



**GÖLBAŞI (ADİYAMAN) ZEMİNLERİNİN CPT SONUÇLARI İLE
SIVILAŞMA ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ**

Halis Serkan TEZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Halis Serkan TEZER

12/06/2024

GÖLBAŞI (ADIYAMAN) ZEMİNLERİNİN CPT SONUÇLARI İLE SIVILAŞMA ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Halis Serkan TEZER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2024

ÖZET

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş Pazarcık ve Kahramanmaraş Ekinözü-Elbistan'da meydana gelen moment büyüklükleri 7.7 ve 7.6 olan depremler çok geniş bir alanda yıkıma sebep olmuştur. Bu depremler Doğu Anadolu Fayı'nın uzun zamandır deprem üretmemiş kesiminde meydana gelmiş, 300 km'ye varan bir hat boyunca yüzey kırıkları 8 m'ye ulaşan sol yanal ötelenme oluşturmuşlardır. Türkiye'de birçok tarihi yapı da dahil yıkılmış ya da kullanılamayacak derecede hasar almıştır. Kahramanmaraş merkezli depremlerden en çok etkilenen yerleşim yerlerinden biri olan Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde zemin sıvılaşması nedeniyle binalarda devrilme, yan yatma, taşıma gücü yenilmesi gibi hasarlar gözlenmiştir. Bu çalışmada Gölbaşı (Adıyaman) zeminlerinin sıvılaşma potansiyelleri yapılan 125 adet CPT verisi ile değerlendirilmiştir. CPT verilerinden NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)), Idriss ve Boulanger (2008), Boulanger ve Idriss (2014) ve Moss ve diğerleri (2006) yöntemlerine göre çevrimsel direnç oranı (CRR) belirlenerek sıvılaşma güvenlik katsayısı mukayeseleri yapılmıştır. Ayrıca Iwasaki ve diğerleri (1982) yöntemine göre sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ile Zhang, Robertson ve Brachman (2002) yöntemine göre serbest zemin oturma değerleri belirlenerek çalışma alanındaki dağılımlarına ait haritalar elde edilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda CPT verilerinden NCEER yöntemine elde edilen güvenlik katsayısının diğer yöntemlere göre daha yüksek değer verdiği belirlenmiştir. Boulanger ve Idriss (2014) yönteminden elde edilen güvenlik katsayısına göre hesaplanan LPI değerleri en yüksek değeri vermiştir. Serbest zemin oturumları için ise Moss ve diğerleri (2006)'nden elde edilen hacimsel birim deformasyon değerlerinin dolayısıyla serbest saha oturumlarının daha yüksek sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Tüm bu verilerin ışığında, Gölbaşı (Adıyaman) ilçe merkezinde zemin sıvılaşması kaynaklı LPI ve serbest saha oturma değerlerinin Gölbaşı gölüne yaklaştıkça arttığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Deprem, sıvılaşma, CPT, Gölbaşı, Adıyaman

Sayfa Adedi : 109

Danışman : Prof. Dr. Seyhan FIRAT

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION ANALYSIS OF GÖLBAŞI (ADIYAMAN)
SOILS WITH CPT RESULTS

(M. Sc. Thesis)

Halis Serkan TEZER

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2024

ABSTRACT

On February 6, 2023, earthquakes with moment magnitudes of 7.7 and 7.6 occurred in Kahramanmaraş Pazarcık and Kahramanmaraş Ekinözü-Elbistan, causing devastation over a very large area. These earthquakes occurred in the part of the Eastern Anatolian Fault that had not produced earthquakes for a long time, and surface fractures along a line of up to 300 km produced a left lateral displacement of up to 8 m. Many historical buildings in Turkey were destroyed or damaged to the extent that they could not be used. In Gölbaşı district of Adıyaman province, which is one of the most affected settlements by the Kahramanmaraş earthquakes, damages such as overturning, tilting and loss of bearing capacity were observed in buildings due to soil liquefaction. In this study, the liquefaction potential of Gölbaşı (Adıyaman) soils was evaluated with 125 CPT data. Cyclic resistance ratio (CRR) was determined from CPT data according to NCEER (Robertson and Wride (1998) and Robertson (2009)), Idriss and Boulanger (2008), Boulanger and Idriss (2014) and Moss et al. (2006). In addition, liquefaction potential index (LPI) according to Iwasaki et al. (1982) and free-soil settlement values according to Zhang et al. (2002) were determined and maps of their distribution in the study area were obtained. As a result of this study, it was determined that the coefficient of safety obtained from CPT data according to the NCEER method gave a higher value compared to other methods. LPI values calculated according to the coefficient of safety obtained from Boulanger and Idriss (2014) method gave the highest value. As for the free-field settlements, it was revealed that the volumetric unit deformation values obtained from Moss et al. (2006) gave higher results than the free-field settlements. In the light of all these data, it is determined that the LPI and free-field settlement values due to soil liquefaction in Gölbaşı (Adıyaman) district center increase as it approaches Gölbaşı Lake.

Science Code : 91105

Key Words : Earthquake, liquefaction, CPT, Gölbaşı, Adıyaman

Page Number : 109

Supervisor : Prof. Dr. Seyhan FIRAT

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana kendisiyle çalışma imkânı veren ve çalışmam süresince her konuda desteğini esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Seyhan FIRAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince her zaman desteğini gördüğüm verdiği bilgilerle beni aydınlatan Sayın Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans tezini yapmama imkân sağlayan kurumum T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü'ne, CPT deneylerinin sahada yapılmasını sağlayan T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ve deneyleri gerçekleştiren GeoDestek Zemar Zemin Araştırma Proje Müş. Yaz. Lab. Bilg. Sis. Enr. İnş. Tur. İth. İhr. Tic. ve San. Ltd. Şti.'ye teşekkür ederim.

