı Duyarlılık

Tüm zeminler sıvılaşmaya duyarlı değildir. Dolayısıyla, sıvılaşma tehlike analizinde ilk adım genellikle sıvılaşma duyarlılığının değerlendirmesidir. Belirli bir sahadaki zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlı olmaması durumunda sıvılaşma tehlikeleri söz konusu değildir ve sıvılaşma tehlike değerlendirme işlemi sona erdirilir. Ancak, zeminin duyarlı olması durumunda sıvılaşmanın başlangıcı ve etkileri konusu ele alınmalıdır. Sıvılaşma duyarlılığının değerlendirilmesi konusunda birkaç ölçüt vardır ve bunların bazıları akma sıvılaşması ve devirsel hareketlilik için farklıdır. Bunlar; tarihsel, jeolojik, bileşimsel ve durumla ilgili ölçütlerdir (**Kramer, 1996**).

3.5.1 Zemin cinsi

Sıvılaşma duyarlılığı yüksek zeminlerin oluşumuna yol açan etmenler, zeminleri üniform tane boyu dağılımına zorlayan ve onları gevşek bir kıvamda çökeltten jeolojik süreçlerdir. Buna göre nehir çökelleri, etek çökelleri, ve rüzgar çökelleri doygun olduğu zaman sıvılaşma duyarlılıkları artmaktadır (**Kramer, 1996**).

Sıvılaşma için aşırı boşluk suyu basıncı gerekmektedir. Dolayısıyla hacim değiştirme potansiyeli sıvılaşma duyarlılığı için bir ölçüttür. Hacim değiştirme potansiyeli ile doğrudan ilişkili olan tane boyu, şekli ve tane boyu dağılımı sıvılaşma duyarlılığını etkilemektedir.

Uzun zaman boyunca sıvılaşmanın sadece kumlarda olduğu düşünülmüştür. İnce taneli zeminlerin sıvılaşma oluşumunun sebebi olan aşırı boşluk suyu basıncını geliştirmede, kumlara nispeten daha iri taneli zeminlerin ise oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sıvılaşmaya oluşmasına neden olacak kadar uzun süreli olmasını engelleyecek geçirimsizliğe sahip olduğu düşünülse de artık sıvılaşma duyarlılığı ile ilgili ölçütlerin sınırları genişlemiştir.

Plastik olmayan siltlerin laboratuarda ve arazide sıvılaştığı gözlenmiştir (**Ishihara, 1984, 1985**) ve ince taneli zeminlerin sıvılaşma duyarlılığını etkilemede sadece tane boyundan çok plastisite özelliklerinin önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Kohezyonsuz ve plastik olmayan karakterdeki iri silt partikülleri tamamıyla sıvılaşmaya duyarlıdır (**Ishihara, 1993**). Daha ince siltlerin yassı veya levhamsı olanlarında sıvılaşmayı önlemeye yetecek kadar kohezyon vardır. Hassas killer sıvılaşan zeminlerdekine benzer birim şekil değiştirme yumuşaması gösterse de, killer sıvılaşmaya karşı

duyarlı değildir. Aşağıda verilen dört Çin ölçütünden (Wang, 1979) her birini sağlayan ince taneli zeminlerin önemli ölçüde dayanım kaybına duyarlı olduğu ileri sürülmektedir:

0,005 mm'den daha ince tane oranı $\leq$ %15

Likit limit, $w_L \leq$ %35

Doğal su içeriği $\geq 0,9 w_L$

Sıvılaşma indisi $\leq 0,75$

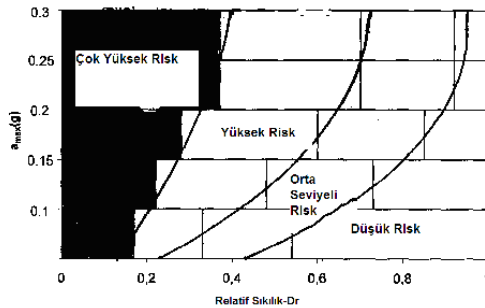
U.S. Army Corps of Engineers Çin ve A.B.D. uygulamalarındaki farklılıkları hesaba katmak için, Çin ölçütlerini Sardis Baraj'ındaki bir killi silte uygulamadan önce ölçülmüş indeks özelliklerini (ince tane içeriğini %5 arttırarak, likit limiti %1 arttırarak ve doğal su içeriğini de %2 arttırarak) değiştirmişlerdir (Finn ve diğ., 1994).

Tane şekli de sıvılaşma duyarlılığını arttırmaktadır. Yuvarlak taneli zeminlerin köşeli taneli zeminlere göre daha kolay sıkılaştığı bilinmektedir. Buna göre, sıvılaşmaya olan duyarlılıkları da köşeli zeminlerinkinden daha yüksektir (Kramer, 1996).

3.5.2 Relatif sıklık

Relatif Sıklık, D_r , daneli zeminlerdeki oturma ve sıvılaşma riskinin belirlenmesindeki temel parametrelerden biridir. Başlangıç relatif sıklık değeri arttıkça titreşim sırasında oturma ve boşluk suyu basıncının azaldığı bilinmektedir.

Yer ivmesi ve relatif sıklığa bağlı olarak sıvılaşma potansiyeli durumu Şekil 3.6'de verilmiştir (Tezcan ve Özdemir, 2004).



Şekil 3.6: Relatif Sıklık – Maksimum yer ivmesi (Tezcan ve Özdemir, 2004)

3.5.3 Yer altı su seviyesi derinliği

Sıvılaşma olayının gözlemlendiği çoğu bölgelerde yeraltı suyu seviyesi 3 m'den daha derin değildir. Sadece birkaç olayda yeraltı suyu seviyesi 3-4 m arasındadır. Yeraltı suyu 5 m'nin altında olduğu kesimlerde sıvılaşma olayı gözlemlenmemiştir (**Wang ve Law,1994**).

3.5.4 Depremiñ eşik şiddeti ve maksimum odak uzaklığı

Kayıtlara göre büyüklüğü 5'in altında şiddeti VI'nın altında, orta ve sığ derinlikteki bir deprem sonucu sıvılaşma olayı gözlenmemiştir (**Wang ve Law, 1994**).

Zemin ve yeraltı suyu şartları değişmediği zaman aynı yerde tekrar sıvılaşma oluşabilmektedir. Ayrıca, sıvılaşma etkileri tarihsel olarak sismik kaynaktan belirli bir uzaklıktaki kuşak içerisinde sınırlanır. Bu sınırın ötesinde de farklı büyüklükteki depremlerde sıvılaşma oluşmaz. Sıvılaşmanın oluşacağı mesafe artan deprem büyüklüğüyle artar. Buradan sıvılaşmanın uzak mesafelerde oluşmayacağı gibi bir sonuç çıksa da, bölgesel sıvılaşma olabileceğinin varsayımı yararlı görölmektedir.

Bir sismik olayda, sıvılaşmayı tetikleyen deprem etkilerinin hissedilmediği maksimum odak uzaklığı (Δ_{max}) vardır. Araştırmalar sonucu bu Δ_{max} değeri km olarak aşağıdaki bağıntıyla elde edilebilir (**Wang ve Law, 1994**):

$$\Delta_{max} = 0.82 * 10^{0.862(M-5)} \quad (3.2)$$

Kuribayashi ve Tatsusuoka (1991) ile Erken ve diğ. (1993) göre deprem büyüklüğüne bağılı olarak sıvılaşmanın olabileceği uzaklık D km olmak üzere,

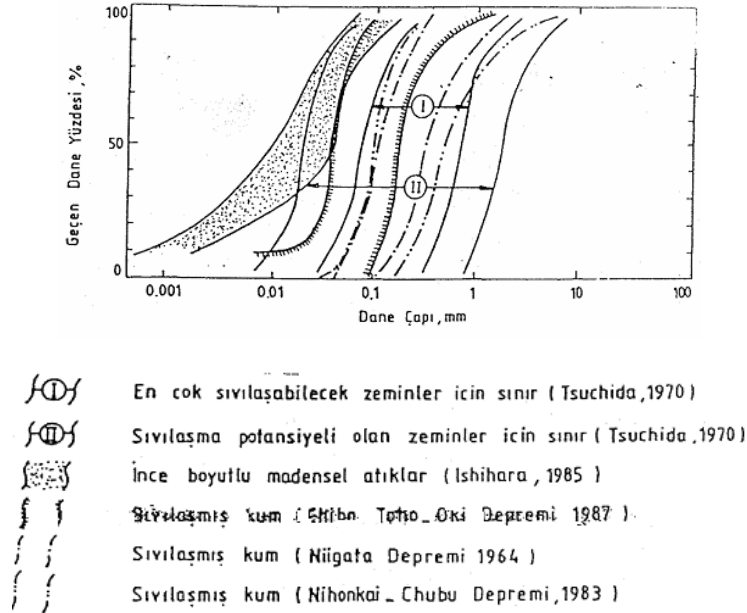
$$\log D = 0.77 * M - 3.6 \quad (3.3)$$

bağıntısını bulmuşlardır (**Tezcan ve Özdemir, 2004**).

3.5.5 Dane dağılımı

Yapılan ilk sıvılaşma çalışmalarında ince dane oranının etkileri araştırılmamasına rağmen, son yıllardaki birçok depremde suya uygun ince dane içeren kumlu zeminlerde de sıvılaşma olayı gözlenmiştir. Böylece ince danelerin sıvılaşmaya etkileri araştırılmaya başlanmıştır.

Sıvılaşma üzerinde dane çapı dağılımının etkisini incelemek amacıyla geçmişte oluşan depremlerde gözlenen, sıvılaşan zeminlerin dane çapı eğrileri Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi ince dane içeren kumların sıvılaşmaya olasılıkları ince dane içermeyen kumlara oranla daha fazladır.



Şekil 3.7: Sıvılaşma Gözlenmiş Zeminlerin Dane Çapı Dağılım Eğrileri
(Ishihara, 1985)

3.5.6 Sıvılaşabilir zeminin derinliği

Efektif düşey gerilme sıvılaşma oluşumunu kontrol ettiği için yüksek basınç altında veya küçük kayma gerilmesi düşey efektif gerilme oranı dolayısıyla sıvılaşma olmayacak bir maksimum derinlik vardır. Sıvılaşma olayının gözlemlendiği birçok bölgede yüzeyin 15 m altından daha derinde sıvılaşma olmadığı EUROCEODE 8 – 1998’de belirtilmiştir (Şekil 4.7).

4. ZEMİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ KRİTERLERİ

Önceki bölümde verilen ölçütler sadece zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlı olup olamayacağı hakkında bir ön değerlendirme için yararlanılan ölçütlerdir. Dolayısıyla, bu ölçütler esas alınarak yapılacak ön değerlendirmelerin sonuçlarına göre, zeminlerin sıvılaşp sıvılaşmayacağına kesin olarak karar verilmemelidir. Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, çok sayıda zemin ve deprem parametresinin dikkate alındığı ayrıntılı analiz yöntemleriyle yapılmaktadır.

4.1 Periyodik Kayma Gerilmesi Kriteri

Bu yöntemde, zemin tabakalarının sıvılaşma emniyet faktörü (F_s),

$$F_s = \tau_s / \tau_o \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

τ_s :Belli bir zeminde sıvılaşmanın başlayabilmesi için gerekli periyodik sınır kayma gerilmesi,

τ_o :Aynı zeminde belli bir depremin meydana getireceği ortalama kayma gerilmesidir.

$F_s \leq 1$ ise sıvılaşma potansiyeli yüksek,

$F_s > 1$ ise sıvılaşma potansiyeli yoktur.

Yaratılmış döngüsel direnç oranı (CSR), ortalama eşdeğer kayma gerilmelerinin efektif düşey gerilmelere oranıdır. Ortalama eşdeğer kayma gerilmelerinin maksimum gerilmenin % 65'inde oluştuğundan yola çıkılarak CSR aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$CSR = \frac{\tau_0}{\sigma'_{vo}} = r_b \frac{a_{\max} \sigma_{vo}}{g \sigma_{vo}} r_d \quad (4.2)$$

Burada, σ_{vo} ; herhangi bir derinlikteki toplam düşey gerilmeyi, g ; yerçekimi ivmesini, a_{maks} maksimum yüzey ivmesini r_b ; deprem şiddetine bağlı etkili ivme katsayısını ve r_d ; derinliğe bağlı azalma faktörünü (gerilme azaltma katsayısı) göstermektedir.

$$r_b = 0.1(M_w - 1) \quad (4.3)$$

$$r_b = 0.65 \text{ for } M_w = 7.5$$

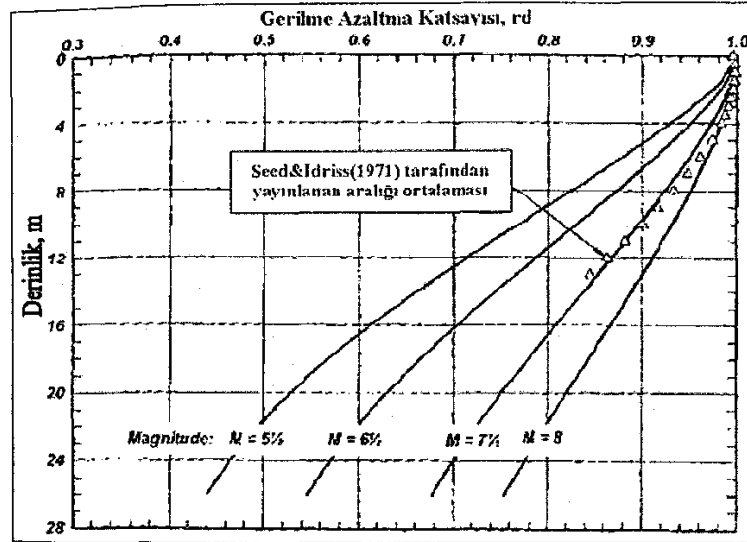
Gerilme azaltma katsayısı için **Youd ve diğ. (1997)** aşağıdaki ifadeyi önermişlerdir.

Liao ve Whitman (1986) ise gerilme azaltma katsayısı için şu ifadeyi önermişlerdir:

$$r_d = 1 - 0,00765z \quad z < 9.15m \quad (4.4a)$$

$$r_d = 1.174 - 0,0267z \quad z = 9.15 - 23m \quad (4.4b)$$

Seed ve Idriss (1971), r_d değerinin depremin büyüklüğüne de bağlı olduğunu belirterek Şekil 4.1’de gösterilen $r_d(z,M)$ bağıntılarını vermişlerdir.



Şekil 4.1: Gerilme azaltma katsayısının (r_d) derinlik ve deprem büyüklüğü ile değişimi

(Seed ve Idriss, 1971)

Gerilme azaltma katsayısı için **Seed ve Idriss (1971)** aşağıdaki ifadeyi önermişlerdir:

$$r_d = 1 - 0.00765_z \quad z \leq 9,15 \text{ m} \quad (4.5a)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z, \quad 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (4.5b)$$

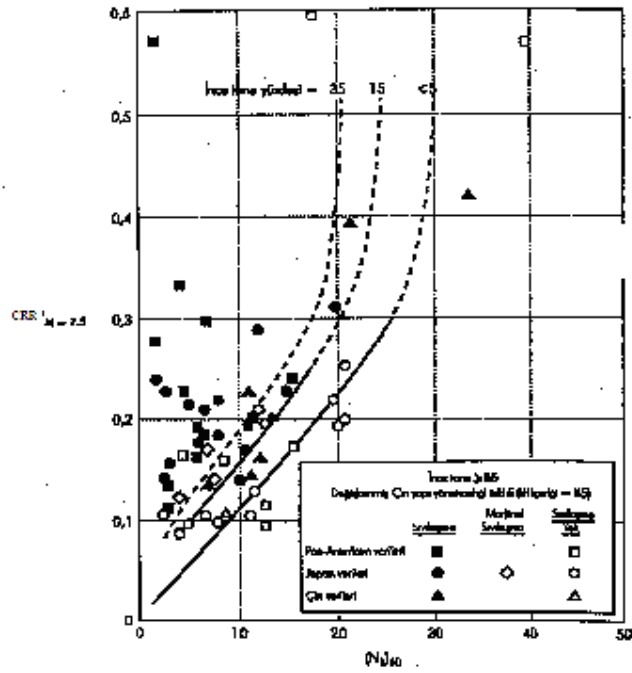
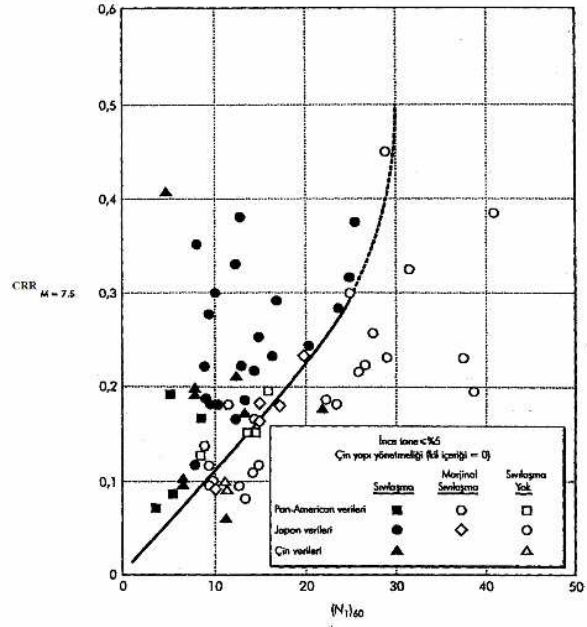
$$r_d = 0.744 - 0.0082z, \quad r_d = 0.744 - 0.0082z, \quad (4.5c)$$

$$r_d = 0.50, \quad z > 30 \text{ m} \quad (4.5d)$$

4.1.1 SPT ile karakterizasyon

İri daneli zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığının belirlenmesinde en çok kullanılan deney Standart Penetrasyon Deneyi'dir (SPT). **Seed ve diğerleri (1983)** belirli bir SPT direncine sahip temiz kumda sıvılaşma oluşturma beklenen minimum devirsel gerilme oranını belirlemek için, $M=7,5$ depremlerde sıvılaşmanın gözlemlendiği veya gözlenmediği temiz kum (Şekil 4.1) ve siitli kum (Şekil 4.2) sahalarındaki düzeltilmiş SPT direnci ile döngüsel direnç oranını (CRR) karşılaştırmışlardır.

İnce danelerin varlığı SPT direncini etkiler ve bu nedenle de sıvılaşma direncinin belirlenmesinde hesaba katılmalıdır (**Seed ve diğerleri, 1985; Ishihara ve Koseki, 1989; Koester, 1994**). Ancak Şekil 4.2 ve 4.3'nin incelenmesinden anlaşılmaktadır ki, ince dane oranı %5'i geçmediği takdirde kumların sıvılaşma direnci ince danelerden etkilenmemektedir. İnce daneli malzemenin plastisitesi de sıvılaşma direncini etkiler. Plastik özellikli daneler birbirine yapışarak, tekil partiküllerin hareketini sınırlandırır ve deprem sırasında aşırı boşluk suyu basıncı oluşumunu azaltır. Plastisite indisinin %10'dan büyük değerlerinde sıvılaşma direnci artmaktadır.



Ayrıca **Rauch (1998)** Mw=7,5 şiddetindeki deprem için temiz kum eğrisini aşağıdaki gibi önermiştir:

$$CRR_{M=7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60CS}} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{[(10 + (N_1)_{60CS} + 45)^2]} - \frac{1}{200} \quad (4.6)$$

4.1.2 CPT ile karakterizasyon

Konik penetrasyon deneyinden (CPT) elde edilen uç direnci de sıvılaşma direncinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Gevşek zeminden oluşan ince damarları yakalamada SPT'ye göre gerçekten çok üstündür. Sıvılaşmanın gözlemediği ve gözlenmediği sahalar için, CPT direnci ölçülerek oluşturulmuş veri tabanı giderek genişliyorsa da, henüz çok kapsamlı değildir. Bu verileri CPT ve SPT dirençleri arasındaki korelasyonlarla destekleyerek, belirli bir CPT direncine sahip temiz kumda sıvılaşma oluşturabilecek minimum devirsel gerilme oranı bulunabilir. (Şekil 4.4)

CPT'ye dayalı olarak sıvılaşma değerlendirmelerinde uç direnci aşağıdaki bağıntıyla 1 t/ft²'lik (96 kPa) standart efektif örtü basıncına normalize edilmektedir:

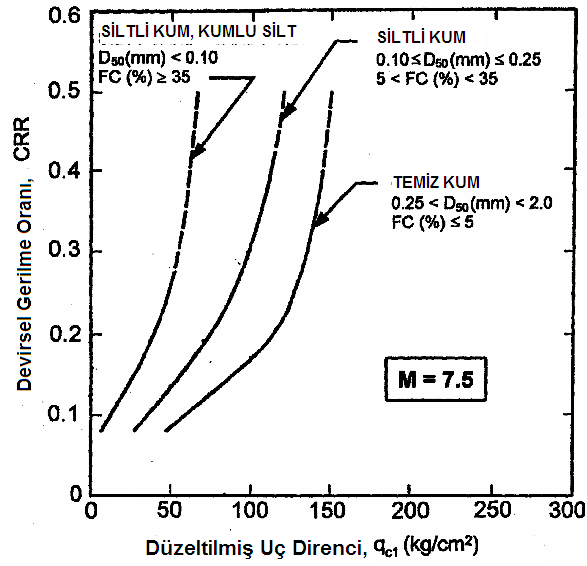
$$q_{c1} = q_c \left(\frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^{0,5} \quad (4.7)$$

Siltli kumlarda (ince tane oranı %5'den çok) eşdeğer temiz kumun uç direncini elde etmek için, aşağıdaki uç direnci artışlarını, ölçülmüş uç direncine eklemek suretiyle ince taneli malzemenin etkisi hesaplanabilir (**Ishihara, 1993**).