Son olarak, maddi ve manevi her türlü desteği sonuna kadar kullanıp her zaman yanımda olan eşime ve çocuklarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Sıvılaşma ile İlgili Çalışmalar	3
2.2. CPT ile İlgili Çalışmalar	15
2.3. Gölbaşı (Adıyaman)’nda Yapılan Önceki Çalışmalar	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması.....	37
3.2. Bölgenin Genel Jeolojisi	38
3.2.1. Güneydoğu Anadolu otoktonu birimleri	40
3.2.2. Güneydoğu Anadolu allohton kaya birimleri.....	43
3.2.3. Güneydoğu Anadolu örtü birimleri.....	43
3.2.4. Kuvaterner.....	46
3.3. Depremsellik	47
3.4. Jeomorfoloji	52
3.5. CPT ile Sıvılaşma Analizi ve Değerlendirme	54
3.5.1. CPT esaslı sıvılaşma analizi.....	59
3.5.2. CPT esaslı tekrarlı direnç oranı (CRR) ve güvenlik faktörü.....	61
3.5.3. CPT esaslı sıvılaşma analizlerinde sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI)...	64

	Sayfa
3.5.4. CPT esaslı sıvılaşma kaynaklı oturma	74
3.6. Zemin Türleri	83
3.7. Hasarlı Binalar	84
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	91
EKLER	97
EK - 1. $F_{SL} < 1$ olan 5 cm kalınlığındaki zemin tabaka sayıları (CPT özelinde).....	98
EK - 2. CPT özelinde LPI değerleri.....	99
EK - 3. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (NCEER).....	100
EK - 4. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Idriss ve Boulanger (2008)).....	101
EK - 5. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Boulanger ve Idriss (2014)).....	102
EK - 6. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Moss ve diğerleri (2006)).....	103
EK - 7. CPT özelinde oturma değerleri	104
EK - 8. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (NCEER)....	105
EK - 9. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Idriss ve Boulanger (2008)).....	106
EK - 10. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Boulanger ve Idriss (2014)).....	107
EK - 11. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Moss ve diğerleri (2006)).....	108
ÖZGEÇMİŞ	109

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Siltli zeminlerin sıvılaşabilirliği (Andrews ve Martin, 2000).....	4
Çizelge 2.2. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (Iwasaki vd., 1982).....	31
Çizelge 2.3. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)	32
Çizelge 3.1. $F_{SL} < 1$ olan 5 cm kalınlığındaki tabaka sayıları.....	62
Çizelge 3.2. CPT’lerden elde edilen LPI değerleri	65
Çizelge 3.3. LPI değerlerinin derinlik ile dağılımı	74
Çizelge 3.4. CPT’lerden elde edilen tahmini oturma değerleri (cm).....	74
Çizelge 3.5. Oturma değerlerinin derinlik ile dağılımı	77
Çizelge 3.6. CPT’lerden elde edilen zemin türleri ve yüzdeleri	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. “Sıvılaştırılabilir” zemin türlerinin değerlendirilmesi (Seed vd., 2003)	5
Şekil 2.2. Sıvılaşma duyarlılığı kriterlerinin grafiksel gösterimi (Bray ve Sancio, 2006)	5
Şekil 2.3. $K\sigma$ tahmini için önerilen eğri (Seed ve Harder, 1990)	7
Şekil 2.4. $K\sigma - \sigma'$ ilişkisi (Hynes ve Olsen, 1999)	7
Şekil 2.5. $K\sigma$ tahmini için önerilen eğriler (NCEER, 1997).....	8
Şekil 2.6. $K\sigma$ değeri grafiği (Çetin vd., 2004)	8
Şekil 2.7. $\alpha - K\alpha$ ilişkisi (Harder ve Boulanger, 1997)	9
Şekil 2.8. $K\alpha$ değişim grafiği (Boulanger ve Idriss, 2004).....	10
Şekil 2.9. Farklı OCR değerleri için $\alpha - K\alpha$ ilişkisi (Boulanger ve Idriss, 2004).....	10
Şekil 2.10. CSR ile yükleme çevrim sayısı ilişkisi grafiği (Seed ve Idriss, 1982)	11
Şekil 2.11. Araştırmacılar tarafından elde edilen MSF değerleri (NCEER, 1997).....	12
Şekil 2.12. Sıvılaşma duyarlılığı kriterlerinin grafiksel gösterimi (Bray ve Sancio, 2006)	13
Şekil 2.13. Temiz kumlar için CPT tabanlı CRR'nin tahmin edilmesi (Robertson ve Wride, 1998) (D_{50} ortalama tane boyutu, FC ince tane oranı)	17
Şekil 2.14. Kum ve siltli kumlar için $qc1$ ile CSR korelasyonları (Robertson ve Campanella, 1985)	17
Şekil 2.15. İnce dane içeriği ve ortalama tane boyutuna dayalı olarak $qc1N - CRR$ grafiği (Stark ve Olson, 1995)	18
Şekil 2.16. CPT Verilerinden ve Ampirik Sıvılaşma Verilerinden CRR'nin Hesaplanması için Önerilen Eğri (Robertson ve Wride, 1998)	18
Şekil 2.17. CPT uç direnci, sürtünme direnci ve zemin tipi arasındaki ilişki (Begemann, 1965).....	19
Şekil 2.18. Zemin Sınıflama Abağı (Schmertmann, 1978).....	20
Şekil 2.19. Zemin Davranış Modeline Göre Sınıflama Abağı (Douglas ve Olsen, 1981)	20
Şekil 2.20. Zemin Davranış Tipi Sınıflama Abağı (Robertson ve Campanella, 1985) ..	21

Şekil	Sayfa
Şekil 2.21. CPT zemin davranış tipi çizelgesi (Robertson, 1990)	22
Şekil 2.22. İnce tane içeriği - I_c ilişkisi (Robertson, 1990).....	23
Şekil 2.23. $K_c - I_c$ grafiği (Robertson ve Wride, 1998).....	23
Şekil 2.24. İnce kum tabakaları için CPT uç direnci düzeltme faktörü (Vreugdenhil vd., 1994), (Robertson ve Fear, 1995)	25
Şekil 2.25. CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması (NCEER, 1997)	26
Şekil 2.26. Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması	27
Şekil 2.27. Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması	28
Şekil 2.28. Boulanger ve Idriss (2014) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması	29
Şekil 2.29. Moss vd. (2006) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması	30
Şekil 2.30. Güvenlik Katsayısı ve Derinliğin şematik gösterimi (Iwasaki vd., 1982)....	31
Şekil 2.31. Temiz kumların sıvılaşma sonrası hacimsel gerilmesini tahmin etmek için eğriler (Ishihara ve Yoshimine, 1992)	33
Şekil 2.32. Farklı güvenlik katsayıları için sıvılaşma sonrası hacimsel gerilme ile temiz kum eşdeğeri CPT penetrasyon direnci arasındaki ilişki (Zhang vd., 2002)	33
Şekil 3.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.....	37
Şekil 3.2. Çalışma alanı genel jeoloji haritası (Çoban ve Dalkılıç, 2018)	38
Şekil 3.3. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Çoban ve Dalkılıç, 2018)	39
Şekil 3.4. Türkiye'nin Basitleştirilmiş Tektonik Haritası (Bozkurt, 2001)	47
Şekil 3.5. Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve proje lokasyonu gösterimi (MTA, 2012; TDTH, 2024)	48
Şekil 3.6. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw: 7.7, Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.6 ve Yayladağı (Hatay) Mw: 6.4 depremleri ve artçı şok aktivitesi (6 Şubat – 6 Mayıs arası) (AFAD, 2023)	49

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. Deprem kırık düzlemlerini ve AFAD'dan alınan artçı şokları, ana depremlerin mekanizma çözümleri ile birlikte gösteren sismotektonik harita. Kırıklar oluşum zamanlarına göre numaralandırılmış, Yönlü ve süreksiz kırılma sergileyen Pazarcık depreminin ($M_w=7.8\pm0.1$) kırılma yönleri ise oklarla belirtilmiştir. (ODTÜ, 2023).....	50
Şekil 3.8. Aktif fay segmentlerinin yüzey izdüşümleri (MTA, 2012)	50
Şekil 3.9. 1900 – 2023 yılları arasında inceleme alanına 100 km mesafede gerçekleşen 4.0 veya üzeri büyüklüğe sahip depremlerin mekânsal dağılımı	51
Şekil 3.10. 1900 – 2023 yılları arasında inceleme alanına 100 km mesafede gerçekleşen 4.0 veya üzeri büyüklüğe sahip depremlerin histogram ve dağılım grafiği	52
Şekil 3.11. İnceleme alanına kuzeyden bakış	53
Şekil 3.12. İnceleme alanına batıdan bakış	53
Şekil 3.13. İnceleme alanına ait topografik harita	54
Şekil 3.14. İnceleme alanına ait eğim haritası	54
Şekil 3.15. CPT uygulama noktaları	58
Şekil 3.16. CPT'lerin yapılabildiği derinliklerin dağılımı	58
Şekil 3.17. CPT Zemin sınıflandırma abağı (Robertson, 1990)	59
Şekil 3.18. CPT tabanlı sıvılaşma analizi grafik örneği.....	60
Şekil 3.19. $F_{SL} < 1$ olan tabaka sayılarına sahip CPT sayısı histogram grafiği (a) $F_{SL} < 1$ olan en fazla tabaka sayısına sahip CPT sayısı (b) $F_{SL} < 1$ olan en az tabaka sayısına sahip CPT sayısı	64
Şekil 3.20. CPT bazında yapılan LPI değerleri dağılımı	66
Şekil 3.21. CPT özelinde LPI değerleri dağılım yüzdeleri, [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss vd. (2006) yöntemi]	67
Şekil 3.22. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (0-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	68
Şekil 3.23. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (0-5 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	69

Şekil	Sayfa
Şekil 3.24. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (5-10 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	70
Şekil 3.25. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (10-15 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi].....	71
Şekil 3.26. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (15-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi].....	72
Şekil 3.27. Maksimum LPI değerine sahip CPT sayıları.....	73
Şekil 3.28. Oturma değerleri histogram grafiği	76
Şekil 3.29. CPT’lerde en yüksek ve en düşük oturma değerleri grafiği [(a) en yüksek oturma değerine sahip CPT sayısı, (b) En düşük oturma değerine sahip CPT sayısı]	76
Şekil 3.30. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (0-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	78
Şekil 3.31. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (0-5 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	79
Şekil 3.32. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (5-10 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	80
Şekil 3.33. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (10-15 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	81
Şekil 3.34. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (15-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]	82
Şekil 3.35. CPT’lerden elde edilen zemin türlerinin histogram dağılımları	84
Şekil 3.36. Hasarlı binaların gösterimi (a- tüm hasarlı binalar, b- orta hasarlı binalar, c- ağır hasarlı binalar, d- yıkık binalar)	86

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Gölbaşı, Atatürk Bulvarı'nda devrilmiş bina (G.Ü., 2023)	55
Resim 3.2. Çalışma alanında sıvılaşma kaynaklı zemin deformasyonları ve farklı oturmalar (G.Ü., 2023).....	56
Resim 3.3. Gölbaşı'nda gözlenen zemin fışkırması (ODTÜ, 2023).....	56
Resim 3.4. Gölbaşı Gölü'nün kenar kesimlerinde gözlenen yatay ve düşey zemin deformasyonları (G.Ü., 2023)	57
Resim 3.5. ADYÜ Gölbaşı Meslek Yüksek Okulu bölgesinde gözlenen yatay ve düşey zemin deformasyonları (TRTHaber, 2023).....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm	santimetre
m	metre
μ	mikron
°	derece

Kısaltmalar

Açıklamalar

AFAD	T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
atm	Atmosferik basınç
BPT	Becker penetrasyon testi
C_N	Örtü Yüğü düzeltme Faktörü
CPT	Koni penetrasyon testi (cone penetration test)
CRR	Çevrimsel direnç oranı (Cyclic resistance ratio)
CSR	Çevrimsel gerilim oranı (Cyclic stress ratio)
D₅₀	Ortalama tane boyutu
DAF	Doğu Anadolu Fayı
Dr	Relatif sıklık
FC	İnce tane oranı
F_R	Normalleştirilmiş CPT sürtünme oranı
F_{SL}	Güvenlik Faktörü (factor of safety)
I_c	Zemin davranış tipi indeksi
LL	Likit limit
LPI	Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi
L_s	Sıvılaşma Şiddeti İndisi
MSF	Manyitüd ölçeklendirme faktörü (magnitude scaling factor)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

M_w	Moment büyüklüğü
NCEER	National Center for Earthquake Engineering Research
OCR	Aşırı konsolide oranı (over consolidation ratio)
PL	Sıvılaşmanın meydana gelme olasılığı
q_c	CPT uç direnci
q_{c1}	Örtü yüküne göre düzeltilmiş uç direnci ($q_{c1} = q_c C_N$)
q_{c1N}	Örtü yüküne göre düzeltilmiş CPT uç direnci
Q_t	Normalleştirilmiş CPT uç direnci
r_d	Derinlik düzeltme katsayısı
SPT	Standart penetrasyon testi
V	Kayma dalgası hızı
ω_n	Su muhtevası
τ_{av}	Ortalama çevrimsel makaslama gerilmesi
a_{max}	Zemin yüzeyindeki maksimum yatay ivme
g	Yerçekimi ivmesi
σ_{v0}	Toplam gerilim
σ'_{v0}	Efektif gerilim
r_d	Derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısı
(q_{1cN})_{cs}	Temiz kumlar için düzeltilmiş CPT uç direnci
f_s	CPT sürtünme direnci
N_{1,60f}	İnce tane oranına göre düzeltilmiş N _{1,60} değeri
N_{1,60}	Örtü yükü değerine göre düzeltilmiş N ₆₀ değeri
N₆₀	%60 enerji oranına göre düzeltilmiş N ₃₀ değeri
N₃₀	Araziden elde edilen SPT ham değerleri
K_σ	Derinlik düzeltme faktörü
K_α	Eğimli yüzey düzeltme faktörü
α	Normalleştirilmiş statik makaslama gerilim oranı
τ_{st,0}	Statik makaslama gerilmesi
R_F	CPT sürtünme oranı
q_t	Boşluk suyu basıncına göre düzeltilmiş CPT uç direnci