Ishihara (1993)'nın önermiş olduğu İnce malzeme miktarı ile uç direnci artışı arasındaki ilişki Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: İnce malzeme miktarı ile uç direnci artışı arasındaki ilişki
(Ishihara, 1993)

İnci Tane (%)	Uç Direnci Artışı (kg/cm ²)
≤5	0
-10	12
-15	23
-35	43



Şekil 4.4: CPT ile karakterizasyon için kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli ilişkisi (Stark&Olson, 1995)

4.1.3 Kayma dalgası hızı ile karakterizasyon

Andrus ve Stokoe (1997, 2000) arazide kayma dalgası hızı ölçümlerine dayalı sıvılaşma direnci kriteri geliştirmişlerdir. Her sıvılaşmaya karşı direnç hem de kayma dalgası hızı; boşluk oranı, efektif çevresel basınç, gerilme tarihçesi ve jeolojik yaş tarafından etkilenmektedir. CPT ile SPT deneylerinin yapılamadığı veya örselenmemiş örnek almanın zor olduğu veya deneye izin verilemeyen durumlarda V_s küçük birim şekil değiştirme kayma modülüyle doğrudan bağlantılı zeminin temel mekanik özelliği olduğundan ve dinamik zemin tepkisi ile zemin yapı etkileşimi analizlerine gereken parametrenin küçük birim şekil değiştirme kayma modülü olması nedeniyle V_s 'e bağlı yöntemlerin avantajı vardır. Bununla birlikte sıvılaşmanın başlaması ve boşluk basıncı gelişimi orta-yüksek gerinim de oluşması, zemin sınıflandırılması yapılamayışı ve yumuşak kil içeriği fazla olan sıvılaşmaz zeminlerin tanınma olasılığının olmayışı ve ölçüm aralığı çok farklı ise düşük hızlı bir tabakanın gözden kaçma olasılığı göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle uygulamada yeterli sondaj ve yerinde deneylerle ince sıvılanabilir tabakaların, sıvılaşma olasılığı düşük kili fazla zeminlerin ve yeraltı düzeyi üzerinde olup su düzeyinin yükselmesiyle sıvılanabilir hale gelebilecek SPT zeminlerin var olup olmadığının araştırılması önerilmektedir. Zayıf çimento sıvılanabilir zeminler (yüksek V_s değerleri verebilirler) CPT ve SPT deneyleriyle tanınabilirler.

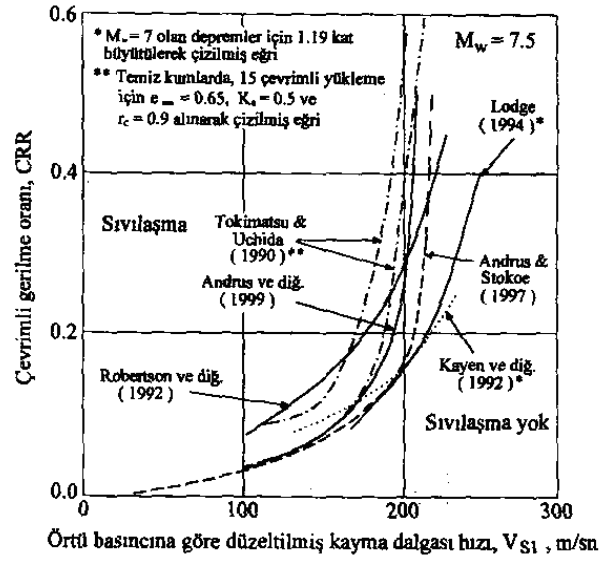
Düzeltilmiş kayma dalgası hızı

$$V_{s_1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

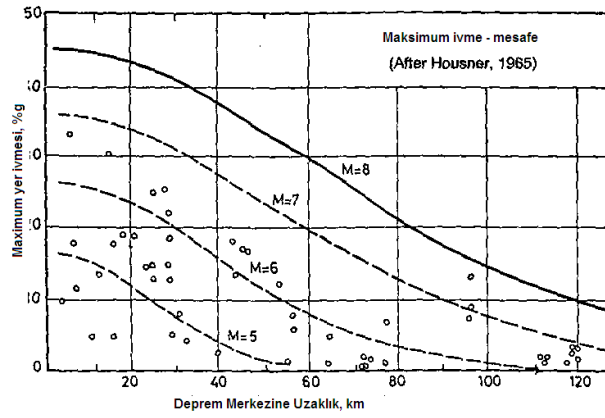
ile bulunur.

Bu değerlere bağlı olarak sıvılaşma direnci 7.5 büyüklüğündeki deprem için aşağıdaki Şekil 4.5'den alınabilir. (Yıldırım, 2002)

Ayrıca, maksimum ivmesi ile deprem merkezine olan uzaklık ilişkisi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5: Sıvılaşma Direncinin V_s ile bulunuşu (Sönmez, 2002)



Şekil 4.6: Maksimum ivmesi ile deprem merkezine olan uzaklık ilişkisi
(Tezcan ve Özdemir, 2004)

4.2 Eşik İvme Kriteri

Eşik ivme kriterinde emniyet faktörü, F_a için

$$F_a = 1.6a_t / a_{\max}$$

(4.9)

tarifi yapılır.

Burada,

a_t : Sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için gerekli eşik ivmesi,

$a_{\max}$: Depremın meydana getireceği maksimum yüzey ivmesidir.

Eğer,

$F_a \leq 1$ ise sıvılaşma potansiyeli yüksek

$F_a > 1$ ise sıvılaşma potansiyeli düşük

kabul edilir.

Eşik ivmesi değeri, kayma gerilmesi için kabul edilen formül esas alınarak elde edilen,

$$(a_t / g = [\gamma_t (G / G_{\max})_t V_s^2] / g * z * r_d \quad (4.10)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Burada,

γ_t : Eşik kayma uzaması, zemindeki boşluk suyu basıncı artışını belirtir ve $(1 \sim 3) * 10^{-2} \%$ değerlerini alır.

$G / G_{\max}$: Kayma modülü oranı.

$G_{\max}$: Kumlu zeminlerde küçük uzamalarda ($\gamma < 10^{-4} \%$) ölçülen ön kayma modülüdür.

r_d : Gerilme indirgeme faktörü

z : Hesap yapılan zeminin derinliği

Eşik kayma şekil değiştirmesi $\gamma_t = 0.0001$ için $(G / G_{\max})_t = 0.8$ kabulü yapılmıştır **(Dobry ve diğ.,1981).**

4.3 Sıvılaşma İndeksi Kriteri (Ampirik Kriter) (Iwasaki ve diğ., 1984)

Bir zemin tabakasının sıvılaşma emniyet faktörü için

$$F_l = R / L \quad (4.11)$$

oranı hesaplanır ve bu oranın 1’den büyük olması halinde sıvılaşmanın olmayacağı varsayılır. Burada,

R : Zeminin sıvılaşma anındaki periyodik kayma direnci oranı,

L: Şiddetli bir depremde meydana gelebilecek kayma gerilmesi oranıdır.

σ_v kg/cm² olmak üzere, ampirik olarak, R ve L değerleri aşağıdaki formüllerden hesaplanır:

$$R = 0.0882 * \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + B' \quad (4.12)$$

Eğer $0.02 \text{ mm} < D_{50} < 0.05 \text{ mm}$ ise

$$B' = 0.19$$

Eğer $0.05 \text{ mm} < D_{50} < 0.6 \text{ mm}$ ise

$$B = 0.225 * \log(0.35 / D_{50}) \quad (4.13)$$

Eğer $0.6 \text{ mm} < D_{50} < 1.5 \text{ mm}$ ise

$$B' = -0.05$$

4.4 Kohezyonlu Tabakalar İçin Analiz Kriterleri

Kohezyonlu tabakalar için araştırmacılar tarafından geliştirilen “1. Çin Kriteri” (Wang, 1979), “2. Çin Kriteri” (Wang, 1981), “Değiştirilmiş Çin Kriteri” (Andrews ve Martin, 2000) ve “Tezcan ve Özdemir’in Kriteri” (Tezcan ve Özdemir, 2004) Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2: Kohezyonlu Tabakalar İçin Sıvılaşma Analizi Kriterleri

No	Zemin parametresi	1. Çın Kriteri	2. Çın Kriteri	Değiştirilmiş Çın Kriteri	Tezcan ve Özdemir
1	Doğal su muhtevası	$w_n \geq 0,9 w_L$	$w_n \geq 0,9 w_L$		$w_n \geq 0,7 w_L$
2	Likit limit	$w_L \leq 0,35$		$w_L \leq 0,32$	$w_L \leq 0,50$
3	Likitlik indisi	$I_L \leq 0,75$	$I_L \leq 0,75$		$I_L \leq 0,75$
4	0.002 mm'den küçük dane yüzdesi			$f_2 < 0,1$	$f_2 \leq 0,3$
5	0,005 mm'den küçük dane yüzdesi	$f_5 \leq 0,15$			
6	Plastite indisi				$I_p \leq 0,75$
7	Darbe sayısı, N_{60}		$SPT \leq 4$		
8	Serbest basınç mukavemeti		$q_u < 50 \text{ kPa}$		
9	Hassaslık		$S_t > 4$		

4.5 Sıvılaşma Şiddetinin Tahmini

Bir bölgede meydana gelen sıvılaşma tehlikesinin yanında bu sıvılaşmanın şiddetinin de tahmini önemlidir. **Iwasaki (1986)** sıvılaşma derecesini-degree of liquefaction (I_L) şu şekilde ifade etmiştir:

$$I_L = \sum(1 - F_{LR}) * W(Z) * Z \quad (4.14)$$

$W(Z)$, zemin tabakasının ağırlık fonksiyonudur. z , m cinsinden derinlik olmak üzere,

$$W(Z) = 10 - 2/3 * z \quad (4.15)$$

Tablo 4.3: Sıvılaşma derecesi I_L ile sıvılaşma şiddeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir (**Tezcan ve Özdemir, 2004**).

Sıvılaşma Derecesi (I_L)	0	4 - 10	8-20	>20
Sıvılaşma Potansiyeli	Çok düşük	Düşük	Yüksek	Çok yüksek

4.6 Enerji Metodu

Bu metod ile laboratuvar da dinamik yüklemeyle elde edilen enerji kaybı ile boşluk suyu basıncı arasındaki ilişki ve arazi verilerinin regresyon analizleriyle korelasyonu yardımıyla sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmektedir. Buna göre aşağıdaki ifade verilmiştir (**Tezcan ve Özdemir, 2004**).

$$\frac{10^{1.5M_w}}{2.28 * 10^{-10} * N_1^{11.5} * R^{4.3}} \geq 1 \quad (4.16)$$

Burada,

M_w : Depremin büyüklüğü

R : Odak uzaklığı (km)

N : 100 kPa efektif basınç ve %60 enerji oranına göre düzeltilmiş standart penetrasyon dayanımıdır.

4.7 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte Sıvılaşma İle İlgili Bükümler

1998’de yürürlüğe giren, 2006’da yenilenen ve 2007’de tekrar çıkan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)’de zeminlerin saha ya da laboratuvar deneyleriyle saptanan karakteristik özelliklerine göre gruplandırılması Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Zemin grubuna göre belirlenen yerel sınıfları ise Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Daha önceki deprem yönetmeliklerinde yer almayan zemin sıvılaşmasına ilişkin 1998 Deprem Yönetmeliği’nde bir madde eklenerek sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi zorunluluğu getirilmiştir. 2006 ve 2007 Deprem Yönetmeliği’nde aynen korunan bu maddede, “Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi” başlığı altında “bütün deprem bölgelerinde, yer altı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10m içinde olduğu durumlarda, (D) grubuna giren zeminlerde Sıvılaşma Potansiyeli’nin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçların belgelenmesi zorunludur” denilmektedir. Bu tabloda görüldüğü gibi (D) grubu zeminler yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları ile gevşek kum ve yumuşak kil, siltli kil olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.4: Zemin grupları (ABYYHY, 2006)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metaformik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar..... 2. Çok sıkı kum, çakıl..... 3. Set kil ve siltli kil.....	--- >50 >32	--- 85 – 100 ---	> 1000 --- > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. tuf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar..... 2. Sıkı kum, çakıl..... 3. Çok katı kil ve siltli kil.....	--- 30-50 16-32	--- 65-85 ---	500-1000 --- 200-400	700-1000 400-700 300-700
(C)	1. Yumuşak süreksiz düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar..... 2. Orta sıkı kum, çakıl..... 3. Katı kil ve siltli kil.....	--- 10-30 8-16	--- 35-65 ---	>500 --- 100-200	400-700 200-400 200-300
(D)	1. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları..... 2. Gevşek kum..... 3. yumuşak kil, siltli kil.....	--- >10 >8	--- >35 ---	--- --- >100	>200 >200 >200

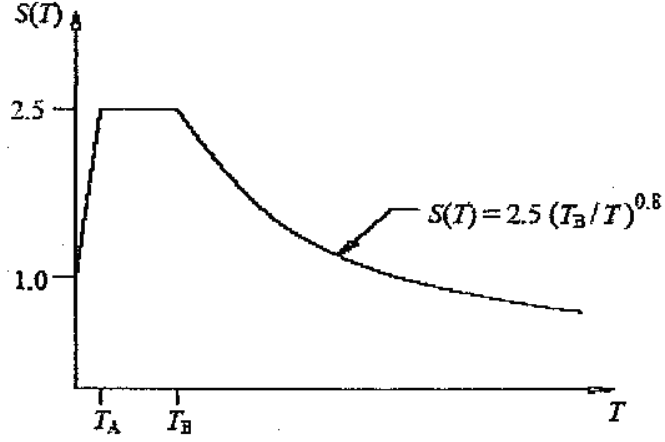
Tablo 4.5 : Yerel zemin sınıfları (ABYYHY, 2006)

Yerel Zemin Sınıfı	En Üst Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15\text{m}$ olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15\text{m}$ olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15\text{m}$ olan (C) grubu zeminler
Z3	$15\text{m} < h_1 \leq 50\text{m}$ olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10\text{m}$ olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50\text{m}$ olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10\text{m}$ olan (D) grubu zeminler

Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B ise yerel zemin sınıflarına bağlı olarak aşağıda Tablo 4.5’de verilmiştir. Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B ’ ye göre tanımlanan tasarım ivme spektrumu ise Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Spektrum karakteristik periyotları (ABYYHY, 2006)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90



Şekil 4.7: Tasarım ivme spektrumu (ABYYHY, 2006)

4.8 EUROCODE 8 – 1998 İçeriğinde Sıvılaşma İle İlgili Hükümler İçinde Yer Alan Kriterler

Eurocode 8 – 1998’in sunduğu analiz kriterleri Tablo 4.7’de sunulmuştur.

Tablo 4.7: Sıvılaşma riskinin gözlenmeyeceği zemin tipleri (Eurocode 8 -1998)

No	Zemin Cinsi	Sıvılaşma Analizine İlave Şartlar
1	Suya doymun kumlu zeminler	Derinlik > 15 m.
2	Killi kumlar	$f_2 > 0,20$; $I_p > 0,10$; amaks < 0,15 g
3	Siltli kumlar	$f_{50} > 0,20$; $(N_1)_{60} > 20$; amaks < 0,15 g
4	Temiz kum	İnce malz. miktarı > 0,05 ; $(N_1)_{60} > 25$; amaks < 0,15 g

4.9 Sıvılaşmaya Karşı Alınacak Önlemler

Sıvılaşmanın vereceği hasarlara karşı yapıların güvenliğini sağlamak amacıyla, sıvılaşma ihtimali olan zemin tabakaları için alınabilecek önlemler aşağıda anlatılmıştır:

1-) Sıvılaşabilir zeminin kazılması ve yeniden sıkıştırması:

Bir yapı altındaki zeminin sıvılaşma ihtimali varsa, bu zemin kazılıp bir katkı maddesiyle tekrar sıkıştırılır. M¼mk¼nse sıvılaşabilir zemin kazılıp uzaklaştırılır ve yerine sıvılaşmayacak bir zemin sıkıştırılarak yerleştirilir.

2-) Arazideki malzemenin sıkıştırılması:

Bu şekilde sıkıştırma işlemi vibroflotasyon, dinamik kompaksiyon, ve kompaksiyon kazıkları gibi birkaç y¼ntemle yapılabilir.

3-) Enjeksiyon ve kimyasal stabilizasyonla yerinde iyileştirme yapılabilir.

4-) akıl ve taş drenler yapılarak, dinamik y¼klerden dolayı meydana gelecek boşluk suyu basıncının kısa s¼rede dağıtılması sağlanabilir.

5-) Yeraltı suyu seviyesinin d¼ř¼r¼lmesi için kuyular açarak su çekme işlemi yapılabilir.

6-) Kazıklı temel sistemi:

Adapazarı il merkezinde meydana gelen sıvılaşma olayı sonucunda birçok bina temel sorunları yaşamıştır. Yeraltı suyu seviyesi 1-2 m kadar zeminin altında yer aldığı için temeller çok sığ olarak inşa edilmiş, radyejeneral temelli binalar dahi zeminin sıvılaşması sonucu zarara uğramışlardır. Kazıklı temel sistemi uygulanan yapıların temellerinde ise herhangi bir hasar olmadığı bilinmektedir.

7-) Derin temel sistemlerinin uygulanması da sıvılaşmaya karşı alınacak bir ¼nlem olarak d¼ř¼n¼lebilir.

Yukarıda ¼nerilen zemin iyileştirme y¼ntemleri için bu çalışmada ayrıntılara girilmemiştir.

5. SIVILAŞMA ANALİZİ İLE İLGİLİ BİR İNCELEME

Sıvılaşma analizinde kullanılan ön değerlendirme kriterlerin, ABBYYHY ve EUROCODE 8 – 1998 yönetmeliklerinin sunduğu kriterlerin, hesaplamada kullanılan parametrelerin ve bu parametrelerin bazılarını kullanmakta kullanılabilecek korelasyonların hesapları ne şekilde etkilediği yapılan çalışma kapsamında incelenmiştir.

5.1 Sıvılaşma Hesabında Kullanılan Hesap Yöntemi

Yapılan bu çalışmada, Excel kullanılarak bir hesap programı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu program ABBYYHY ve EUROCODE 8 – 1998’u temel alarak, her iki yönetmeliğin sunduğu kriterlerle hesap yapmaktadır. Böylelikle iki tasarım yöntemini karşılaştırma imkanı sunmaktadır.

Oluşturulan hesap programında araştırılan deprem şiddeti (M_w) ve maksimum yer ivmesi (a_{max}) için her iki yönetmeliğe göre (ABBYYHY ve EUROCODE 8 – 1998) sıvılaşma potansiyeli tahmin edilebilmektedir.

Hesap yönteminin 1. adımında “Kohezyonlu Tabakalar İçin Analiz” yapılmaktadır. Bu analiz yöntemi, 1. Çin Kriteri, 2. Çin Kriteri, Değiştirilmiş Çin Kriteri ve Tezcan ve Özdemir’in kriteri olmak üzere dört farklı kritere göre sıvılaşma potansiyeli araştırılan zeminin Bölüm 4.4’de detaylı şekilde anlatılmış olan bazı sınırları sağlama şartlarına göre sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesine gerek olmayan tabakalarını analizin dışında bırakır.

Hesap yönteminin 2. adımında “Eşik İvme Kriteri” kullanılarak F_a güvenlik sayısı hesaplanmaktadır. F_a belirlenen güvenlik sayısı değeriyle kıyaslanarak zeminin sıvılaşma potansiyeli hakkında fikir yürütülebilir. Eşik ivme kriteri Bölüm 4.2’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca; bu adımdaki hesaplama parametrelerinden biri olan ve farklı araştırmacıların önerdiği korelasyonlardan elde edilebilen zemin kayma dalgası hızı (V_s)’nın hangi korelasyon ile hesaba gireceği kullanıcının seçimine bırakılmıştır. Böylece bu hesap yöntemi farklı korelasyonlar için sıvılaşma

potansiyellerinin eşik ivme kriterine göre belirlenişinde bahsi geçen korelasyonlar için bir karşılaştırma imkanı sunmaktadır.

Hesap yönteminin 3., 4. ve 5. adımlarında Bölüm 4.1’de kapsamlı şekilde anlatılan SPT, CPT ve kayma dalgası hızı ile karakterizasyon yapılmıştır. Bu yöntem $M_w=7,5$ şiddetinde depremler ve temiz kumlar için önerilmiş olan formülüzasyon ve korelasyon eğrileri ile devirsel dayanım oranının (CRR) belirlenmesi suretiyle bu değer in yaratılmış döngüsel direnç oranı (CSR) ile kıyaslanması ile elde edilen güvenlik sayısının; veya CRR değeri ile normalize edilmiş darbe sayısı (N_{160}), normalize edilmiş uç direnci (q_c) veya normalize edilmiş kayma dalgası hızı (V_s) arasındaki ilişkinin zeminlerin sıvılaşma potansiyeli hakkında fikir vermesi esasına dayanır.