1. GİRİŞ

06 Şubat 2023 Pazartesi günü, Kahramanmaraş ili Pazarcık İlçesinde yerel saat ile 04:17'de (01:17 GMT) T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre odak derinliği 8,6 km, moment (M_w) büyüklüğü 7.7 olan bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremden yaklaşık 9 saat sonra yerel saat ile 13:24'de (10:24 GMT) Kahramanmaraş ili Ekinözü-Elbistan bölgesinde AFAD verilerine göre odak derinliği 7,0 km, moment büyüklüğü 7.6 olan ikinci bir deprem meydana gelmiştir. AFAD verilerine göre Kahramanmaraş-Pazarcık depremi 37.288° enlem, 37.043° boylamında sol yanal doğrultu atımlı fay olan Doğu Anadolu Fayı (DAF)'nın Narlı segmentinde başlamış sonrasında Pazarcık ve Erkenek segmentlerini KD'ye ve Amanos segmentini ise GB'ye doğru kırmıştır.

Dünyada eşine az rastlanır bu büyüklükte ardışık depremler Adıyaman, Kahramanmaraş, Hatay, Kilis, Şanlıurfa, Gaziantep, Osmaniye, Diyarbakır, Malatya, Adana ve Elazığ illerini etkilemiş, çok sayıda can kaybına, binlerce kişinin yaralanmasına ve ağır hasarların oluşmasına neden olmuştur.

Ardışık bu depremler sırasında suya doymun gevşek zeminlerde sıvılaşma emareleri gözlenmiştir. Özellikle Hatay ili ve ilçeleri ile bu tezin de çalışma alanı olan Gölbaşı (Adıyaman) bölgelerinde zemin sıvılaşması hasarları gözlenmiştir. Zemin sıvılaşmasıyla binalarda oturmaların olduğu ve yapısal hasarların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durum inşaat öncesi zemin yapısının belirlenmesinin ve projelendirmenin önemini ortaya koymaktadır.

Gölbaşı (Adıyaman) ilçesi yaklaşık 35 bin nüfuslu bir ilçe olup, yerleşim alanının kuzey kesiminde adını ilçeden alan bir göl bulunmaktadır. İlçenin yerleşim alanının büyük bir kesimi alüvyonel ve suya doymun birimler üzerinde yer almaktadır.

Tez kapsamında ilçe yerleşim alanının büyük bir çoğunluğunu içine alan yaklaşık 432 ha'lık bir alan için sıvılaşma analizleri yapılmıştır. İnceleme alanı 200 m x 200 m olmak üzere toplam 120 adet karelaja bölünmüş her bir karelajda en az bir adet olmak üzere toplam 125 adet CPT yapılmıştır.

CPT’lerden elde edilen uç direnci, sürtünme direnci ve boşluk suyu basıncı değerleri ile CPT derinliği 20 metreyi geçmiyorsa CPT derinliğine, CPT derinliği 20 metreyi geçiyorsa 20 metre derinliğe kadar sıvılaşma analizleri hesaplanmıştır.

CPT verileri NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)), Idriss ve Boulanger (2008), Boulanger ve Idriss (2014) ve Moss ve diğerleri (2006) yöntemlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her yöntem için sıvılaşma güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Sıvılaşma analizlerinde rutin güvenlik katsayısı hesaplamalarına ilaveten, zemin deformasyonlarının ve hasarının ifade edilebilmesi amacıyla sıvılaşma potansiyel indisi değerleri ile serbest saha oturma değerleri hesaplanmış ve bu değerlere ait dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan yöntemler ve kabuller, mevcut veri ve referanslara dayanmaktadır. Ancak bilimin ve teknolojinin doğal süreci içerisindeki gelişmelerle bu bilgiler güncellenebilir veya değişebilir.

İnceleme alanında depremden etkilenen yapılar evre, ehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından orta hasarlı, ağır hasarlı ve yıkık şeklinde üç ayrı grupta sınıflandırılarak tespiti yapılmış olup tez kapsamında bu yapılar için dağılım haritaları oluşturulmuş ve sıvılaşma haritaları ile mukayeseleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde sıvılaşma, CPT deneyleri ve Gölbaşı (Adıyaman)'nda yapılan önceki çalışmalar ile ilgili araştırmalara yer verilmiştir.

2.1. Sıvılaşma ile İlgili Çalışmalar

Sıvılaşma terimi, suya doymun kohezyonsuz zeminlerin harmonik titreşime maruz bırakılarak makaslama dayanımlarının azalmasını ortaya koymak amacıyla tarihte ilk kez Mogami ve Kubu (1953) tarafından kullanılmıştır.

Sıvılaşma, drenajsız koşullarda zeminin kayma dayanımının zeminde oluşan kayma gerilmesinden önemli ölçüde daha küçük bir dayanıma ani olarak düşmesi olarak tanımlanır (Terzaghi, Peck ve Mesri, 1996). Deprem, patlatma ile yer sarsıntısı gibi faktörler nedeniyle zemindeki gerilme artış ya da azalışlarının tekrarlı şekilde uygulanması, kayma dayanımının kayma gerilmesine göre ani şekilde azalmasına neden olabilir ve dolayısıyla sıvılaşma gerçekleşebilir. Bunun yanı sıra büyük bir şev yenilmesi gibi tek büyük bir kayma gerilmesi artışı da sıvılaşmaya neden olabilir. Terzaghi ve diğerleri (1996) sıvılaşmaya en duyarlı zeminleri; temiz ince kumlar ve %5'ten daha az ince tane içeren non-plastik siltli kumlar olarak belirtmişlerdir.

Silt ve kil içeren kumların da sıvılaşma potansiyeli yönünde çalışmalar yapılmıştır. Seed, Idriss ve Arango (1983), Çin'deki vaka geçmişlerinden (Wang, 1979) türetilen Çin Kriterini modifiye ederek ince taneli zeminlerde sıvılaşmanın gerçekleşmesi için kil (0,005 mm'den küçük tane) oranı $\leq \%15$, Likit limit (LL) $\leq \%35$ ve su muhtevası (ω_n) $\geq 0,9LL$ şartının sağlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Andrews ve Martin (2000), siltli zeminler için LL ve kil içeriği ile sıvılaşma potansiyelinin ilişkisi üzerine bazı kriterler geliştirmişlerdir (Çizelge 2.1).