Hesap yönteminin 6. adımında Iwasaki (1984) tarafından önerilmiş olan “Ampirik Kriter” kullanılmaktadır. Bu yöntemde de Bölüm 4.3’de anlatılan şekilde belirlenen F_L güvenlik sayısının belirlenmesi ile sıvılaşma potansiyeli için fikir yürütülebilir.

Hesap yönteminin 7. adımında riskli tabakalar için Bölüm 4.5’deki formüller kullanılarak tahmini sıvılaşma şiddeti elde edilmektedir.

Hesap yönteminin 8. adımında sıvılaşabilir tabaka kalınlığı ile üstündeki sıvılaşma riski taşımayan tabaka kalınlığı kıyaslanarak sıvılaşma risk seviyesi yorumlanmıştır.

Hesap yönteminin 9. ve son adımında ise yine kullanıcının seçimine bırakılan korelasyon ile elde edilen relatif sıkılık (D_r) değeri maksimum yüzey ivmesi (a_{maks}) ile karşılaştırılarak risk seviyesi hakkında fikir yürütülmüştür.

5.2 Yapılan Hesaplar

Sıvılaşma analizi ile ilgili yapılan çalışmada Bölüm 5.1’de anlatılan program kullanılarak farklı parametrelerle hesaplar yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

İlk olarak programın “Veri Girişleri” kısmında derinliğe (d) bağlı SPT deneyi ile elde edilen darbe sayıları (N_{ar}), doğal birim hacim ağırlıkları (γ_n), CPT deneyi ile elde edilen uç direnci (q_c) değerleri, elek analizi sonuçlarına göre mevcudiyetleri dikkate alınarak su muhtevası (w_n), likit limit (w_L), ortalama dane çapı (D_{50}), 4,76 mm., 2,00 mm., 0,0075 mm. açıklıklı eleklerden yüzde geçen malzeme miktarı değerleri girilerek USCS standardına göre zemin sınıflandırılması elde edilmiştir. Ayrıca veri

girişlerinin yapıldığı bu kısımda yer altı su seviyesinin bulunduğu derinlik bilgisi, SPT deneyi için belirlenen enerji oranı, deprem şiddeti (M_w) ve yüzey ivmesi (a_{maks}) girişi yapılmıştır. (Tablo: A.1) Maksimum yer ivmesinin farklı deprem şiddetlerinde hesaplamada seçiminde Şekil 4.6.'daki maksimum yüzey ivmesinin farklı deprem şiddetleri için deprem merkezine olan uzaklık ilişkisinden yararlanılmıştır.

Daha sonra programın “Hesap Parametreleri” kısmında kullanılmak istenen yönetmelik, kohezyonlu tabakalar için kriter, kayma dalgası hızı (V_s), relatif sıkılık (D_r), uç direnci (q_c), serbest basınç dayanımı (q_u) için korelasyonlar, ince malzeme miktarı düzeltilmesinin kullanılıp kullanılmayacağı, ve SPT ve CPT deney sonuçlarının normalizasyonu için kullanılan jeolojik yük faktörü düzeltmesi (C_N, C_Q) korelasyonu seçilmiştir. Uç direnci değerlerinin elle girilip girilmeyeceği de kullanıcının seçiminde olan programda değerler elle girilmiştir. SPT-N darbe sayıları için sadece jeolojik yük düzeltmesi ve enerji oranı düzeltilmiştir. Bunun sebebi diğer düzeltme faktörlerinin birlikte uygulandıklarında neredeyse çarpan olarak etkilerinin olmadığı düşünülmesindendir.

EK-C’de yapılan hesaplamalardan bir örnek bulunmaktadır.

5.3 Yapılan Hesapların Değerlendirilmesi

Yapılan hesapların değerlendirilmesinde izlenen yöntem çeşitli parametrelerin sırayla sabit tutularak farklı yöntemlerle elde edilen ve karşılaştırma değeri olarak belirlenen güvenlik sayılarının değişiminin incelenmesi şeklinde olmuştur.

Hesaplamaların sonuçlarının görülebileceği bir adet özet tablo raporu, iki adet özet grafik raporu oluşturulmuştur.

“Özet Tablo Raporu” seçilen tek bir deprem şiddeti (M_w) için hesap adımlarının tablo halinde bir özeti şeklindedir ki bu tablo tahmini sıvılaşma şiddetini (I_L) de içerir.

Tablo: A.2’de örnek bir hesaplama ile elde edilen bu raporlar sunulmaktadır.

“Özet Grafik Raporu (1)”, periyodik kayma gerilmesi kriteri hesap sonuçları ile beş adet yöntemle belirlenmiş güvenlik sayılarının derinlikle değişimini gösteren grafikleri içerir. Tablo: A.2’de örnek bir hesaplama ile elde edilen bu raporlar sunulmaktadır. Şekil: A.1’de örnek bir hesaplama ile elde edilen bu rapor sunulmaktadır.

“Özet Grafik Raporu (2)”, seçilen farklı dört adet deprem şiddeti için her bir yöntemle hesaplanmış güvenlik sayılarının ayrı ayrı beş adet grafikte derinlikle değişimini gösterir.

EK-A’da örnek bir hesaplama ile elde edilen bu raporlar sunulmaktadır.

6. SONUÇLAR

Zeminlerin sıvılaşması birçok araştırmacının üzerine çalışmış olduğu bir konu olmasıyla sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesinde çeşitli ön değerlendirmeler, kriterler ve korelasyonlar ortaya konmuştur.

Aynı zamanda sıvılaşma analizi kriterlerinde kullanılan parametrelerden bazıları için de elde edildiği bilinen ampirik bağıntılar sıvılaşma analizi üzerinde indirekt olarak da olsa analizin sonuçları bakımından gözle görülür bir etki yapmaktadırlar.

Tüm bunların yanında sıvılaşma analizi yöntemlerinin uygulanmasından önce bir ön değerlendirme şeklinde sunulan hükümler analize gerek olmayacak zemin şartlarını ve derinlikleri sınırlandırmaktadır. Bu çalışmada kriterleri dikkate alınan ABBYYHY ve EUROCODE 8 – 1998’u gibi deprem şartnamelerinin sunduğu sınırlar analizin yapılacağı sınırları işaret ederek sonuçları etkilemektedirler.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında 1 adet SPT, 1 adet CPT deneyi ve 6 adet SPT numunesi üzerinde yapılan elek analizi sonuçlarından elde edilen parametrelerle 4 farklı deprem şiddeti (M_w) için, literatür araştırması sonucunda çeşitli araştırmacıların farklı zemin türleri için ortaya koydukları ampirik bağıntılardan belirlenmiş olan killi, siltli kum sınıflandırmasına uygun 7 adet jeolojik yük düzeltme katsayısı (C_N) korelasyonu, 8 adet kayma dalgası hızı (V_s) korelasyonu, 4 adet relatif sıkılık (D_r) korelasyonu, 3 adet uç direnci korelasyonu (q_c) ve 1 adet serbest basınç dayanımı (q_u) korelasyonu ile, kohezyonlu tabakaların ön değerlendirmesi için kullanılan 1. Çin Kriteri, 2. Çin Kriteri, Değiştirilmiş Çin kriteri ve Tezcan ve Özdemir’in 17 Ağustos 1999, Kocaeli depreminden sonra Değiştirilmiş Çin Kriteri’ni geliştirerek ortaya koydukları kriter kullanılarak ABBYYHY ve EUROCODE 8 – 1998’u şartnamelerine göre Bölüm 5.1.’de detaylı biçimde anlatılan hesap yapılmıştır. Yapılan hesaplar, çeşitli parametrelerin sırayla sabit tutularak farklı yöntemlerle elde edilen ve karşılaştırma değeri olarak belirlenen güvenlik sayılarının değişiminin incelenmesi şeklinde değerlendirilmiştir.

İlk inceleme $M_w=5,5$, $M_w=6,5$, $M_w=7,5$ ve $M_w=8,5$ deprem şiddetlerinde deney sonuçlarından elde edilen CPT parametrelerinin kullanılması ile, 1. Çin Kriteri için Liao ve Whitmann (1986)'ın sunduğu jeolojik yük düzeltmesi faktörü (C_N) korelasyonu, Imai ve Yoshimura (1970)'nın kayma dalgası hızı (V_s) için geliştirdiği ampirik bağıntı, relatif sıkılık (D_r) için Gibz ve Holtz (1957)'un korelasyonu ve tüm hesaplamalarda zemin sınıflandırmasına bağlı olarak sabit parametre görevi gören Kulhawy ve Maynes'in ortaya koyduğu serbest basın dayanımı (q_u) bağıntısı kullanılarak ABBYYHY ve EUROCODE 8 – 1998'u şartnamelerinin her ikisinin de işaret ettiği sınırlara göre hesap yapılmış ve hesap sonuçları 5 farklı analiz yöntemiyle elde edilen güvenlik sayılarının 4 farklı deprem şiddetinde derinlikle değişimini sunan grafikler Ek-B'de sunulmuştur.

Daha sonra üst paragrafta bahsedilen yönetmelik, kriter ve korelasyonlardan bir tanesi değiştirilmek ve diğerleri yukarıda bahsedilen şekliyle kalmak suretiyle program tekrar tekrar çalıştırılmış ve bu grafik sonuçları bize bahsi geçen yöntem, kriter ve korelasyonlar için de yorum yapma şansı tanımıştır.

Bu karşılaştırmalara göre Şekil B.1 ve Şekil B.2'de görülebileceği üzere aynı zemin koşulları ve kriterler için 5 farklı yöntemle EUROCODE 8-1998'e göre, ABBHHYY'e göre sıvılaşma riski taşımayan daha derin tabakalarda da sıvılaşma riski bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İkinci olarak kohezyonlu tabakalar için analiz kriterleri değiştirilerek program çalıştırılmış ve tamamen aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu durumun, kriterlerin sunduğu bazı sınırlar için gerekli parametrelerin elimizdeki deney sonuçları açısından yetersiz olması kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ancak, bu noktada bu 4 kriterin bir öncekinin geliştirilmesiyle ortaya konulan kriterler olduğu unutulmamalıdır.

Kayma dalgası hızını elde etmek için maliyeti yüksek olduğundan kayma dalgası hızını (V_s) elde etmekte korelasyonların kullanılması oldukça avantajlıdır. Üçüncü bir karşılaştırma farklı araştırmacılar tarafından kayma dalgası hızı (V_s) için sunulan korelasyonların sıvılaşma analizine etkisi için yapılmıştır. Farklı korelasyonlarla çalıştırılan programın verdiği grafik sonuçları karşılaştırıldığında kayma dalgası hızının birincil olarak sıvılaşma analiz hesabına girdiği kayma dalgası hızı karakterizasyonuna ve eşik ivme kriterine göre sonuçlarda farklılaşmalar

gözlemlenmiştir. Diğer yöntemlerde bir farklılık gözlenmemiş olup, bize verdikleri fikir açısından düşünüldüklerinde veri girişini yaptığımız zeminin 3,5 ila 4,5 m. Ve 7,5 ila 9,0 m. derinliklerinde özellikle 7.5 ve 8.5 şiddetlerinde deprem için sınılaşma olacağı tahmin edilmektedir. Eşik ivme kriteri bize her korelasyon ve deprem şiddeti için birbirinden farklı güvenlik sayıları ile sınılaşma riski işaret ediyorsa da, kayma dalgası hızı karakterizasyonu ile yapılan analizde korelasyonlardan bazıları herhangi bir seçilen deprem şiddetinde sınılaşma riski olacağını gösterirken bir diğeri risk olmayacağını göstermektedir. Daha az derin tabakalarda ise bu durum her iki yöntem için de farklı deprem şiddetleri için değişmektedir. Bu noktada değerlendirme için tüm analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Dördüncü olarak relatif sıklık (Dr) değerleri için seçilen korelasyon değiştirilerek program tekrar tekrar çalıştırılmıştır. Sonuç grafiklerine göre **Mayerhof (1956)** ve **Yoshida ve Ikemi (1988)**'in sunduğu korelasyonlarla yapılan hesaplarda zemin yüzeyine yakın derinliklerde ampirik yöntem haricindeki yöntemlerin sonuçları zeminin sınılaşma riski taşıyacağı şeklindeyken ampirik yöntem ve diğer korelasyonlar aynı sonucu vermemektedir.

Bir sonraki karşılaştırma jeolojik yük düzeltme faktörü (C_N) korelasyonları için yapılmış olup bulunan sonuçlar sayısal olarak farklılık göstermekte olup, bu farklar yok denecek kadar azdır. Bu doğrultuda yük düzeltme faktörü (C_N) korelasyonu seçiminin, zeminde farklı deprem şiddetleri için sınılaşma olup olmayacağına dair sorulan sorunun cevabını değiştirmeyeceği sonucuna varılmıştır.

Son karşılaştırma CPT deneyi ile elde edilen q_c uç direnci değerinin **Robertson (1983)** tarafından elektrikli ve mekanik uçlar için farklı zemin tiplerinde korelasyonlar ile elde edilmesi ve bu korelasyonlar ile elde edilen q_c değerleri kullanılarak yapılan sınılaşma analizinin sonuçlarının karşılaştırılması için yapılmıştır. Görülen odur ki korelasyonlar ile edilen uç direnci değerleri deney sonuçları ile tutarlılık içerisinde.

Ayrıca Ek-B'de sunulan grafikler genel bir bakış altında değerlendirildiğinde SPT ile karakterizasyon ile 8.5 şiddetinde deprem için belirlenen güvenlik sayılarının bazı sonuç grafiklerinde 7.5 şiddetindeki deprem için belirlenen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Andrews, D. C. A. and Martin, G. R.,** 2000. Criteria for Liquefaction of Silty Soils, *12th World Conference on Earthquake Engineering, 12th WCEE Proceedings*, Auckland, New Zealand.
- Bowles, E.J.,** 1968. *Foundation Analysis and Design*, McGraww-Hill, NewYork.
- Burland, J., B. and Burbridge, M.C.,** 1985. *Settlement of Foundations on Sand and Gravel*, Proc. Institution of Civil Engineers, Part 1.
- Castillo, A.J.A.,** 2007. Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá, *Proceedings of 10th Revista Épsilon*, Bogota, Junio, **8**, p. 13-23. (in Colombia)
- Castro, G.,** 1969. *Liquefaction of sands*, *Harvard Soil Mechanics Series 87*, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Dobry, R. K. H., Stokoe II, Ladd, R.S. and Youd, T. L.,** 1981. Liquefaction Susceptibility from S-Wave Velocity, *Reprint 81-544*, ASCE National Convention, St Louis, Missouri, October, ASCE, (in New York)
- Duncan, J.M. and Buchignani, A.L.,** 1976. *An Engineering Manual for Settlement Studies*, Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State Univerisity, Virginia.
- Finn, W.D.L., Ledbetter, R.H. and Wu, G.** 1994. Liquefaction in silty soils: Design and Analysis, *Ground Failures under Seismic Conditions*, Geotech. Spec. Publ., **44**, p. 51-76, ASCE, New York.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D.,** 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- Imai, T. and Tonouchi, K.,** 1982. Correlation of N value with S-wave velocity and shear modulus, *Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, May 1982, p. 67-72. (in Netherlands)

- Imai, T.**, 1977. P- and S-wave velocities of the ground in Japan, *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation*, Tokyo, July 1977, p. 257-260. (in Japan)
- Ishihara, K. and Koseki, J.** 1989. Discussion of “Cyclic shear strength of fines-containing sands”, *Earthquake Geotechnical Engineering, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rio de Janeiro, p. 101-106.
- Ishihara, K.**, 1984. Post-earthquake Failure of a Tailing Dam due to Liquefaction of the Pond Deposit, *Proceedings, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, University of Missouri, St. Louis, USA, **3**, p. 1129-1143.
- Ishihara, K.**, 1985. Stability of Natural Deposits During Earthquakes, *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, **1**, p. 321-376.
- Ishihara, K.**, 1993. Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes, *Geotechnique*, The Institution of Civil Engineers London, **43(3)**, p. 351-415.
- İyisan, R. and Ansal, A.**, 1990. SPT-N darbe sayıları ile kayma mukavemeti ilişkisi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul, Ekim 1990, s. 303-314.
- İyisan, R.**, 1996. Zeminlerde kayma dalga hızı ile penetrasyon deney sonuçları arasındaki bağıntılar, *İMO Teknik Derg*, **7(2)**, s. 1187-1199.
- Koester, J.P.**, 1994. The influence of fines type and content on cyclic strength, *Ground Failures Under Seismic Conditions, Geotechnical Special Report*, **44**, ASCE, New York, p. 17-33.
- Kramer, S.**, 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- Liao, S. S. C. and Whitman, R. V.**, 1986. Overburden Correction Factors for SPT in Sand, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, March, **112(3)**, p. 373-377.

- Mayerhof, G.G.**, 1956. Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, **82(1)**, p. 866/1-19.
- Mitchell, J.K. and Katti, R.K.**, 1981. Soil Improvement: State-of-the-art-report, *Proceedings of 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, June, 4, p. 509 – 565. (in Sweden)
- Molay, M.M.**, 1993. SPT-CPT Korelasyonları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ohta, Y. and Goto, N.** 1978. Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **6** , p. 167-187.
- Okamoto, T., Kokusho, T., Yoshida, Y. y Kusunoki, K.**, 1989. Comparison of surface vs. Subsurface Wave Source Wave Source for P-S Logging in Sand layer”. *Proc. 44th Annual Conf., JSCE* 3., p. 996-997.
- Önalp, A.**, 1982. *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi*, Cilt 1, K.T.Ü., Trabzon.
- Poulos, S. J.**, 1981. The steady state of deformation, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, **107(GT5)**, p. 553-562.
- Rauch, A. F.** 1998. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, **127(10)**, p. 817-833.
- Robertson, P. K. , Campanella, R., G., Wightman**, 1983. SPT-CPT Correlations, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, November.
- Sağlam, A.** 1996. Arazi deneylerinin Geoteknik Tasarımda Kullanılması, *ZM6 Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*, İzmir, 24-25 Ekim.
- Sanglerat, G.**, 1972. *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Company, New York.
- Schmertmann, J. H.**, 1978. *Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design*, U.S. Dept. Of Transp., Fed.Highways Admin., Offices of

Research and Development, Washington (DC) Report FHWA-TS-78-209.

- Seed, H. B. and Idriss, I. M. and Arango, I.,** 1983 Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, March, **109**, p. 458-482.
- Seed, H. B. and Idriss, I. M.,** 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, September, **97**, p. 1249-1273.
- Seed, H. B.,** 1983. Earthquake-Resistance Design of Earth Dams, *Proceedings Symposium Seismic Design of Earth Dams and Caverns*, ASCE, p. 41-64. (in New York)
- Seed, R. B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M.,** 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, December, **111**, p. 1425-1445.
- Seed, H. B., Mori, K. and Chan, C.K.** 1975. *Influence of Seismic History on the Liquefaction Characteristics of Sands*, **Report EERC 75-25**, Earthquake Engineering Research Center, University of California, **21**, Berkeley
- Sivrikaya, O.,** 2003. Standart Penetrasyon Deneyi İle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Stark, T.D. and Olson, S.M.,** 1995. Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, December, p. 868.
- Teri, L. and Tezcan, S.S.,** 1996. *Zemin Sıvılaşma Kriterlerinin Değerlendirilmesi*, Boğaziçi Üniversitesi Yapı Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Rapor No: YTUM 003/96.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B.,** 1967. *Söl Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons, NewYork.
- Tezcan, S.S. and Özdemir, Z.,** 2004. *Liquefaction Risk Analysis*, Higher Education Research Foundation, İstanbul.

- Toğrol, E.**, 1970. *Kazıklı Temeller*, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, İstanbul.
- Uzuner, B.A.**, 2000. *Temel Mühendisliğine Giriş*, 2. Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Wang, W.**, 1979. *Some Findings in Soil Liquefaction*, Water Conservancy and Hydroelectric Power Research Institute, Beijing, China.
- Wang, W.**, 1981. "Foundation Problems in Aseismic Design of Hydraulic Structures", *Proceedings of Joint US-P.R.C. Microzonation Workshop*, Harbin, p. 15-1 /15-13. (in China)
- Yıldırım, S.**, 2002. *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, Erdiz Masaüstü Yayıncılık, İstanbul.
- Youd, T. L. and Idriss, I. M. (editors)**, 1997. *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, Salt Lake City, Utah, USA.

EK-A

Mw=7.5 şiddetinde deprem için ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelayonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile yapılmış bir sıvılaşma analizi incelemesi hesabı

Tablo A.1: Veri girişleri tablosu

VERİ GİRİŞLERİ:

ER (%) = 0,6	GS _{SPT} = 1,00
d _w (m) (SK -1) = 1,4	GS _{CPT} = 1,25
d _w (m) (CPT-1) = 1,7	
M _w = 7,5	
g _{maks} (g) = 0,4	

A.V.: Analiz yapılmayacaktır. (Risksiz Bölge)
A.V.: Analize gerek duyulmamaktadır.