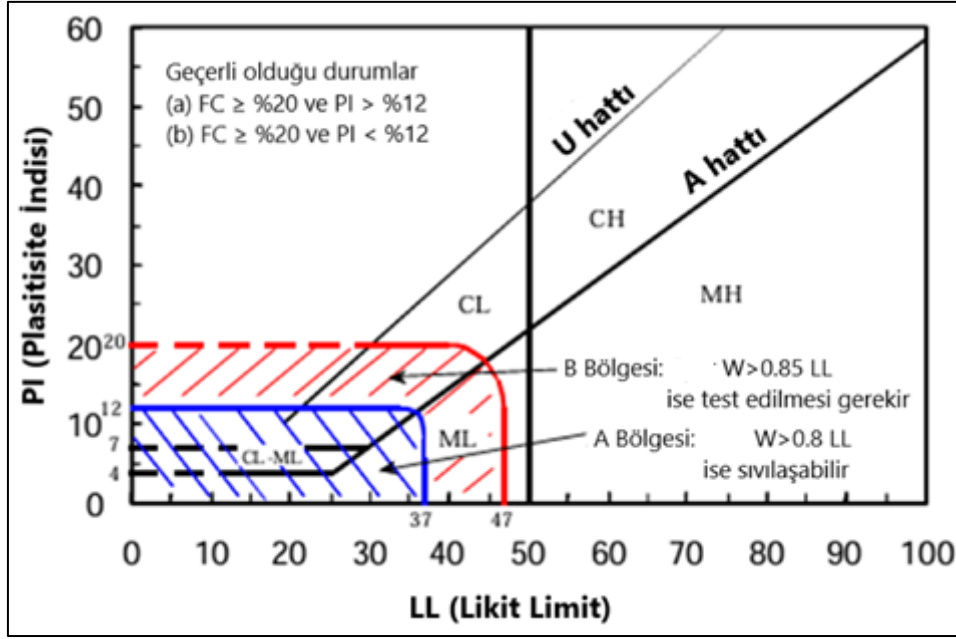
Çizelge 2.1. Siltli zeminlerin sıvılaşılabirliği (Andrews ve Martin, 2000)

	Likit Limit ¹ < 32	Likit Limit $\geq$ 32
Kil içeriği ² < %10	Sıvılaşıabilir	İleri çalışma gerekir (Kil boyutunda olmayan plastik tanelerin dikkate alınması - Mika gibi)
Kil içeriği $\geq$ %10	İleri çalışma gerekir (Maden ve taş ocağı atıkları gibi plastik olmayan kil boyutlu tanelerin dikkate alınması)	Sıvılaşmaz

(¹ Casagrande tipi cihaz ile belirlenen LL değeri, ² 0,002 mm'den küçük tane)

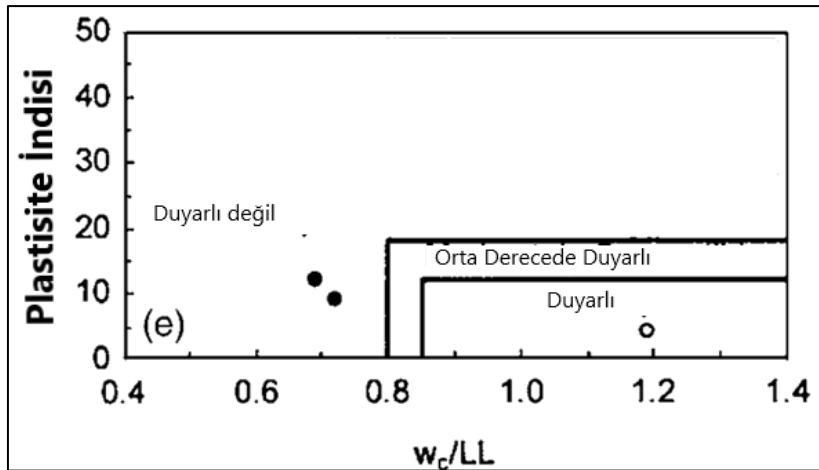
17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrasında bölgede yapılan araştırmalar sıvılaştıran zemin katmanlarında %15'ten fazla kil boyutunda malzeme (0,005 mm'den küçük) bulunduğuna dair kanıt ortaya konulmuştur (Bray, Stewart ve Çetin, 2000). Sancio ve diğerleri (2002), kil boyutundaki parçacıkların yüzdesi yerine kil minerallerinin yüzdesinin daha önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Sancio ve diğerleri (2002), sıvılaşma emareleri görülen zeminde kil boyutundaki taneciklerin önemli bir kısmının plastisitesi olmayan kuvars ve feldspat gibi kil dışı mineral olduğunu bu nedenle Çin kriterleri gibi kil boyutu yüzdesine dayalı sıvılaşma kriterlerinin güvenilmez olduğunu belirtmişlerdir.

Tüm bu çalışmalara, deprem sonrası arazi gözlemlerine ve sonrasındaki laboratuvar verilerine göre Seed ve diğerleri (2003) Çin kriterindeki kil yüzdesi yerine plastisite indisi (PI) ve LL değerini kullanarak Şekil 2.1'deki kriterleri önermişlerdir. Bu kritere göre A bölgesine düşen ve $\omega_n \geq 0,8LL$ şartını sağlayan zeminler sıvılaşma tetiklemesine potansiyel olarak duyarlı kabul edilir. B bölgesine giren ve $\omega_n \geq 0,85LL$ şartını sağlayan zeminler sıvılaşma tetiklemesine duyarlı, yumuşama eğilimi gösteren zeminler olabileceği göz önünde bulundurularak laboratuvar ortamında test edilmesi gerekir. A ve B bölgesine girmeyen zeminler ise sıvılaşmaya karşı duyarlı olmadıkları kabul edilmektedir.



Şekil 2.1. “Sıvılaştırılabilir” zemin türlerinin değerlendirilmesi (Seed ve diğerleri, 2003)

Bray ve Sancio (2006) ince tane içeren zeminlerin benzer çevre basınçlarında ω_n / LL oranı ile PI değerinin sıvılaşma potansiyeline etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Buna göre $\omega_n / LL > 0,85$ ve $PI < 12$ olan zeminlerin “duyarlı”, $0,80 > \omega_n / LL > 0,85$ ve $12 < PI < 18$ olan zeminlerin sıvılaşmaya karşı “orta derecede duyarlı”, $PI > 18$ olan zeminler ise sıvılaşmaz olarak nitelendirilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sıvılaşma duyarlılığı kriterlerinin grafiksel gösterimi (Bray ve Sancio, 2006)

Seed ve Idriss (1971), 1964 Alaska ve Niigata depremleri sonrasında çevrimsel (döngüsel) gerilme oranı (CSR) olarak ifade edilen en büyük dinamik gerilme oranını hesaplamak için derinliğe bağlı Basitleştirilmiş Yöntem olarak anılan güvenilir matematiksel bir metodoloji

geliştirmişlerdir (Eş. 2.1). Eşitlik, sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için $M_w=7.5$ büyüklüğündeki deprem nedeniyle zeminde oluşan makaslama gerilmesinin, zeminin efektif düşey gerilmesine oranı olarak tanımlanabilir.