M _w	anaks
5,5	0,2
6,5	0,3
7,5	0,4
8,5	0,5

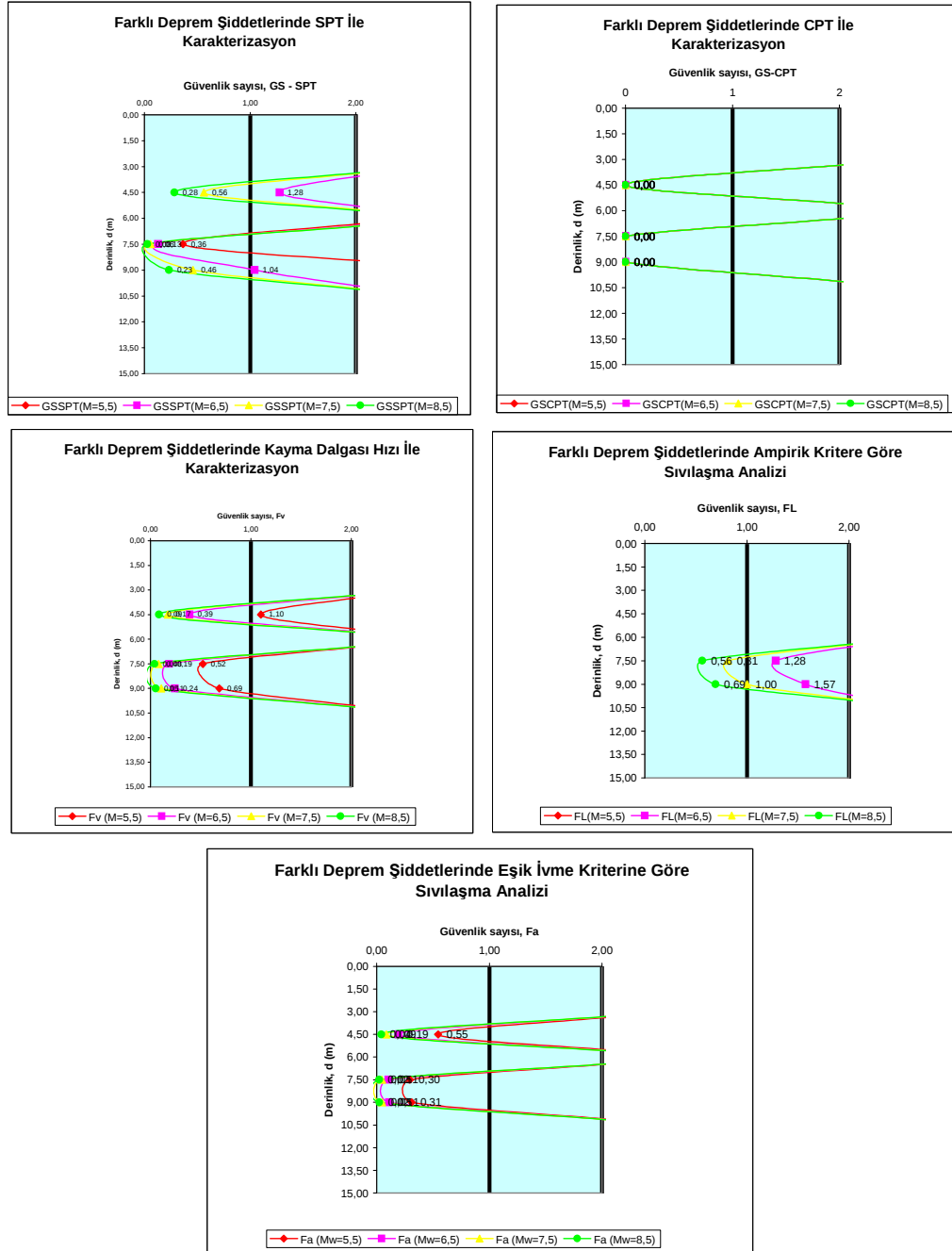
Derinlik, d (m)	Darbe Sayısı (N ₆₀)	Uç direnci, q _c (MPa)	Y _n (kN/m ³)	Su muntvası, w _n	w _L	w _p	D ₅₀ (mm)	#4 (%)	#10 (%)	#200 (%)	C _u	C _c	f ₂	f ₃	f ₅₀	Sınıflandırma (USCS)
1,50	6	1,85	17	-	0,28	0,12	0,00	98,86	2	46	-	-	-	-	-	SC
3,00	7	3,99	17	0,19	-	-	-	97,00	-	47	-	-	-	-	-	SM
4,50	2	6,99	17	-	-	-	-	97,00	-	45	-	-	-	-	-	SC
6,00	4	2,43	17	-	-	-	-	97,00	-	42	-	-	-	-	-	SC
7,50	2	0,61	17	-	-	-	0,20	96,93	9	38	-	-	-	-	-	SC
9,00	3	0,61	17	-	-	-	0,15	98,83	6	44	-	-	-	-	-	SC
10,50	5	1,07	17	-	-	-	0,18	99,57	3	38	-	-	-	-	-	SC
12,00	6	1,07	17	-	-	-	0,00	98,35	4	80	-	-	-	-	-	#DEĞER!
13,50	3	3,12	17	0,39	0,43	0,18	0,00	98,57	4	84	-	-	-	-	-	CL
15,00	6	3,12	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	#DEĞER!
16,50	29	2,33	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	#DEĞER!
18,00	19	2,33	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	#DEĞER!
19,50	30	2,33	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	#DEĞER!
21,00	11	5	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	#DEĞER!
22,50	6	-	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	0
24,00	8	-	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	0
25,50	17	-	17	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	0
27,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
28,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
31,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
33,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
34,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
36,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
37,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
39,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
40,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
42,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
43,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
45,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
46,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
48,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
49,50	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
51,00	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Tablo A.2: Özet Tablo Raporu

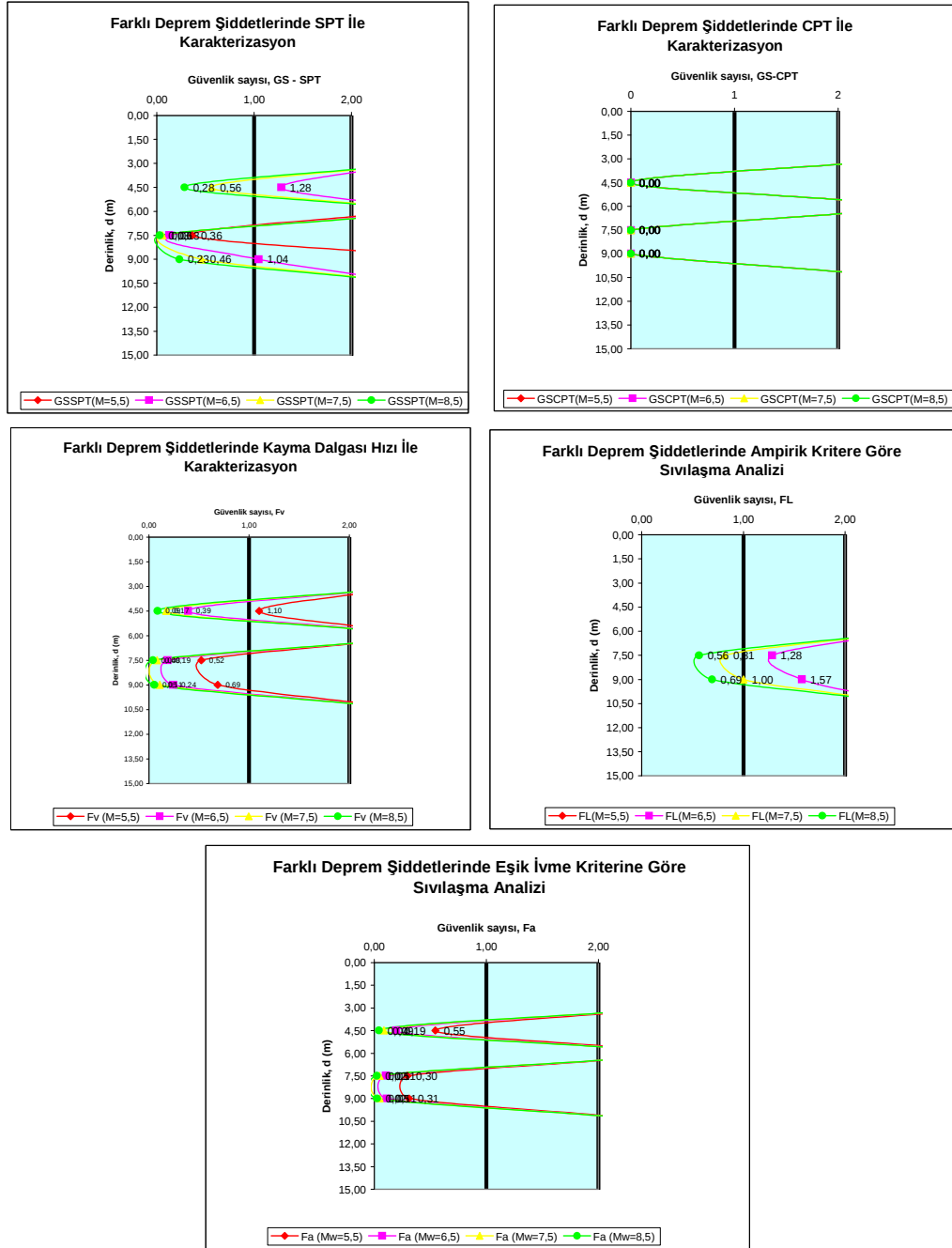
SIVILAŞMA ANALİZİ SONUÇLARI									
Derinlik	Adım 1	Adım 2	Adım 3	Adım 4	Adım 5	Adım 6	Adım 7	Adım 8	BELİRLENEN RISK SEVİYESİ
	Kohezyonlu tabakalar	F _a	GS _{SPT}	GS _{CPT}	F _v	F _L	IL	Siv. Riski Olmayan Tabaka Kal.	Adım 9
(0 - 1,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(1,5 - 3) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(3 - 4,5) m	Yetersiz veri	0,09	0,56	0,00	0,17	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yüksek	Yetersiz veri
(4,5 - 6) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(6 - 7,5) m	Yetersiz veri	0,05	0,06	0,00	0,08	0,37	41,69	Yüksek	Çok yüksek
(7,5 - 9) m	Yetersiz veri	0,05	0,46	0,00	0,11	0,45	38,93	Yüksek	Çok yüksek
(9 - 10,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(10,5 - 12) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(12 - 13,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(13,5 - 15) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(15 - 16,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(16,5 - 18) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(18 - 19,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(19,5 - 21) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(21 - 22,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(22,5 - 24) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(24 - 25,5) m	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
(25,5 - 27) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(27 - 28,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(28,5 - 30) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(30 - 31,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(31,5 - 33) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(33 - 34,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(34,5 - 36) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(36 - 37,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(37,5 - 39) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(39 - 40,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(40,5 - 42) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(42 - 43,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(43,5 - 45) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(45 - 46,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(46,5 - 48) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(48 - 49,5) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri
(49,5 - 51) m	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	A.Y.	Yetersiz veri

EK-B

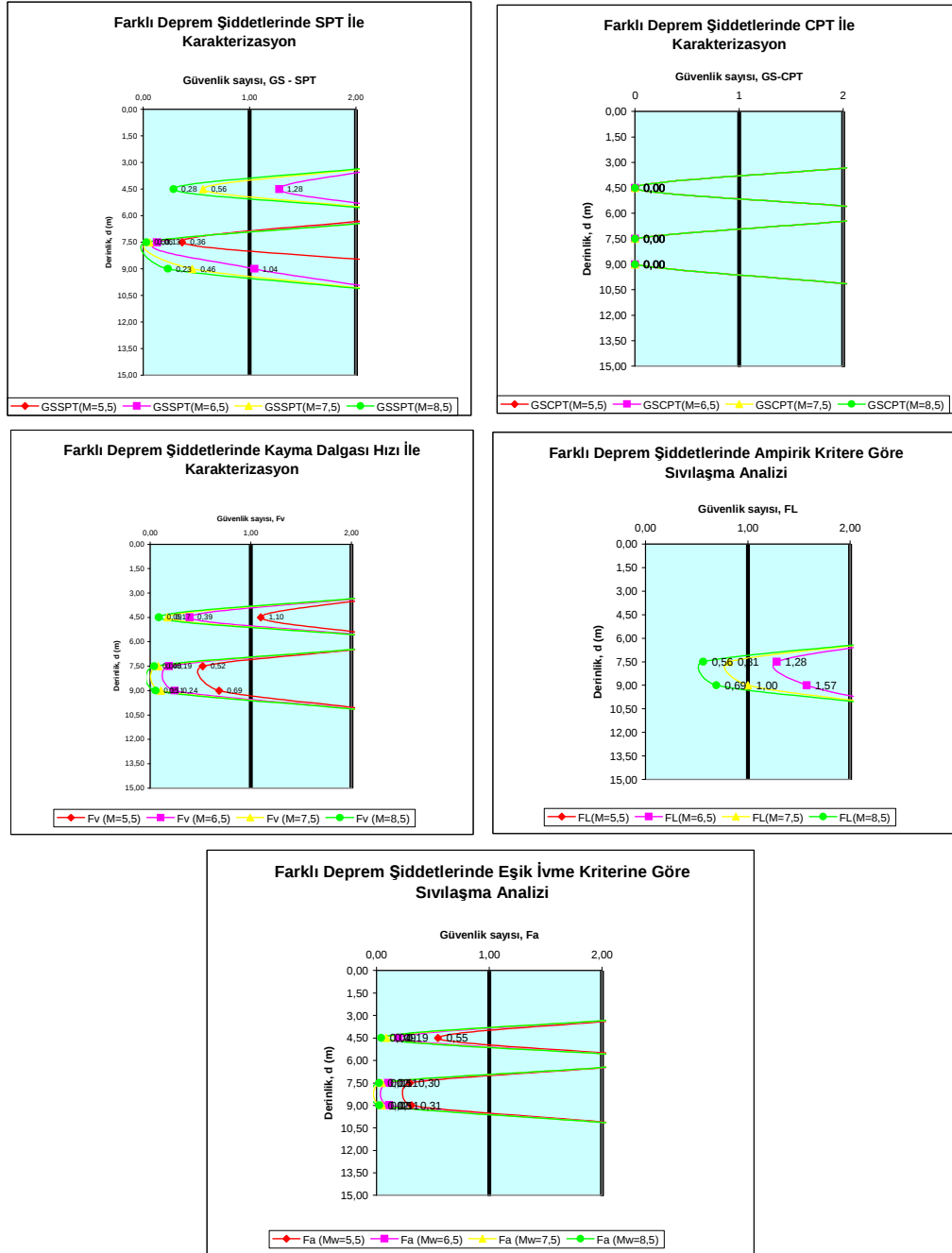
5 Farklı Yöntemle Elde Edilen Güvenlik Sayılarının Farklı Deprem Şiddetlerinde Derinlikle Değişim Grafikleri



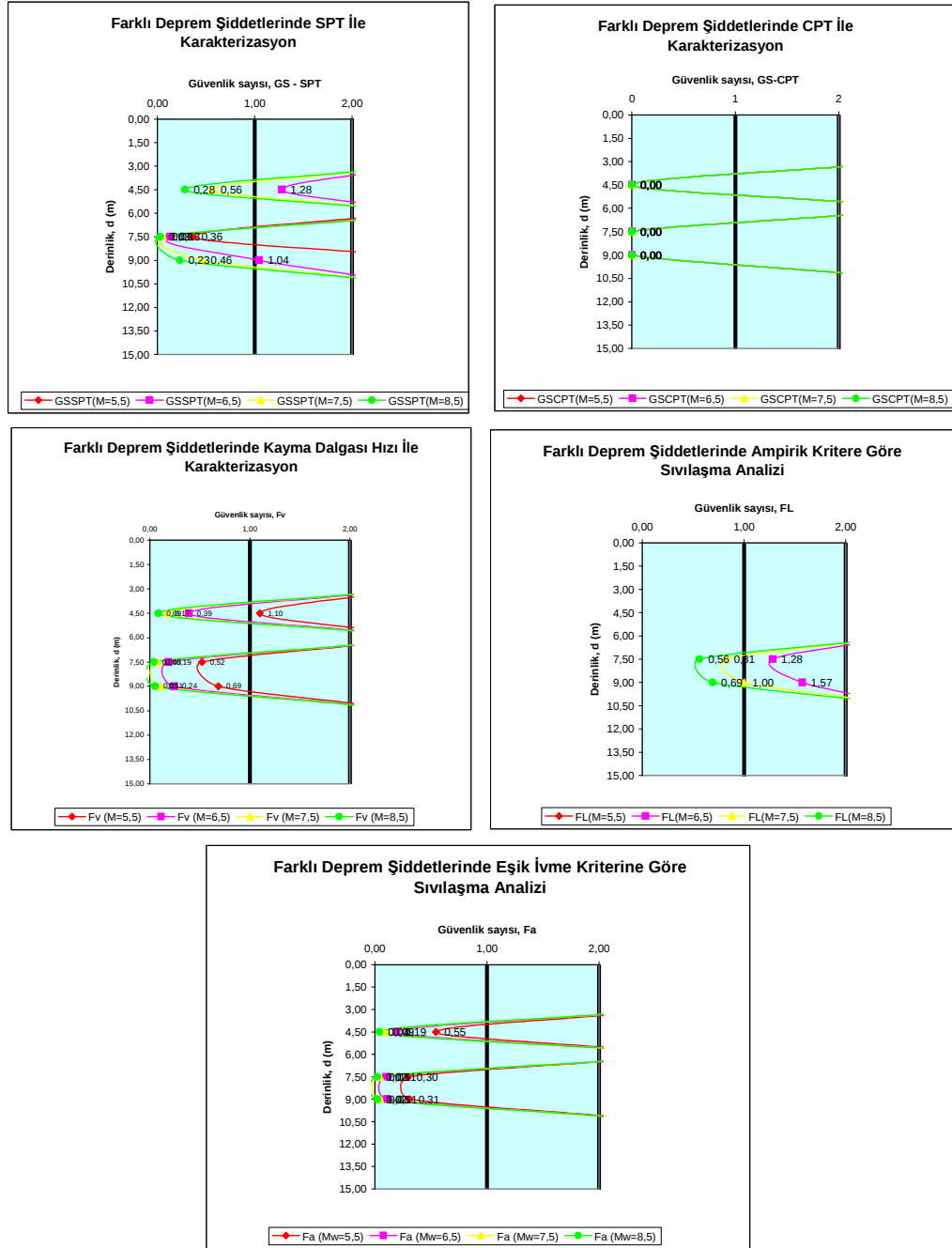
Şekil B.1: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



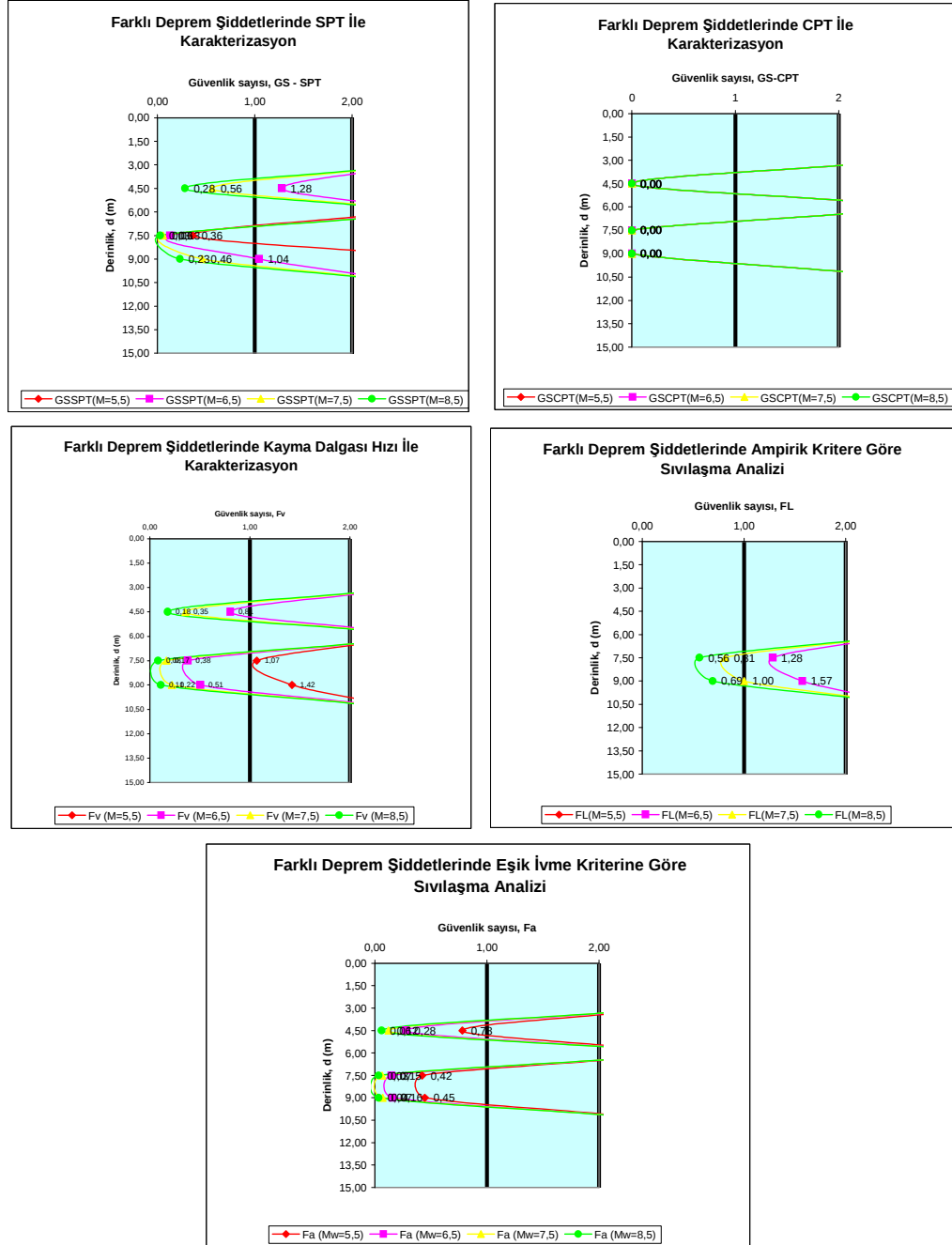
Şekil B.3: ABBHHYY, 2. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelayonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



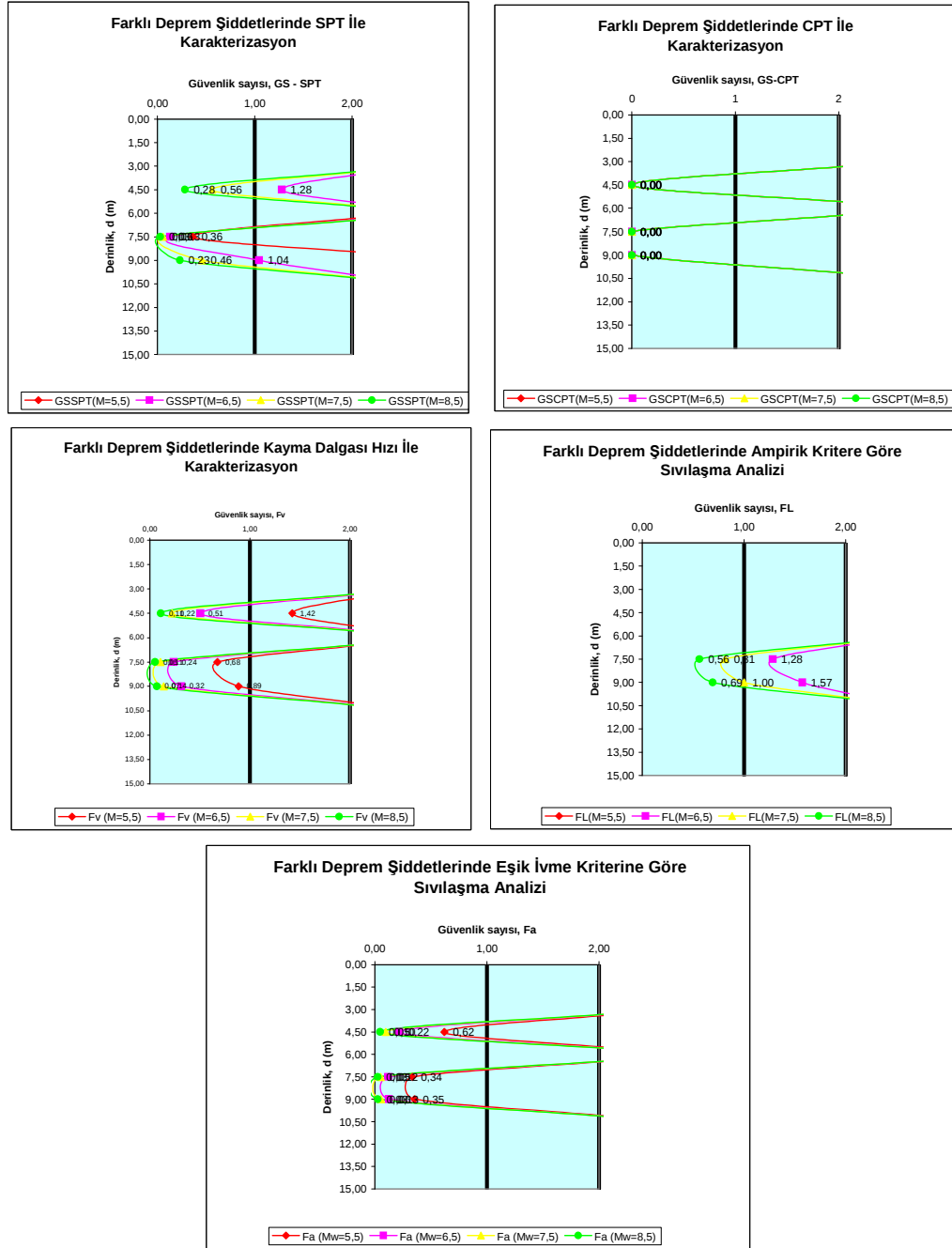
Şekil B.4: ABBHHYY, 3. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



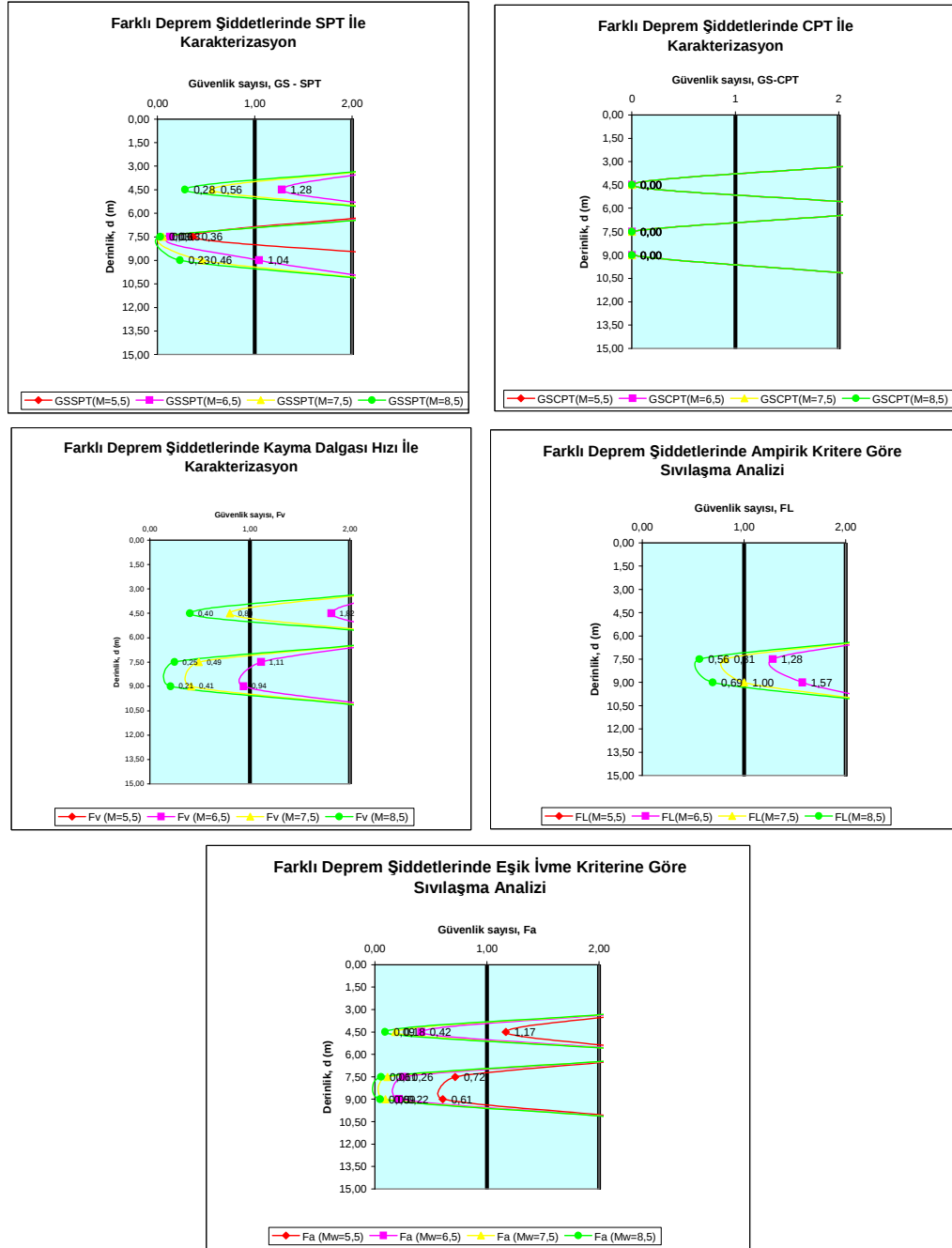
Şekil B.5: ABBHHYY, Tezcan ve Özdemir'in Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



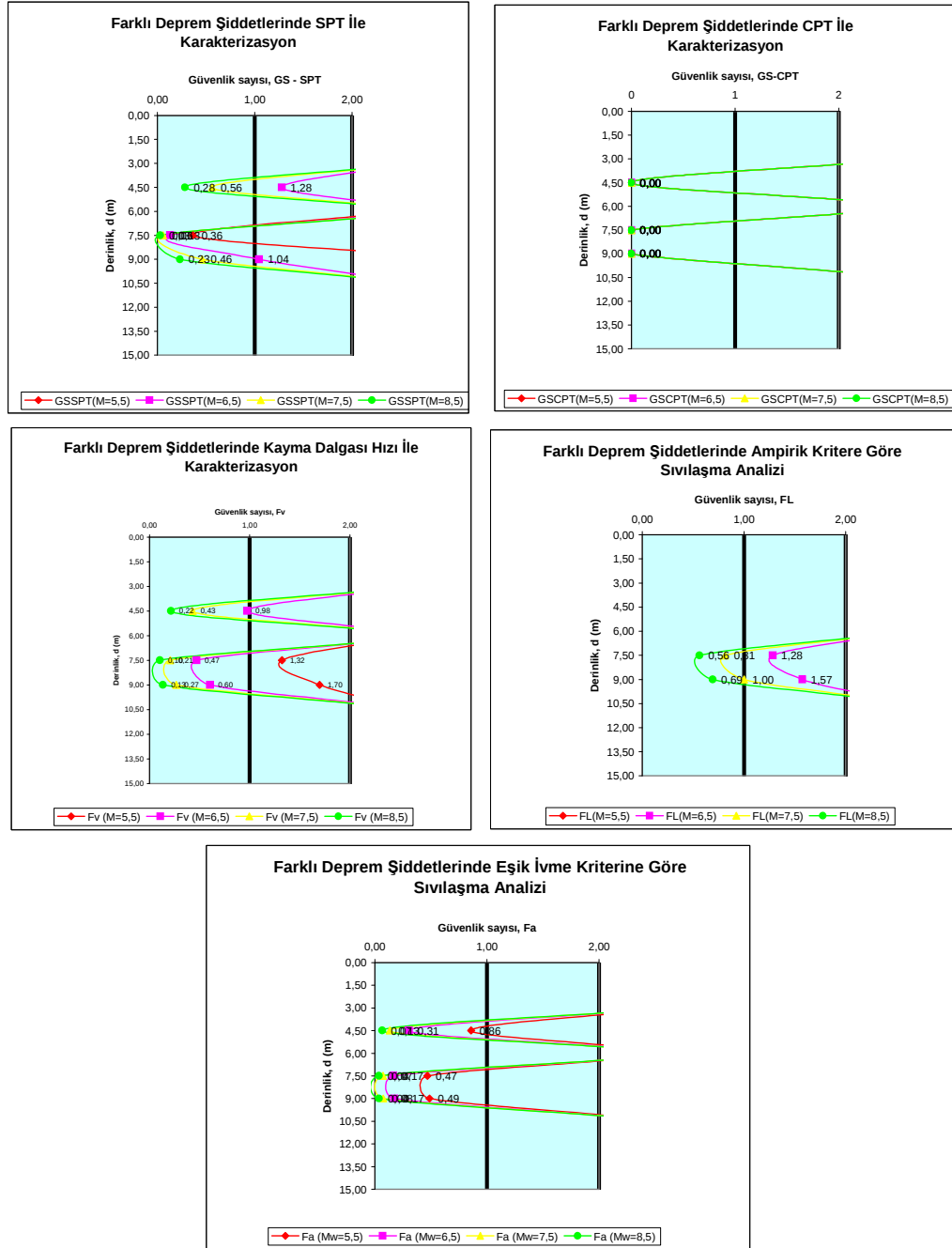
Şekil B.6: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve diğ. (1976)'nin V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



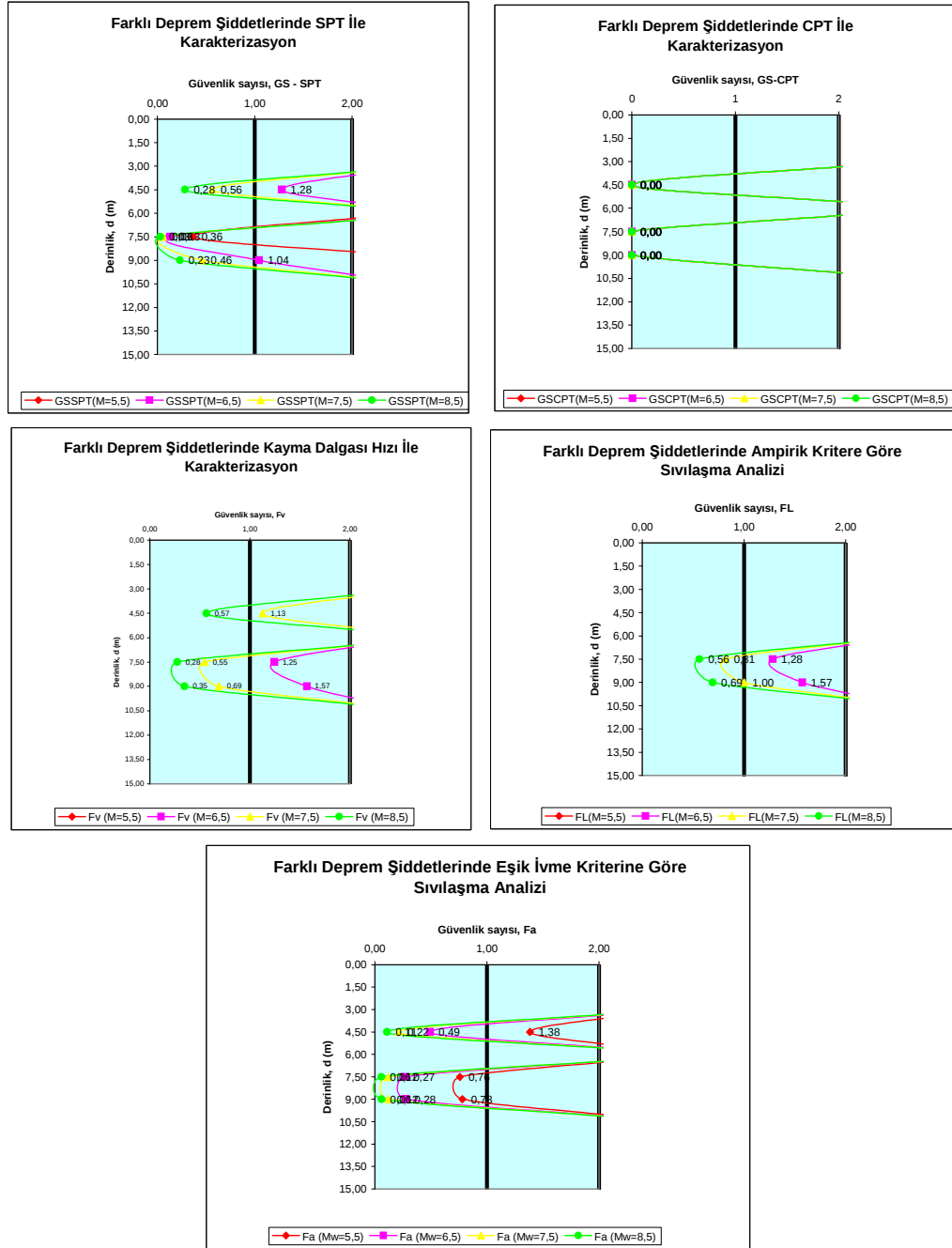
Şekil B.7: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai (1977)'nin halosen yaşlı kum zeminler için V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



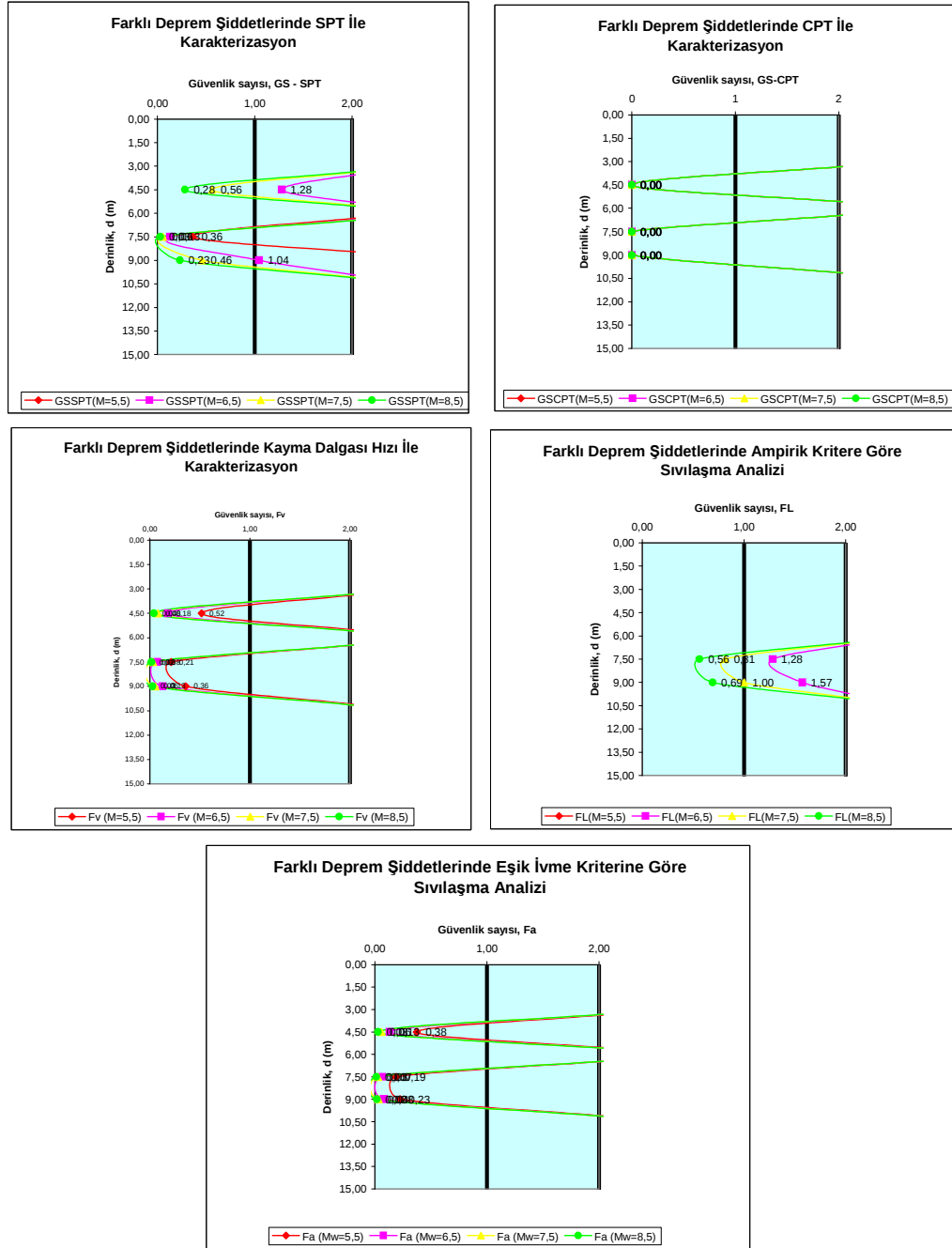
Şekil B.8: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Ohta ve Goto (1978)'nın orta kumlar için V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