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (2.1)$$

Burada CSR (cyclic stress ratio) çevrimsel gerilme oranı, τ_{av} ortalama çevrimsel makaslama gerilmesi, a_{max} zemin yüzeyindeki maksimum yatay ivme, g yerçekimi ivmesi, σ_{v0} ve σ'_{v0} toplam ve efektif gerilimi ve r_d derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

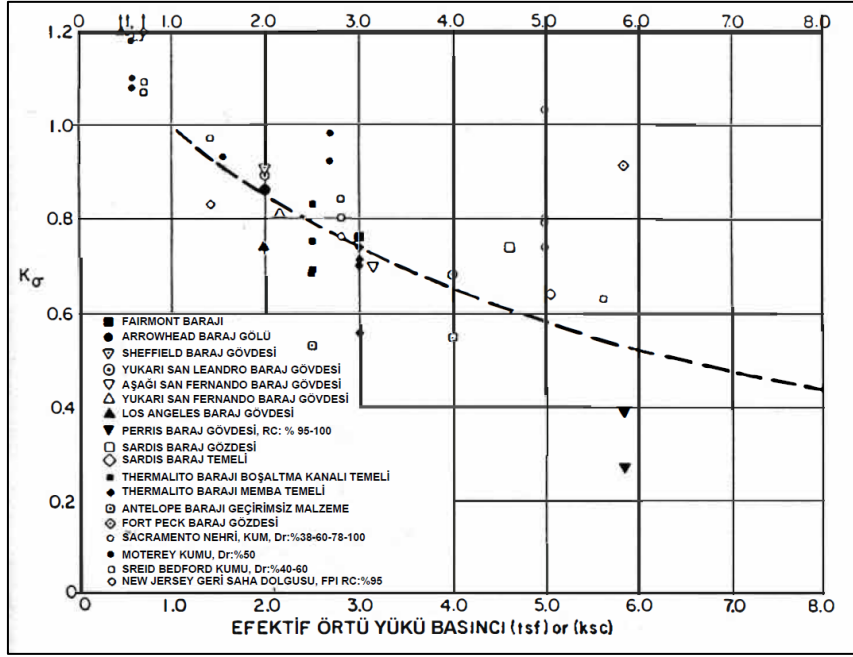
Zemin sıvılaşma potansiyelini ortaya koymak için CSR, zeminin çevrimsel direnç (dayanım) oranı (CRR) ile karşılaştırılır ve CRR'yi aşarsa zemin sıvılaşmasının muhtemel olduğu ortaya konulur. Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü (F_{SL}) CRR'nin CSR'ye oranı olarak tanımlanır (Eş. 2.2). $F_{SL} > 1$ için sıvılaşmanın olmadığından bahsedilebilir.

$$F_{SL} = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \quad (2.2)$$

Bu yöntem $M_w=7.5$ büyüklüğündeki bir deprem, düşük efektif gerilim, düz ya da hafif eğimli araziler için geçerli olup farklı deprem büyüklükleri ile daha derin ve eğimli zeminlerde hesaplama yapılabilmesi için güvenlik faktöründe bazı eklemeler yapılmalıdır. NCEER (1997), Seed (1983)'in 1 atm'den daha büyük örtü yükü basınçları için K_σ , zemin yüzeyinin eğimli olma durumuna göre K_α ve Seed ve Idriss (1982) deprem büyüklüğüne göre büyüklük ölçeklendirme faktörlerinin (MSF) dahil edilmesi gerektiğini belirtmiştir (Eş. 2.3).

$$CSR_{M_w=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}, \alpha=0} = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \frac{1}{K_\sigma K_\alpha MSF} \quad (2.3)$$

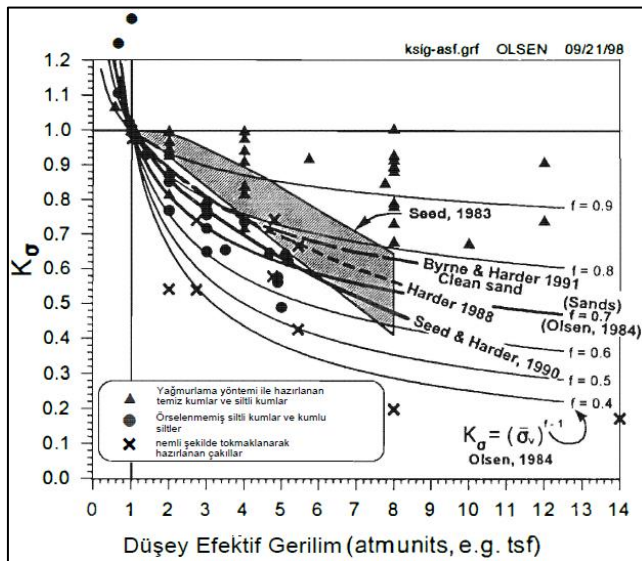
Seed ve Harder (1990), Seed (1983)'in veri tabanını kullanarak K_σ düzeltme faktörünü araştırmışlar ve Şekil 2.3'de verilen grafiği geliştirmişlerdir.



Şekil 2.3. K_σ tahmini için önerilen eğri (Seed ve Harder, 1990)

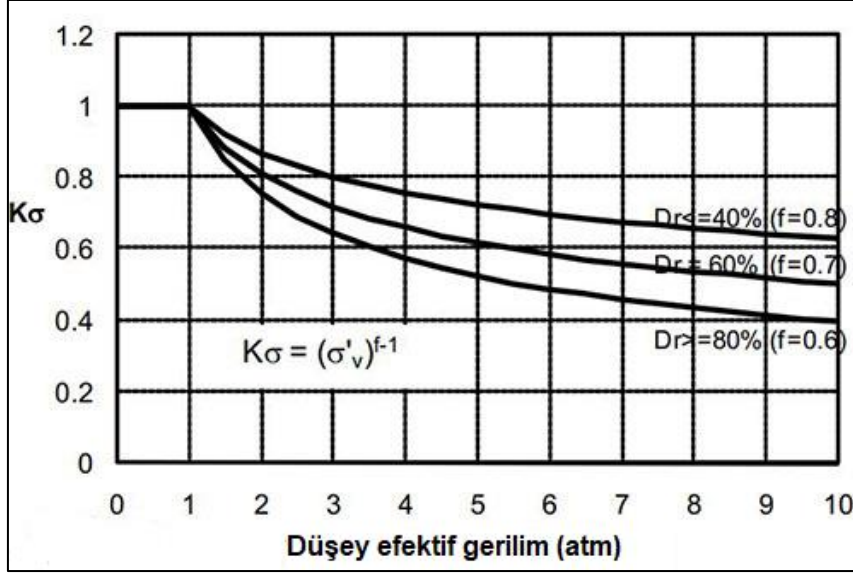
Hynes ve Olsen (1999), K_σ değerinin belirlenmesi ve denklemlerle formüle edilebilmesi için geniş bir veri setinde çalışmış (Şekil 2.4) ve K_σ 'nın belirlenmesi için Eş. 2.4'ü tavsiye etmişlerdir.