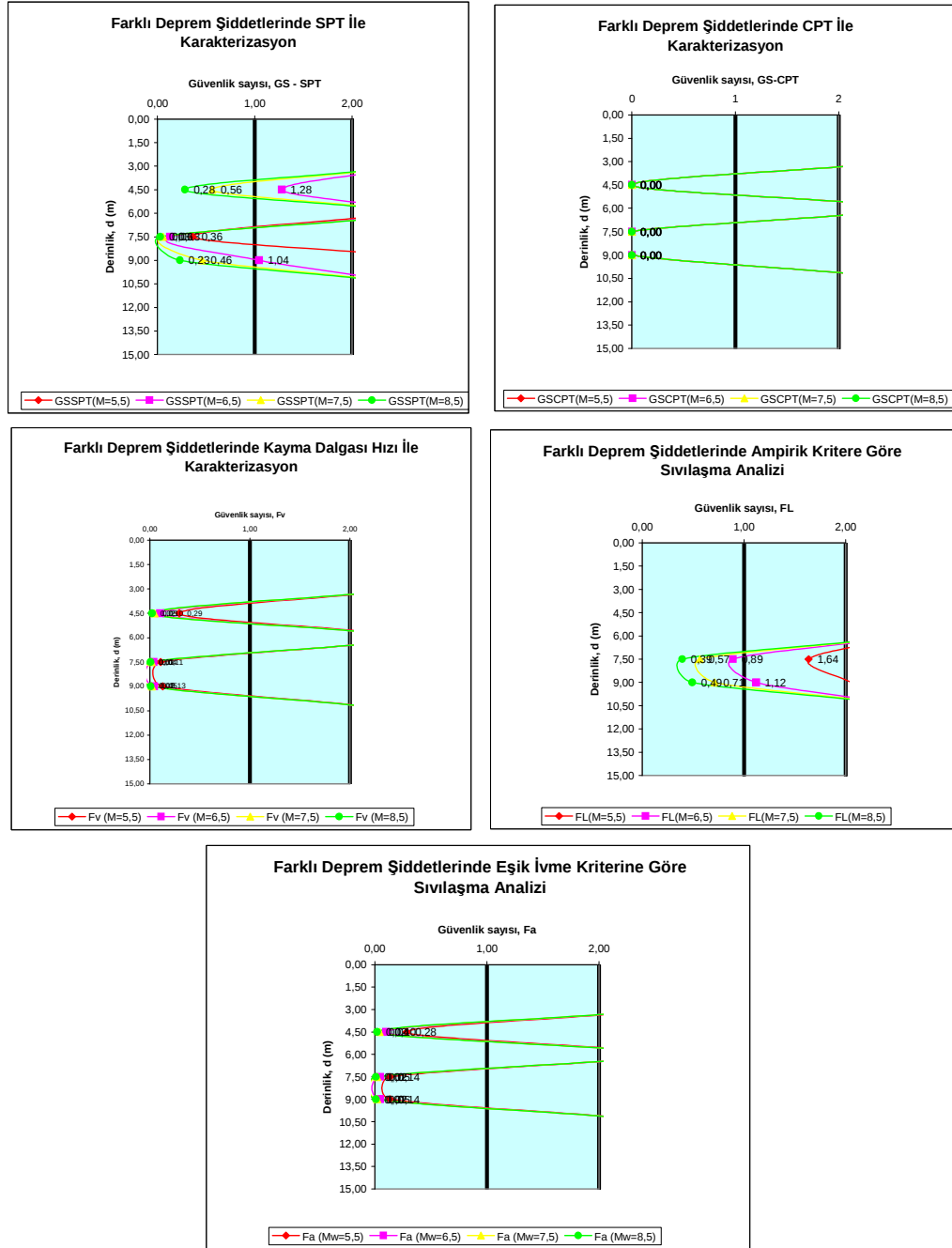
Şekil B.9: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Tonouchi (1982)'nin V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



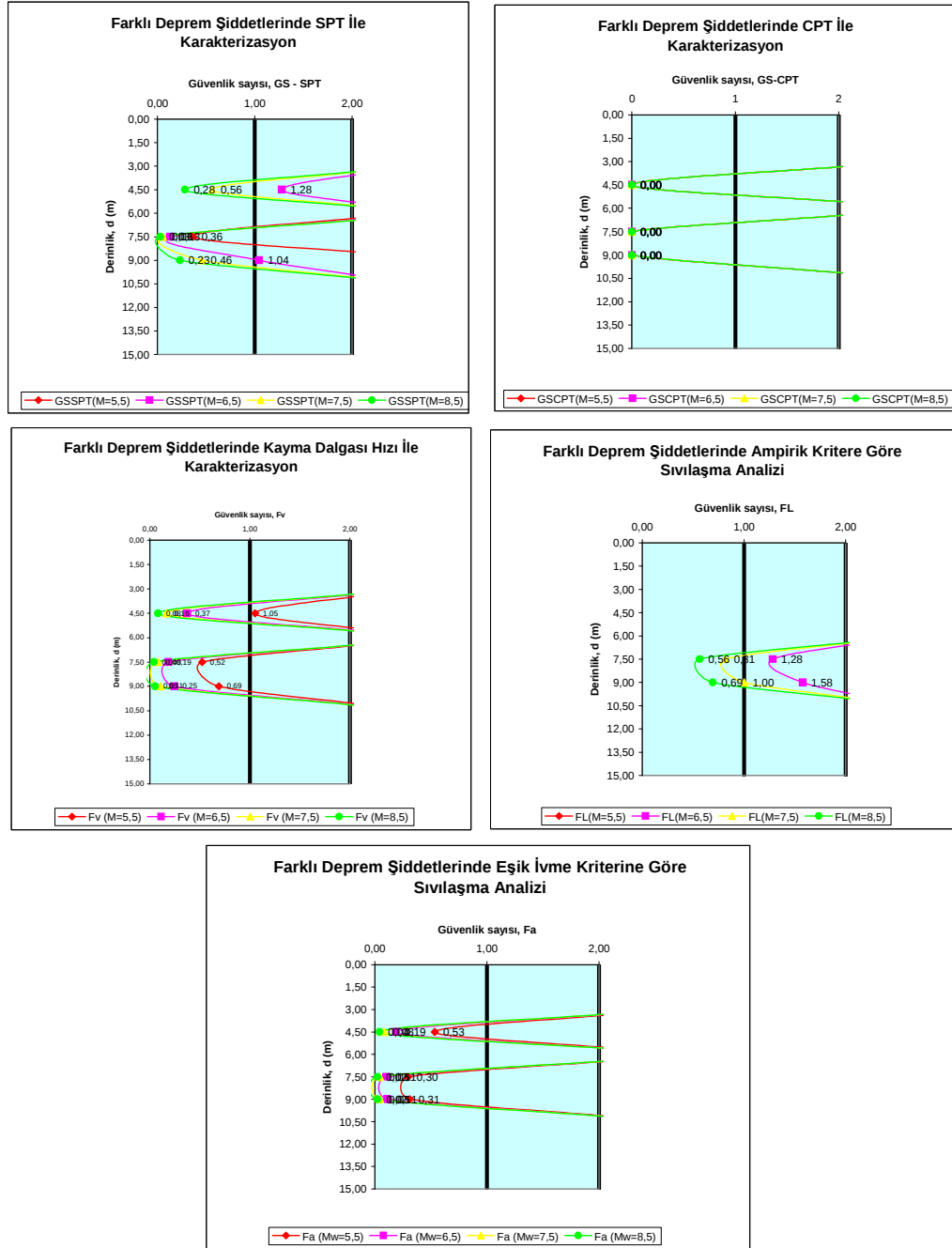
Şekil B.10: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Okamoto ve diğ. (1989)'nın kum zeminler için V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



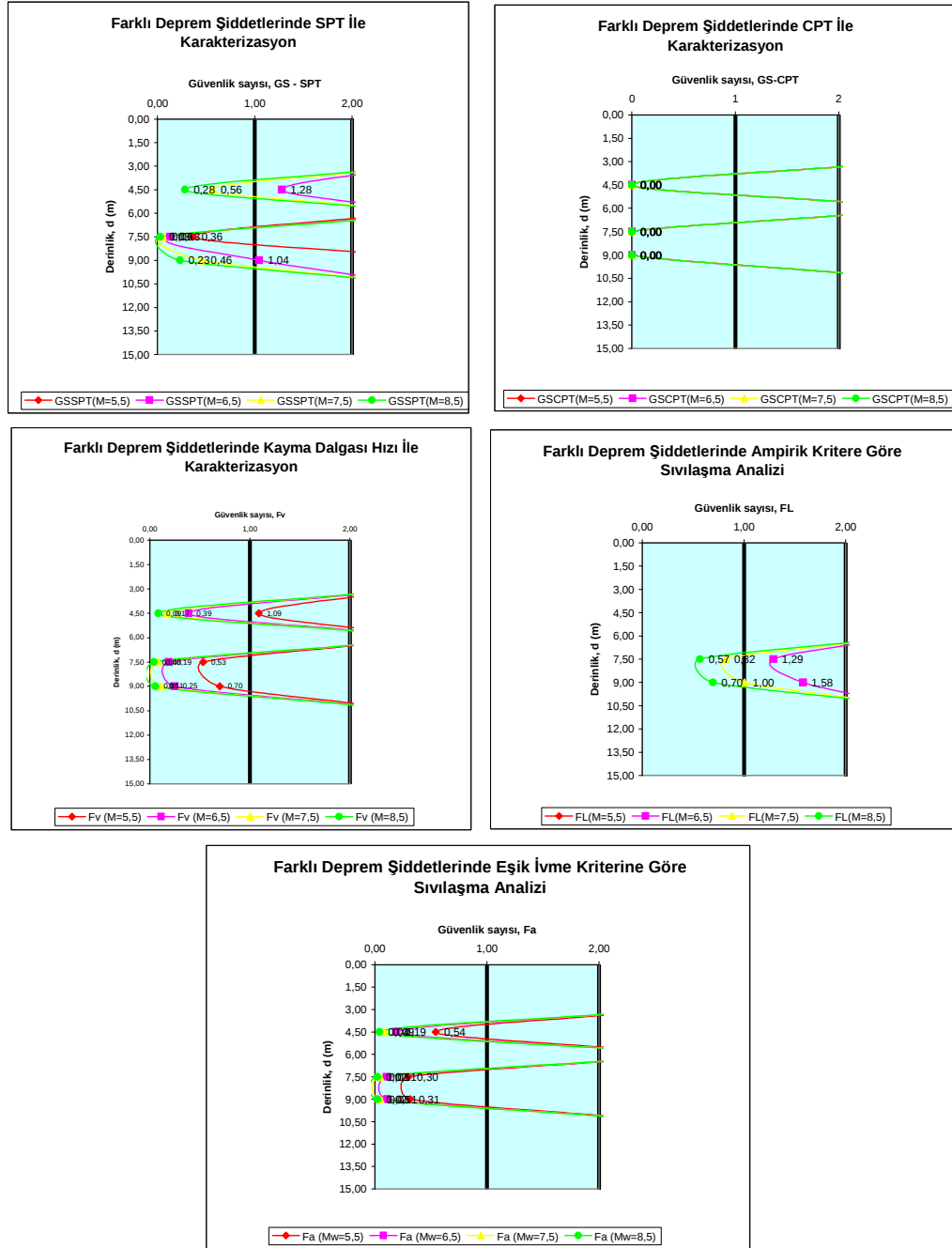
Şekil B.11: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, İyisan (1996)'nın V_s tüm zeminler için korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



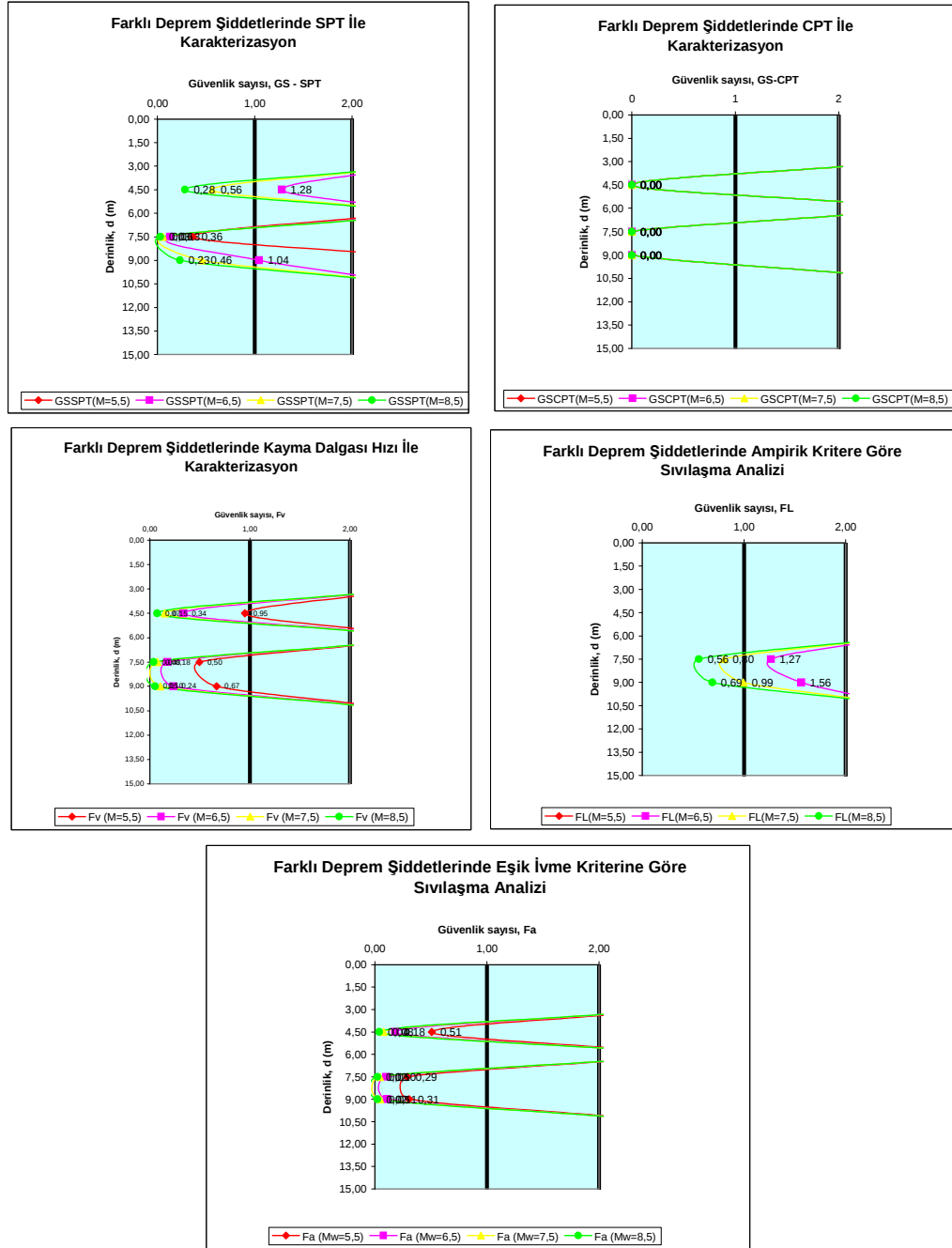
Şekil B.15: ABBHHYY, 1. Çın Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Jamuolkowski ve diğ. (1985)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



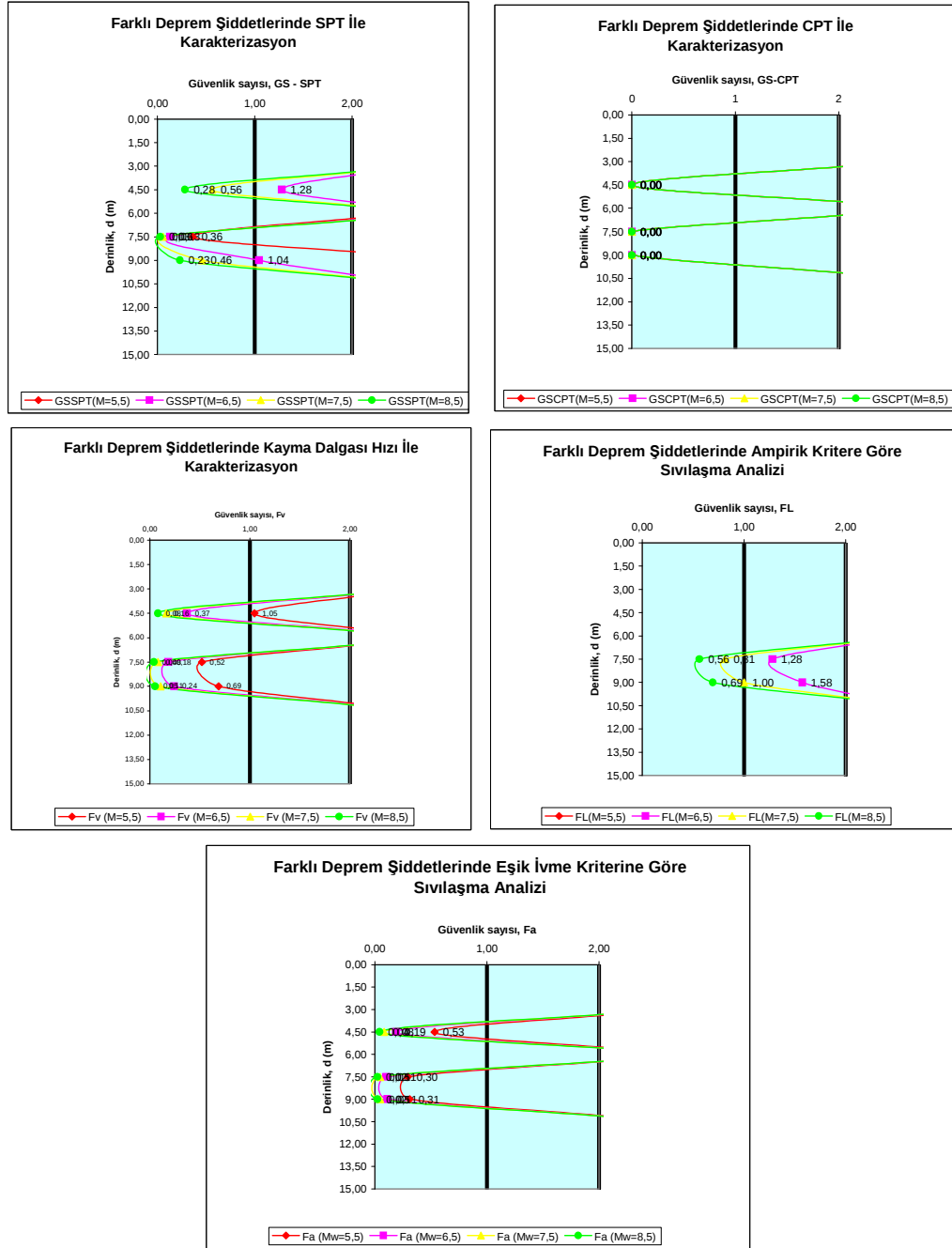
Şekil B.16: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Kayen ve diğ. (1992)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



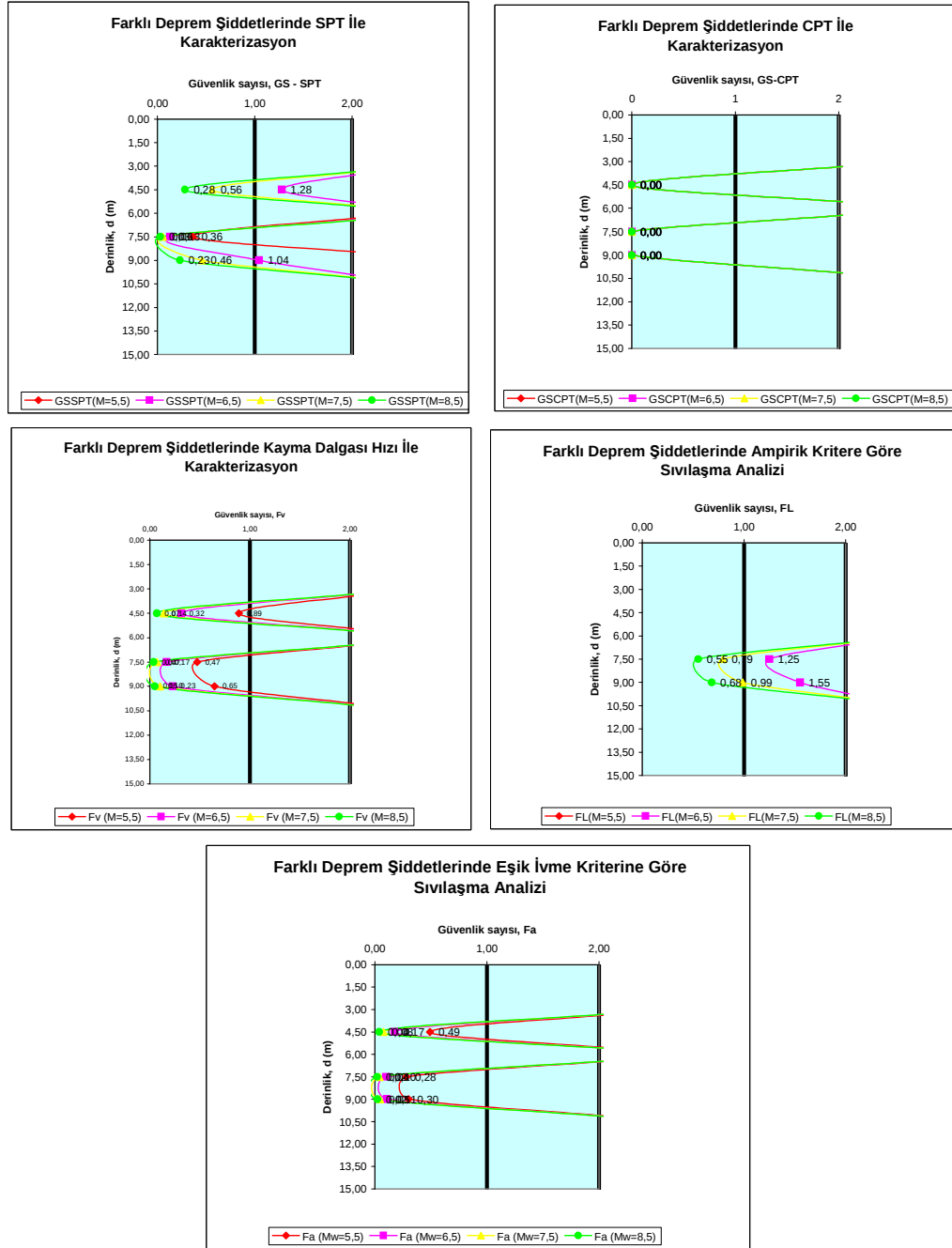
Şekil B.17: ABBHHYY, 1. Çın Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelayonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Tokimatsu ve Yoshimi (1983)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