$$K_\sigma = (\sigma'_v)^{f-1} \quad (2.4)$$



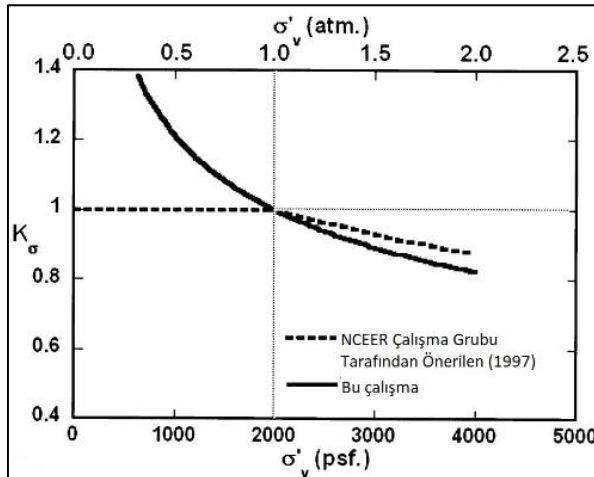
Şekil 2.4. $K_\sigma - \sigma'$ ilişkisi (Hynes ve Olsen, 1999)

National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER, 1997) tarafından desteklenen çalıştayda katılımcılar önceki çalışmaları dikkate almış ve %40-60 relatif sıkılık için f değerini 0,7-0,8, %60-80 arasındaki relatif sıkılık için f değerini 0,6-0,7 olarak tahmin edilmesini benimseyerek K_σ değerini belirlemişlerdir (Şekil 2.5).



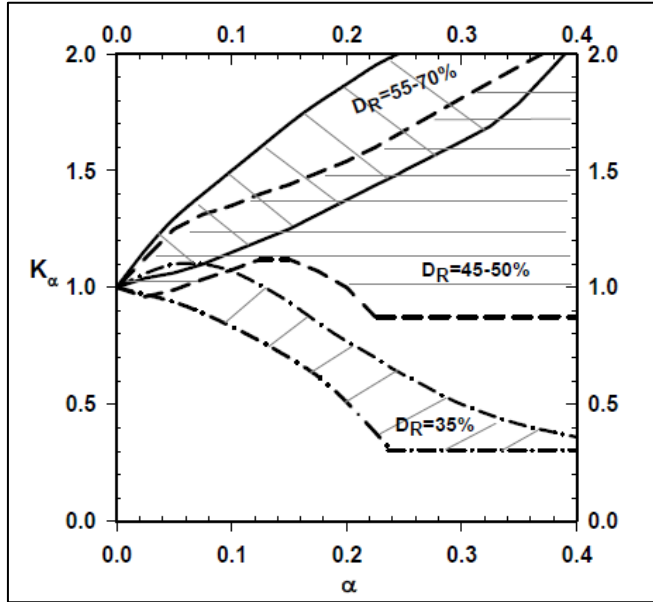
Şekil 2.5. K_σ tahmini için önerilen eğriler (NCEER, 1997)

Çetin ve diğerleri (2004), standart penetrasyon testine dayalı olasılıksal ve deterministik sismik zemin sıvılaşma potansiyeli değerlendirme çalışmasında Bayesian regresyon yöntemini kullanarak K_σ düzeltmelerinin 1 atm'den daha düşük örtü yükü basınçlarında da yapılmasının gerekli olduğunu belirtmiş NCEER (1997) çalışma grubunda kabul gören K_σ eğrisi ile mukayeseli bir grafik oluşturmuşlardır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. K_σ değeri grafiği (Çetin ve diğerleri, 2004)

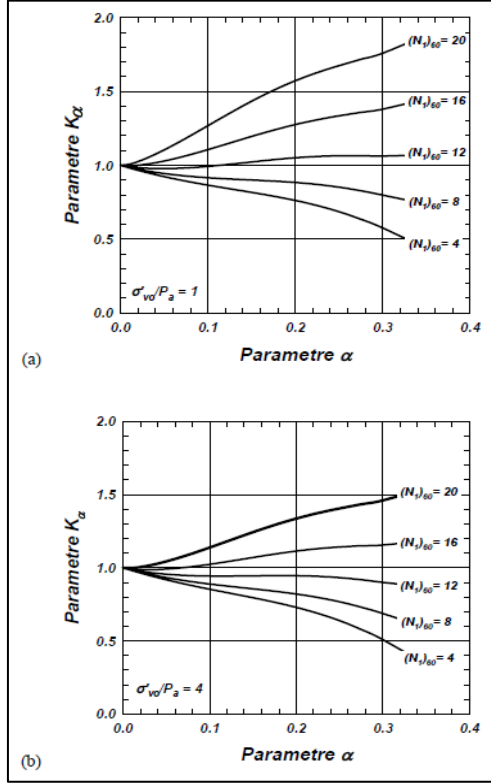
Eğimli zemin kütlelerinde statik makaslama gerilmeleri meydana gelir. Başlangıçtaki statik makaslama gerilmesinin düzlem üzerindeki varlığının etkilerini ölçmek için bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Seed (1983), başlangıçtaki statik makaslama geriliminin ($\tau_{st,0}$) düşey efektif gerilime (σ'_{v0}) oranı olan normalleştirilmiş başlangıç statik makaslama gerilim oranı α ($\tau_{st,0}/\sigma'_{v0}$)'yı tanıtmış ve CRR'ye etkisi için K_α düzeltme faktörünü geliştirmiştir. Burada α , düz-neredeyse düz zeminlerde ve $M_w=7,5$ büyüklüğündeki depremden elde edilmiştir (Seed, 1983). Statik makaslama gerilimi etkisinde olan gevşek zeminlerin sıvılaşma direnci azalmakta, sıkı zeminlerde ise bu durumun tersi oluşmaktadır (NCEER, 1997). Seed ve Harder (1990) %7,5'lik makaslama deformasyon yenilmesi kriterini göz önüne alarak yapılan çevrimsel test verilerine göre relatif sıkılığa (D_r) bağlı bir dizi K_α katsayısı önermiştir. Vaid ve Finn (1979), tekrarlı yükleme direncinin relatif sıkılığa, statik durumdaki makaslama gerilimi ve makaslama birim yer değiştirmeye göre değiştiğini belirtmişlerdir. NCEER (1997)'de araştırmacılar, Harder ve Boulanger (1997) tarafından önerilen D_r ve α 'ya bağlı olarak belirlenen K_α değerinin (Şekil 2.7) geniş bir aralık sunması nedeniyle K_α değerinin belirlenmesi yöntemi için bir fikir birliğine varamamışlardır.