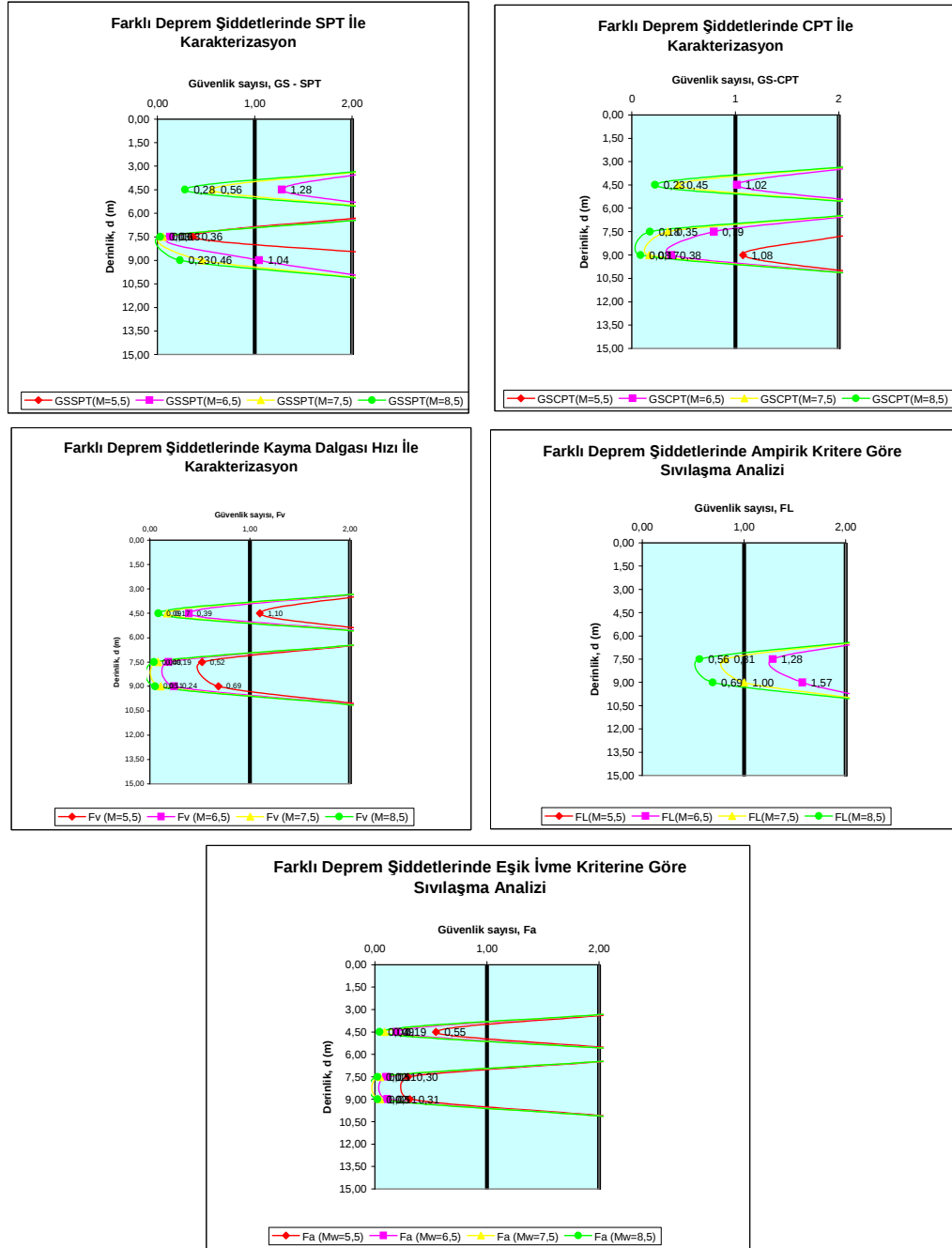
Şekil B.18: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Seed ve Idriss (1982)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



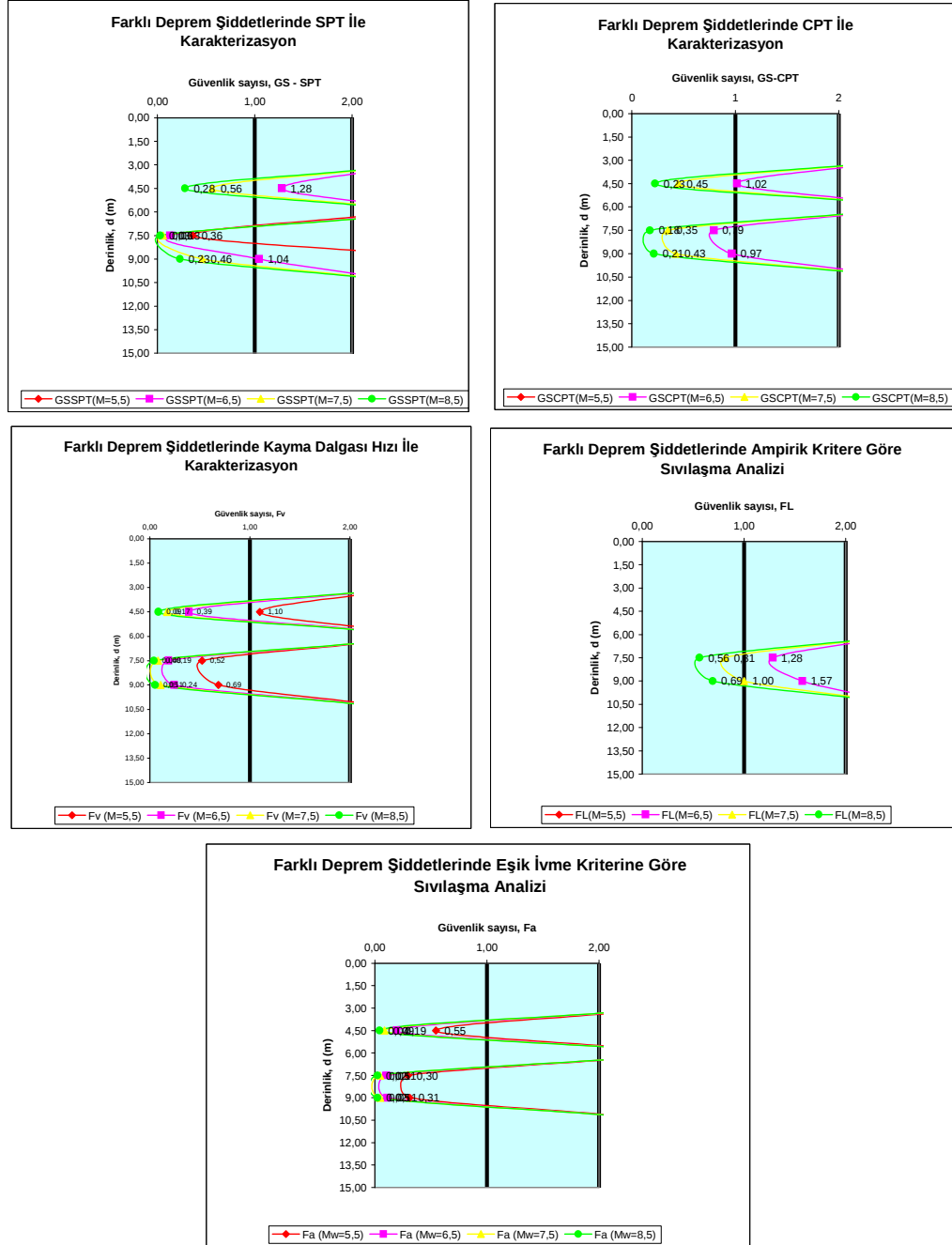
Şekil B.19: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelayonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Seed (1976)'ın C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



Şekil B.20: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelayonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Peck ve diğ. (1974)'in C_N korelasyonu kullanılarak CPT-1 data sonuçları ile hesap



Şekil B21: ABBHHYY, 1. Çın Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu, Robertson (1983)'ün elektrik uç ve kil-silt-kum karışımı korelasyonu kullanılarak hesap



Şekil B.22: ABBHHYY, 1. Çin Kriteri, Imai ve Yoshimura (1970)'nın V_s korelasyonu, Gibz ve Holtz (1957)'un D_r korelasyonu, Liao ve Whitman (1986)'ın C_N korelasyonu, Robertson (1983)'ün mekanik uç ve kil-silt-kum karışımı korelasyonu kullanılarak hesap

EK-C

Hazırlanan Programın Hesap Adımları

KOHEZYONLU TABAKALAR İÇİN ANALİZ: (1. ADIM)

Derinlik, d (m)	w _n	w _L	I _L	I _p	q _u (kPa)	N _{ar}	S _t	f ₂	f ₃	SONUÇ
3,00	0,19	0,28	0,16	0,4375	235,45	7	-	-	-	A.Y.
4,50	-	-	-	-	95,53656	2	-	-	-	Yetersiz veri
6,00	-	-	-	-	157,3661	4	-	-	-	Yetersiz veri
7,50	-	-	-	-	95,53656	2	-	-	-	Yetersiz veri
9,00	-	-	-	-	127,925	3	-	-	-	Yetersiz veri
10,50	-	-	-	-	184,7934	5	-	-	-	Yetersiz veri
12,00	-	-	-	-	210,7157	6	-	-	-	A.Y.
13,50	0,39	0,43	0,25	0,84	127,92	3	-	-	-	A.Y.
15,00	-	-	-	-	210,7157	6	-	-	-	A.Y.
16,50	-	-	-	-	536,9976	29	-	-	-	A.Y.
18,00	-	-	-	-	446,0168	19	-	-	-	A.Y.
19,50	-	-	-	-	545,7571	30	-	-	-	A.Y.
21,00	-	-	-	-	326,0099	11	-	-	-	A.Y.
22,50	-	-	-	-	210,7157	6	-	-	-	A.Y.
24,00	-	-	-	-	259,2106	8	-	-	-	A.Y.
25,50	-	-	-	-	426,9671	17	-	-	-	A.Y.
27,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
28,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
30,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
31,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
33,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
34,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
36,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
37,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
39,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
40,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
42,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
43,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
45,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
46,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
48,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
49,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri
51,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yetersiz veri

EŞİK İVME KRİTERİ: (2. ADIM)

GS= 1	
Mw= 7,5	
amaks (g)= 0,4	
ER (%) = 0,6	
dw (m) (SK -1) = 1,4	

Mw	amaks
5,5	0,2
6,5	0,3
7,5	0,4
8,5	0,5

Derinlik, d (m)	r _d	N _{ar}	N ₆₀	σ _{vo} ' (kPa)	(N ₁) ₆₀	V _s (m/s)	a/g	F _a	SONUÇ	F _a (M _w =5,5)	F _a (M _w =6,5)	F _a (M _w =7,5)	F _a (M _w =8,5)
1,50	0,99	6	6	24,50	12	173,14	0,25	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
3,00	0,98	7	7	35,00	12	171,76	0,13	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
4,50	0,97	2	2	45,50	3	108,79	0,03	Risk yok	Risk yok	0,55	0,19	0,09	0,04
6,00	0,95	4	4	56,00	5	132,14	0,04	Risk yok	Risk yok	0,61	0,22	0,10	0,05
7,50	0,94	2	2	66,50	2	102,19	0,02	Risk yok	Risk yok	0,30	0,11	0,05	0,02
9,00	0,93	3	3	77,00	3	114,02	0,02	Risk yok	Risk yok	0,31	0,11	0,05	0,02
10,50	0,89	5	5	87,50	0	0,00	0,02	Risk yok	Risk yok	0,37	0,13	0,06	0,03
12,00	0,85	6	6	98,00	6	137,74	0,02	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
13,50	0,81	3	3	108,50	3	107,75	0,01	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
15,00	0,77	6	6	119,00	6	133,39	0,02	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
16,50	0,73	29	22	129,50	19	201,97	0,04	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
18,00	0,69	19	17	140,00	14	183,13	0,03	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
19,50	0,65	30	23	150,50	18	198,49	0,04	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
21,00	0,61	11	11	161,00	9	155,01	0,02	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
22,50	0,57	6	6	171,50	5	0,00	0,02	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
24,00	0,55	8	8	182,00	6	136,75	0,02	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
25,50	0,53	17	16	192,50	12	170,31	0,03	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
27,00	0,52	-	-	203,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
28,50	0,51	-	-	213,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
30,00	0,50	-	-	224,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
31,50	0,50	-	-	234,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
33,00	0,50	-	-	245,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
34,50	0,50	-	-	255,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
36,00	0,50	-	-	266,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
37,50	0,99	6	6	24,50	12	173,14	0,25	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.	A.Y.
39,00	0,50	-	-	287,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
40,50	0,50	-	-	297,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
42,00	0,50	-	-	308,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
43,50	0,50	-	-	318,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
45,00	0,50	-	-	329,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
46,50	0,50	-	-	339,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
48,00	0,50	-	-	350,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
49,50	0,50	-	5	360,50	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri
51,00	0,50	-	-	371,00	-	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri	Yetersiz veri

SPT İLE SIVILAŞMA ANALİZİ: (3. ADIM)

GS= 1,00
M₆₀= 7,5
a_{max} (g)= 0,4

Derinlik, d (m)	(N ₁) ₆₀ * C _e	İnce Malzeme Miktarı(%)	(N ₁) _{60cs}	σ _{vo} (kg/cm ²)	σ _{vo} ' (kg/cm ²)	CRR 1. adım	CRR	r _d	CSR	GS _{SPT}	SONUÇ
1,50	12	46	19	0,26	0,25	0,25	A.Y.	0,989	0,27	A.Y.	A.Y.
3,00	12	47	19	0,51	0,35	0,27	A.Y.	0,977	0,37	A.Y.	A.Y.
4,50	3	45	10	0,77	0,46	0,24	0,24	0,966	0,42	0,56	Risk var
6,00	5	42	12	1,02	0,56	0,18	0,18	0,954	0,45	0,40	Risk var
7,50	2	38	9	1,28	0,67	0,03	0,03	0,943	0,47	0,06	Risk var
9,00	3	44	10	1,53	0,77	0,22	0,22	0,931	0,48	0,46	Risk var
10,50	5	38	12	1,79	0,88	0,03	0,03	0,894	0,47	0,06	Risk var
12,00	6	80	13	2,04	0,98	0,57	A.Y.	0,854	0,46	A.Y.	A.Y.
13,50	3	84	10	2,30	1,09	0,60	A.Y.	0,814	0,45	A.Y.	A.Y.
15,00	6	85	13	2,55	1,19	0,61	A.Y.	0,774	0,43	A.Y.	A.Y.
16,50	19	85	26	2,81	1,30	0,61	A.Y.	0,733	0,41	A.Y.	A.Y.
18,00	14	85	21	3,06	1,40	0,61	A.Y.	0,693	0,39	A.Y.	A.Y.
19,50	18	85	25	3,32	1,51	0,61	A.Y.	0,653	0,37	A.Y.	A.Y.
21,00	9	85	16	3,57	1,61	0,61	A.Y.	0,613	0,35	A.Y.	A.Y.
22,50	5	85	12	3,83	1,72	0,61	A.Y.	0,573	0,33	A.Y.	A.Y.
24,00	6	85	13	4,08	1,82	0,61	A.Y.	0,547	0,32	A.Y.	A.Y.
25,50	12	85	19	4,34	1,93	0,61	A.Y.	0,535	0,31	A.Y.	A.Y.
27,00	-	-	-	4,59	2,03	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,523	0,31	Yetersiz veri	Yetersiz veri
28,50	-	-	-	4,85	2,14	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,510	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
30,00	-	-	-	5,10	2,24	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,498	0,29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
31,50	-	-	-	5,36	2,35	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
33,00	-	-	-	5,61	2,45	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
34,50	-	-	-	5,87	2,56	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
36,00	-	-	-	6,12	2,66	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
37,50	-	-	-	6,38	2,77	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
39,00	-	-	-	6,63	2,87	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
40,50	-	-	-	6,89	2,98	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
42,00	-	-	-	7,14	3,08	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
43,50	-	-	-	7,40	3,19	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
45,00	-	-	-	7,65	3,29	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
46,50	-	-	-	7,91	3,40	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
48,00	-	-	-	8,16	3,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
49,50	-	-	-	8,42	3,61	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
51,00	-	-	-	8,67	3,71	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri

CPT İLE SIVILAŞMA ANALİZİ: (4. ADIM)

GS= 1,25
M _{wp} = 7,5
(CPT -I) = 1,7
a _{max} (0)= 0,4

Derinlik, d (m)	Y _n (kN/m ³)	σ _{vo} (kg/cm ²)	σ _{vo} ' (kg/cm ²)	C _o	Ince Malzeme Miktar(%)	D ₅₀ (mm)	q _c (Mpa)	q _{cΔ} (kg/cm2)	CRR 1. adım	CRR	τ _d	CSR	Güvenlik Sayısı, GS	SONUÇ
1.50	17.00	0.26	0.26	1.98	46.00	-	1.85	36.64	0.24	A.Y.	0.989	0.26	A.Y.	A.Y.
3.00	17.00	0.51	0.38	1.62	47.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.977	0.34	A.Y.	A.Y.
4.50	17.00	0.77	0.49	1.44	45.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.966	0.40	0.000	Risk var
6.00	17.00	1.02	0.59	1.30	42.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.954	0.43	0.000	Risk var
7.50	17.00	1.28	0.70	1.20	38.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.943	0.45	0.000	Risk var
9.00	17.00	1.53	0.80	1.12	44.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.931	0.46	0.000	Risk var
10.50	17.00	1.79	0.91	1.05	38.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.894	0.46	0.000	Risk var
12.00	17.00	2.04	1.01	1.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.854	0.45	A.Y.	A.Y.
13.50	17.00	2.30	1.12	0.95	84.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.814	0.44	A.Y.	A.Y.
15.00	17.00	2.55	1.22	0.91	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.774	0.42	A.Y.	A.Y.
16.50	17.00	2.81	1.33	0.87	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.733	0.40	A.Y.	A.Y.
18.00	17.00	3.06	1.43	0.84	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.693	0.39	A.Y.	A.Y.
19.50	17.00	3.32	1.54	0.81	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.653	0.37	A.Y.	A.Y.
21.00	17.00	3.57	1.64	0.78	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.613	0.35	A.Y.	A.Y.
22.50	17.00	3.83	1.75	0.76	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.573	0.33	A.Y.	A.Y.
24.00	17.00	4.08	1.85	0.74	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.547	0.31	A.Y.	A.Y.
25.50	17.00	4.34	1.96	0.72	85.00	-	0.00	0.00	0.00	A.Y.	0.535	0.31	A.Y.	A.Y.
27.00	17.00	4.59	2.06	0.70	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.523	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
28.50	17.00	4.85	2.17	0.68	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.510	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
30.00	17.00	5.10	2.27	0.66	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.498	0.29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
31.50	17.00	5.36	2.38	0.65	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
33.00	17.00	5.61	2.48	0.64	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
34.50	17.00	5.87	2.59	0.62	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
36.00	17.00	6.12	2.69	0.61	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
37.50	17.00	6.38	2.80	0.60	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
39.00	17.00	6.63	2.90	0.59	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
40.50	17.00	6.89	3.01	0.58	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
42.00	17.00	7.14	3.11	0.57	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
43.50	17.00	7.40	3.22	0.56	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
45.00	17.00	7.65	3.32	0.55	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
46.50	17.00	7.91	3.43	0.54	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
48.00	17.00	8.16	3.53	0.53	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
49.50	17.00	8.42	3.64	0.52	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
51.00	17.00	8.67	3.74	0.52	-	-	0.00	0.00	0.00	featsiz vei. Yetersiz veri	0.500	0.30	Yetersiz veri	Yetersiz veri

KAYMA HIZI DALGASI (V_s) İLE SIVILAŞMA ANALİZİ: (5. ADIM)

$$d_w(m) \text{ (SPT -1)} = 1,4$$

$$a_{max}(g) = 0,4$$

$$GS = 1,00$$

$$M_w = 7,5$$

Derinlik, d (m)	$Y_n(kN/m^3)$	$\sigma_{v0}(kg/cm^2)$	$\sigma_{v0}'(kg/cm^2)$	$(N_1)_{60}$	V_s (m/s)	V_{s1} (m/s)	İnce Malzeme Miktar(%)	CRR	r_d	CSR	Güvenlik Sayısı, F_v	SONUÇ
1.50	17,00	0,26	0,25	12	173,14	246,09	46,00	A.Y.	0,989	0,27	A.Y.	A.Y.
3,00	17,00	0,51	0,35	12	171,76	223,31	47,00	A.Y.	0,977	0,37	A.Y.	A.Y.
4,50	17,00	0,77	0,46	3	108,79	132,46	45,00	0,07	0,966	0,42	0,172	Risk var
6,00	17,00	1,02	0,56	5	132,14	152,75	42,00	0,13	0,954	0,45	0,286	Risk var
7,50	17,00	1,28	0,67	2	102,19	113,16	38,00	0,04	0,943	0,47	0,082	Risk var
9,00	17,00	1,53	0,77	3	114,02	121,72	44,00	0,05	0,931	0,48	0,107	Risk var
10,50	17,00	1,79	0,88	5	132,14	136,63	38,00	0,08	0,894	0,47	0,174	Risk var
12,00	17,00	2,04	0,98	6	137,74	138,43	80,00	A.Y.	0,854	0,46	A.Y.	A.Y.
13,50	17,00	2,30	1,09	3	107,75	105,57	84,00	A.Y.	0,814	0,45	A.Y.	A.Y.
15,00	17,00	2,55	1,19	6	133,39	127,72	85,00	A.Y.	0,774	0,43	A.Y.	A.Y.
16,50	17,00	2,81	1,30	19	201,97	189,33	85,00	A.Y.	0,733	0,41	A.Y.	A.Y.
18,00	17,00	3,06	1,40	14	183,13	168,35	85,00	A.Y.	0,693	0,39	A.Y.	A.Y.
19,50	17,00	3,32	1,51	18	198,49	179,21	85,00	A.Y.	0,653	0,37	A.Y.	A.Y.
21,00	17,00	3,57	1,61	9	155,01	137,61	85,00	A.Y.	0,613	0,35	A.Y.	A.Y.
22,50	17,00	3,83	1,72	5	125,59	109,74	85,00	A.Y.	0,573	0,33	A.Y.	A.Y.
24,00	17,00	4,08	1,82	6	136,75	117,73	85,00	A.Y.	0,547	0,32	A.Y.	A.Y.
25,50	17,00	4,34	1,93	12	170,31	144,59	85,00	A.Y.	0,535	0,31	A.Y.	A.Y.
27,00	17,00	4,59	2,03	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,523	0,31	Yetersiz veri	Yetersiz veri
28,50	17,00	4,85	2,14	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,510	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
30,00	17,00	5,10	2,24	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,498	0,29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
31,50	17,00	5,36	2,35	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
33,00	17,00	5,61	2,45	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
34,50	17,00	5,87	2,56	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
36,00	17,00	6,12	2,66	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
37,50	17,00	6,38	2,77	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
39,00	17,00	6,63	2,87	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
40,50	17,00	6,89	2,98	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
42,00	17,00	7,14	3,08	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
43,50	17,00	7,40	3,19	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
45,00	17,00	7,65	3,29	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
46,50	17,00	7,91	3,40	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
48,00	17,00	8,16	3,50	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
49,50	17,00	8,42	3,61	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
51,00	17,00	8,67	3,71	-	-	-	-	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri

AMPIRİK KRİTER (IWASAKI, 1984): (6. ADIM)

GS= 1,00
M ₆₀ = 7,5
(SPT -1) = 1,4
a _{max} (g)= 0,4

Derinlik, d (m)	Y _n (kN/m ³)	σ _{vo} (kg/cm ²)	σ _{vo} ' (kg/cm ²)	(N ₁) ₆₀	D ₅₀ (mm)	B	R	r _d	L	F _L	SONUÇ
1,50	17,00	0,26	0,25	12	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,989	0,27	A.Y.	A.Y.
3,00	17,00	0,51	0,35	12	0,00	A.Y.	A.Y.	0,977	0,37	A.Y.	A.Y.
4,50	17,00	0,77	0,46	3	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,966	0,42	Yetersiz veri	Yetersiz veri
6,00	17,00	1,02	0,56	5	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,954	0,45	Yetersiz veri	Yetersiz veri
7,50	17,00	1,28	0,67	2	0,20	0,05	0,17	0,943	0,47	0,37	Risk var
9,00	17,00	1,53	0,77	3	0,15	0,08	0,22	0,931	0,48	0,45	Risk var
10,50	17,00	1,79	0,88	5	0,18	0,06	0,23	0,894	0,47	0,48	Risk var
12,00	17,00	2,04	0,98	6	0,00	A.Y.	A.Y.	0,854	0,46	A.Y.	A.Y.
13,50	17,00	2,30	1,09	3	0,00	A.Y.	A.Y.	0,814	0,45	A.Y.	A.Y.
15,00	17,00	2,55	1,19	6	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,774	0,43	A.Y.	A.Y.
16,50	17,00	2,81	1,30	19	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,733	0,41	A.Y.	A.Y.
18,00	17,00	3,06	1,40	14	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,693	0,39	A.Y.	A.Y.
19,50	17,00	3,32	1,51	18	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,653	0,37	A.Y.	A.Y.
21,00	17,00	3,57	1,61	9	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,613	0,35	A.Y.	A.Y.
22,50	17,00	3,83	1,72	5	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,573	0,33	A.Y.	A.Y.
24,00	17,00	4,08	1,82	6	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,547	0,32	A.Y.	A.Y.
25,50	17,00	4,34	1,93	12	-	Yetersiz veri	A.Y.	0,535	0,31	A.Y.	A.Y.
27,00	17,00	4,59	2,03	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,523	0,31	Yetersiz veri	Yetersiz veri
28,50	17,00	4,85	2,14	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,510	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
30,00	17,00	5,10	2,24	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,498	0,29	Yetersiz veri	Yetersiz veri
31,50	17,00	5,36	2,35	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
33,00	17,00	5,61	2,45	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
34,50	17,00	5,87	2,56	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
36,00	17,00	6,12	2,66	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
37,50	17,00	6,38	2,77	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
39,00	17,00	6,63	2,87	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
40,50	17,00	6,89	2,98	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
42,00	17,00	7,14	3,08	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
43,50	17,00	7,40	3,19	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
45,00	17,00	7,65	3,29	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
46,50	17,00	7,91	3,40	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
48,00	17,00	8,16	3,50	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
49,50	17,00	8,42	3,61	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri
51,00	17,00	8,67	3,71	-	-	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,500	0,30	Yetersiz veri	Yetersiz veri

SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDİSİ HESAPLAMASI: (7. ADIM)

SPT (GS)						
Derinlik, d (m)	GS _{SPT}	f	W	h	I _L	Risk Seviyesi
1,50	A.Y.	A.Y.	9,25	1,50	A.Y.	A.Y.
3,00	A.Y.	A.Y.	8,50	3,00	A.Y.	A.Y.
4,50	0,56	0,437	7,75	4,50	15,24	Yüksek
6,00	0,40	0,599	7,00	6,00	25,14	Çok yüksek
7,50	0,06	0,943	6,25	7,50	44,21	Çok yüksek
9,00	0,46	0,540	5,50	9,00	26,75	Çok yüksek
10,50	0,06	0,944	4,75	10,50	47,06	Çok yüksek
12,00	A.Y.	A.Y.	4,00	12,00	A.Y.	A.Y.
13,50	A.Y.	A.Y.	3,25	13,50	A.Y.	A.Y.
15,00	A.Y.	A.Y.	2,50	15,00	A.Y.	A.Y.
16,50	A.Y.	A.Y.	1,75	16,50	A.Y.	A.Y.
18,00	A.Y.	A.Y.	1,00	18,00	A.Y.	A.Y.
19,50	A.Y.	A.Y.	0,25	19,50	A.Y.	A.Y.
21,00	A.Y.	A.Y.	0,00	21,00	A.Y.	Risk yok
22,50	A.Y.	A.Y.	0,00	22,50	A.Y.	Risk yok
24,00	A.Y.	A.Y.	0,00	24,00	A.Y.	Risk yok
25,50	A.Y.	A.Y.	0,00	25,50	A.Y.	Risk yok
27,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	27,00	Yetersiz veri	Risk yok
28,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	28,50	Yetersiz veri	Risk yok
30,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	30,00	Yetersiz veri	Risk yok
31,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	31,50	Yetersiz veri	Risk yok
33,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	33,00	Yetersiz veri	Risk yok
34,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	34,50	Yetersiz veri	Risk yok
36,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	36,00	Yetersiz veri	Risk yok
37,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	37,50	Yetersiz veri	Risk yok
39,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	39,00	Yetersiz veri	Risk yok
40,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	40,50	Yetersiz veri	Risk yok
42,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	42,00	Yetersiz veri	Risk yok
43,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	43,50	Yetersiz veri	Risk yok
45,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	45,00	Yetersiz veri	Risk yok
46,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	46,50	Yetersiz veri	Risk yok
48,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	48,00	Yetersiz veri	Risk yok
49,50	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	49,50	Yetersiz veri	Risk yok
51,00	Yetersiz veri	Yetersiz ver	0,00	51,00	Yetersiz veri	Risk yok

SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDİSİ HESAPLAMASI: (7. ADIM)

CPT (GS)						
Derinlik, d (m)	GS _{CPT}	f	W	h	I _L	Risk Seviyesi
1,50	A.Y.	A.Y.	9,25	1,50	A.Y.	A.Y.
3,00	A.Y.	A.Y.	8,50	3,00	A.Y.	A.Y.
4,50	0,00	1,000	7,75	4,50	34,875	Çok yüksek
6,00	0,00	1,000	7,00	6,00	42,000	Çok yüksek
7,50	0,00	1,000	6,25	7,50	46,875	Çok yüksek
9,00	0,00	1,000	5,50	9,00	49,500	Çok yüksek
10,50	0,00	1,000	4,75	10,50	49,875	Çok yüksek
12,00	A.Y.	A.Y.	4,00	12,00	A.Y.	A.Y.
13,50	A.Y.	A.Y.	3,25	13,50	A.Y.	A.Y.
15,00	A.Y.	A.Y.	2,50	15,00	A.Y.	A.Y.
16,50	A.Y.	A.Y.	1,75	16,50	A.Y.	A.Y.
18,00	A.Y.	A.Y.	1,00	18,00	A.Y.	A.Y.
19,50	A.Y.	A.Y.	0,25	19,50	A.Y.	A.Y.
21,00	A.Y.	A.Y.	0,00	21,00	A.Y.	Risk yok
22,50	A.Y.	A.Y.	0,00	22,50	A.Y.	Risk yok
24,00	A.Y.	A.Y.	0,00	24,00	A.Y.	Risk yok
25,50	A.Y.	A.Y.	0,00	25,50	A.Y.	Risk yok
27,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	27,00	Yetersiz veri	Risk yok
28,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	28,50	Yetersiz veri	Risk yok
30,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	30,00	Yetersiz veri	Risk yok
31,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	31,50	Yetersiz veri	Risk yok
33,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	33,00	Yetersiz veri	Risk yok
34,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	34,50	Yetersiz veri	Risk yok
36,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	36,00	Yetersiz veri	Risk yok
37,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	37,50	Yetersiz veri	Risk yok
39,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	39,00	Yetersiz veri	Risk yok
40,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	40,50	Yetersiz veri	Risk yok
42,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	42,00	Yetersiz veri	Risk yok
43,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	43,50	Yetersiz veri	Risk yok
45,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	45,00	Yetersiz veri	Risk yok
46,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	46,50	Yetersiz veri	Risk yok
48,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	48,00	Yetersiz veri	Risk yok
49,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	49,50	Yetersiz veri	Risk yok
51,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	51,00	Yetersiz veri	Risk yok

SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDİSİ HESAPLAMASI: (7. ADIM)

EŞİK İVME KRİTERİ (F_a)						
Derinlik, d (m)	F_a	f	W	h	I_L	Risk Seviyesi
1,50	A.Y.	A.Y.	9,25	1,50	A.Y.	A.Y.
3,00	A.Y.	A.Y.	8,50	3,00	A.Y.	A.Y.
4,50	0,09	0,915	7,75	4,50	31,896	Çok yüksek
6,00	0,10	0,904	7,00	6,00	37,982	Çok yüksek
7,50	0,05	0,954	6,25	7,50	44,703	Çok yüksek
9,00	0,05	0,951	5,50	9,00	47,091	Çok yüksek
10,50	0,06	0,942	4,75	10,50	46,964	Çok yüksek
12,00	A.Y.	A.Y.	4,00	12,00	A.Y.	A.Y.
13,50	A.Y.	A.Y.	3,25	13,50	A.Y.	A.Y.
15,00	A.Y.	A.Y.	2,50	15,00	A.Y.	A.Y.
16,50	A.Y.	A.Y.	1,75	16,50	A.Y.	A.Y.
18,00	A.Y.	A.Y.	1,00	18,00	A.Y.	A.Y.
19,50	A.Y.	A.Y.	0,25	19,50	A.Y.	A.Y.
21,00	A.Y.	A.Y.	0,00	21,00	A.Y.	Risk yok
22,50	A.Y.	A.Y.	0,00	22,50	A.Y.	Risk yok
24,00	A.Y.	A.Y.	0,00	24,00	A.Y.	Risk yok
25,50	A.Y.	A.Y.	0,00	25,50	A.Y.	Risk yok
27,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	27,00	Yetersiz veri	Risk yok
28,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	28,50	Yetersiz veri	Risk yok
30,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	30,00	Yetersiz veri	Risk yok
31,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	31,50	Yetersiz veri	Risk yok
33,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	33,00	Yetersiz veri	Risk yok
34,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	34,50	Yetersiz veri	Risk yok
36,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	36,00	Yetersiz veri	Risk yok
37,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	37,50	Yetersiz veri	Risk yok
39,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	39,00	Yetersiz veri	Risk yok
40,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	40,50	Yetersiz veri	Risk yok
42,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	42,00	Yetersiz veri	Risk yok
43,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	43,50	Yetersiz veri	Risk yok
45,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	45,00	Yetersiz veri	Risk yok
46,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	46,50	Yetersiz veri	Risk yok
48,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	48,00	Yetersiz veri	Risk yok
49,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	49,50	Yetersiz veri	Risk yok
51,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	51,00	Yetersiz veri	Risk yok

SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDİSİ HESAPLAMASI: (7. ADIM)

AMİRİK KRİTER (F_L)						
Derinlik, d (m)	F_L	f	W	h	I_L	Risk Seviyesi
1,50	A.Y.	A.Y.	9,25	1,50	A.Y.	A.Y.
3,00	A.Y.	A.Y.	8,50	3,00	A.Y.	A.Y.
4,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	7,75	4,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri
6,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	7,00	6,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri
7,50	0,37	0,632	6,25	7,50	29,626	Çok yüksek
9,00	0,45	0,548	5,50	9,00	27,140	Çok yüksek
10,50	0,48	0,520	4,75	10,50	25,941	Çok yüksek
12,00	A.Y.	A.Y.	4,00	12,00	A.Y.	A.Y.
13,50	A.Y.	A.Y.	3,25	13,50	A.Y.	A.Y.
15,00	A.Y.	A.Y.	2,50	15,00	A.Y.	A.Y.
16,50	A.Y.	A.Y.	1,75	16,50	A.Y.	A.Y.
18,00	A.Y.	A.Y.	1,00	18,00	A.Y.	A.Y.
19,50	A.Y.	A.Y.	0,25	19,50	A.Y.	A.Y.
21,00	A.Y.	A.Y.	0,00	21,00	A.Y.	Risk yok
22,50	A.Y.	A.Y.	0,00	22,50	A.Y.	Risk yok
24,00	A.Y.	A.Y.	0,00	24,00	A.Y.	Risk yok
25,50	A.Y.	A.Y.	0,00	25,50	A.Y.	Risk yok
27,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	27,00	Yetersiz veri	Risk yok
28,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	28,50	Yetersiz veri	Risk yok
30,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	30,00	Yetersiz veri	Risk yok
31,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	31,50	Yetersiz veri	Risk yok
33,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	33,00	Yetersiz veri	Risk yok
34,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	34,50	Yetersiz veri	Risk yok
36,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	36,00	Yetersiz veri	Risk yok
37,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	37,50	Yetersiz veri	Risk yok
39,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	39,00	Yetersiz veri	Risk yok
40,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	40,50	Yetersiz veri	Risk yok
42,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	42,00	Yetersiz veri	Risk yok
43,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	43,50	Yetersiz veri	Risk yok
45,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	45,00	Yetersiz veri	Risk yok
46,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	46,50	Yetersiz veri	Risk yok
48,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	48,00	Yetersiz veri	Risk yok
49,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	49,50	Yetersiz veri	Risk yok
51,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	51,00	Yetersiz veri	Risk yok

SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDİSİ HESAPLAMASI: (7. ADIM)

KAYMA DALGASI HIZI İLE SIVILAŞMA ANALİZİ (F _v)						
Derinlik, d (m)	F _v	f	W	h	I _L	Risk Seviyesi
1,50	A.Y.	A.Y.	9,25	1,50	A.Y.	A.Y.
3,00	A.Y.	A.Y.	8,50	3,00	A.Y.	A.Y.
4,50	0,17	0,828	7,75	4,50	28,872	Çok yüksek
6,00	0,29	0,714	7,00	6,00	29,983	Çok yüksek
7,50	0,08	0,918	6,25	7,50	43,040	Çok yüksek
9,00	0,11	0,893	5,50	9,00	44,188	Çok yüksek
10,50	0,17	0,826	4,75	10,50	41,210	Çok yüksek
12,00	A.Y.	A.Y.	4,00	12,00	A.Y.	A.Y.
13,50	A.Y.	A.Y.	3,25	13,50	A.Y.	A.Y.
15,00	A.Y.	A.Y.	2,50	15,00	A.Y.	A.Y.
16,50	A.Y.	A.Y.	1,75	16,50	A.Y.	A.Y.
18,00	A.Y.	A.Y.	1,00	18,00	A.Y.	A.Y.
19,50	A.Y.	A.Y.	0,25	19,50	A.Y.	A.Y.
21,00	A.Y.	A.Y.	0,00	21,00	A.Y.	Risk yok
22,50	A.Y.	A.Y.	0,00	22,50	A.Y.	Risk yok
24,00	A.Y.	A.Y.	0,00	24,00	A.Y.	Risk yok
25,50	A.Y.	A.Y.	0,00	25,50	A.Y.	Risk yok
27,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	27,00	Yetersiz veri	Risk yok
28,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	28,50	Yetersiz veri	Risk yok
30,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	30,00	Yetersiz veri	Risk yok
31,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	31,50	Yetersiz veri	Risk yok
33,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	33,00	Yetersiz veri	Risk yok
34,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	34,50	Yetersiz veri	Risk yok
36,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	36,00	Yetersiz veri	Risk yok
37,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	37,50	Yetersiz veri	Risk yok
39,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	39,00	Yetersiz veri	Risk yok
40,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	40,50	Yetersiz veri	Risk yok
42,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	42,00	Yetersiz veri	Risk yok
43,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	43,50	Yetersiz veri	Risk yok
45,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	45,00	Yetersiz veri	Risk yok
46,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	46,50	Yetersiz veri	Risk yok
48,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	48,00	Yetersiz veri	Risk yok
49,50	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	49,50	Yetersiz veri	Risk yok
51,00	Yetersiz veri	Yetersiz veri	0,00	51,00	Yetersiz veri	Risk yok

SIVILAŞABİLİR TABAKA KALINLIĞI: ($a_{maks}=0,4g$ için) (8. ADIM)

H1	H2	Risk Seviyesi
6	4,5	Yüksek

H_1 =Sivilaşma riski taşımayan tabaka kalınlığı

H_2 =Sivilaşma riski taşımayan tabakanın altındaki riskli tabakanın kalınlığı

Sivilaşma riski taşımayan tabaka kalınlığının (H_1) sıfır(0) olması durumu için risk seviyesi belirsizdir.

İZAFİ SIKILIK (D_r) KRİTERİ: (9. ADIM)

Dr			
Derinlik, d (m)	a_{maks}	D_r	Risk Seviyesi
1,50	0,40	0,38	A.Y.
3,00	0,40	0,38	A.Y.
4,50	0,40	0,19	Çok yüksek
6,00	0,40	0,25	Çok yüksek
7,50	0,40	0,17	Çok yüksek
9,00	0,40	0,19	Çok yüksek
10,50	0,40	0,24	Çok yüksek
12,00	0,40	0,26	A.Y.
13,50	0,40	0,18	A.Y.
15,00	0,40	0,25	A.Y.
16,50	0,40	0,48	A.Y.
18,00	0,40	0,41	A.Y.
19,50	0,40	0,47	A.Y.
21,00	0,40	0,33	A.Y.
22,50	0,40	0,24	A.Y.
24,00	0,40	0,27	A.Y.
25,50	0,40	0,38	A.Y.
27,00	0,40	-	Yetersiz veri
28,50	0,40	-	Yetersiz veri
30,00	0,40	-	Yetersiz veri
31,50	0,40	-	Yetersiz veri
33,00	0,40	-	Yetersiz veri
34,50	0,40	-	Yetersiz veri
36,00	0,40	-	Yetersiz veri
37,50	0,40	-	Yetersiz veri
39,00	0,40	-	Yetersiz veri
40,50	0,40	-	Yetersiz veri
42,00	0,40	-	Yetersiz veri
43,50	0,40	-	Yetersiz veri
45,00	0,40	-	Yetersiz veri
46,50	0,40	-	Yetersiz veri
48,00	0,40	-	Yetersiz veri
49,50	0,40	-	Yetersiz veri
51,00	0,40	-	Yetersiz veri

ÖZGEÇMİŞ

Candan Aydın, 1983 yılında Giresun’da doğmuştur. 1994 yılında Samsun Anadolu Lisesi’ne başlamıştır. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başlamış ve 2005 yılında tamamlayıp aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı’na girmeye hak kazanarak yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.