Şekil 2.7. α - K_α ilişkisi (Harder ve Boulanger, 1997)

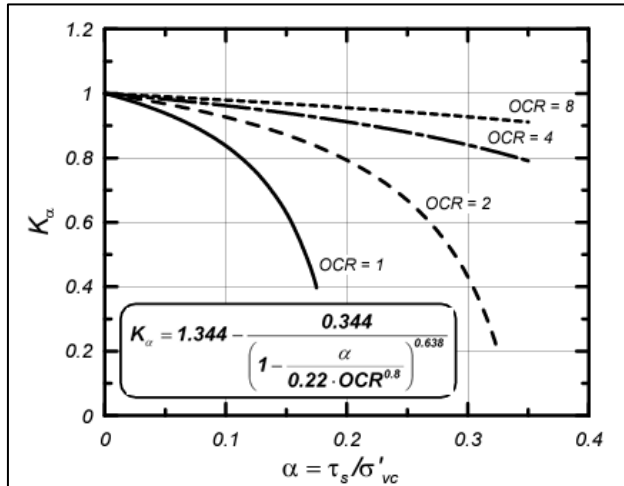
Boulanger ve Idriss (2004) suya doygun kohezyonsuz zeminler için standart penetrasyon testi (SPT) penetrasyon direnci ve 1 ve 4 atm'lik efektif gerilim ilişkisini kullanarak K_α 'yı tahmin etmişlerdir (Şekil 2.8). Buna göre gevşek, çevrimsel yükler karşısında hacimsel

azalma eğiliminde olan kumlar için K_α faktörü, α arttıkça giderek daha küçük hale gelir. Oldukça sıkı kumlar için ise K_α faktörü, α arttıkça giderek daha büyük hale gelmektedir.



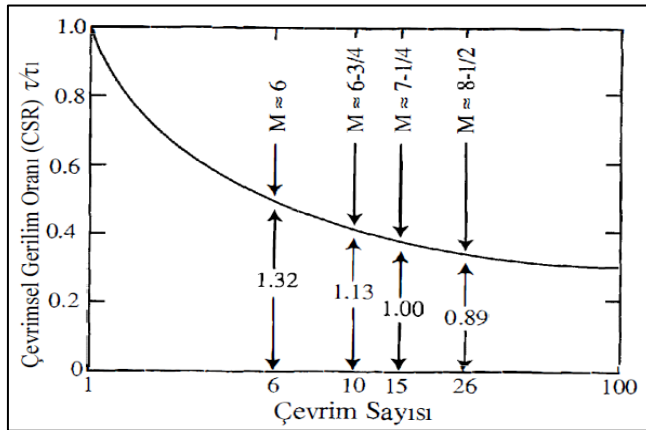
Şekil 2.8. K_α değişim grafiği (Boulanger ve Idriss, 2004)

Boulanger ve Idriss (2004), suya doymun kil gibi kohezyonlu birimlerin sıvılaşma direncinin başlangıç statik kayma gerilmesinden etkilenebileceğini ifade etmiş ve bu durumu ortaya koymak için aşırı konsolide oranını (OCR) kullanmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Farklı OCR değerleri için α - K_α ilişkisi (Boulanger ve Idriss, 2004)

Seed ve Idriss (1982), Basitleştirilmiş Yöntem'in $M_w=7,5$ dışındaki depremler için kullanılabilmesi amacıyla laboratuvar testlerine dayalı olarak depremin oluşturduğu eşdeğer yükleme çevrimlerinin sayısını, deprem büyüklüğü ile ilişkilendirerek büyüklük ölçeklendirme faktörünü (MSF) geliştirmiştir. Farklı relatif sıkılıktaki temiz kumlarda laboratuvar deneyleri yaparak sıvılaşmayı veya toplam % 5'lik şekil değiştirmeyi meydana getirmek için gereken yükleme çevrim sayılarını ölçmüş ve sonuçları bir grafikte toplamıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. CSR ile yükleme çevrim sayısı ilişkisi grafiği (Seed ve Idriss, 1982)

Idriss, Seed ve Idriss (1982) verilerini yeniden değerlendirmiş verileri logaritmik bir grafik üzerine aktarmış büyüklük düzeltme faktörünün düz bir çizgi olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca orijinal analizi etkileyen noktaların varlığından bahsetmiş ve Eş. 2.5'i ortaya koymuştur. Bu eşitlik ile Şekil 2.10'daki orijinal eğri mukayese edildiğinde, $M_w=7,5$ 'ten küçük depremler için elde MSF değeri önemli ölçüde daha büyük iken $M_w=7,5$ 'ten büyük depremler için elde MSF değeri orijinal eğriye göre biraz daha küçüktür.

$$MSF = 10^{2,24} / (M_w)^{-2,56} = (M_w / 7,5)^{-2,56} \quad (2.5)$$

Ambraseys (1988), $N_{1,60}$ değerini sabit tutarak $M_w=7,5$ büyüklüğündeki depreme ait CRR'yi farklı büyüklükteki depremler için belirlenen CRR'ye oranlayarak MSF'yi elde etmeye çalışmıştır.

Arango (1996), sismik enerji kaynağına en uzak mesafede gözlenen sıvılaşmanın olduğu bölgedeki sıvılaşmanın oluşabilmesi için soğrulan enerji miktarına göre ve önemli gerilme

döngü sayısı ile deprem büyüklüğü arasındaki ilişkiyi değerlendirerek iki farklı MSF elde etmiştir.

Andrus ve Stokoe kendi çalışmalarından (Andrus, 1994; Stokoe, Roesset, Bierschwale ve Aouad, 1988) yararlanarak NCEER (1997)'de $M_w=7,5$ büyüklüğündeki depreme ait CRR'yi kayma dalga hızının (V_s) bir fonksiyonu olarak ortaya koymuşlardır. Sıvılaşmanın yüzey etkilerinin gözlenme durumuna göre bu fonksiyonu kullanarak MSF değerini üstel bir fonksiyon ile tahmin etmişlerdir (Eş. 2.6).

$$MSF = (M_w/7,5)^{-3,3} \quad (2.6)$$

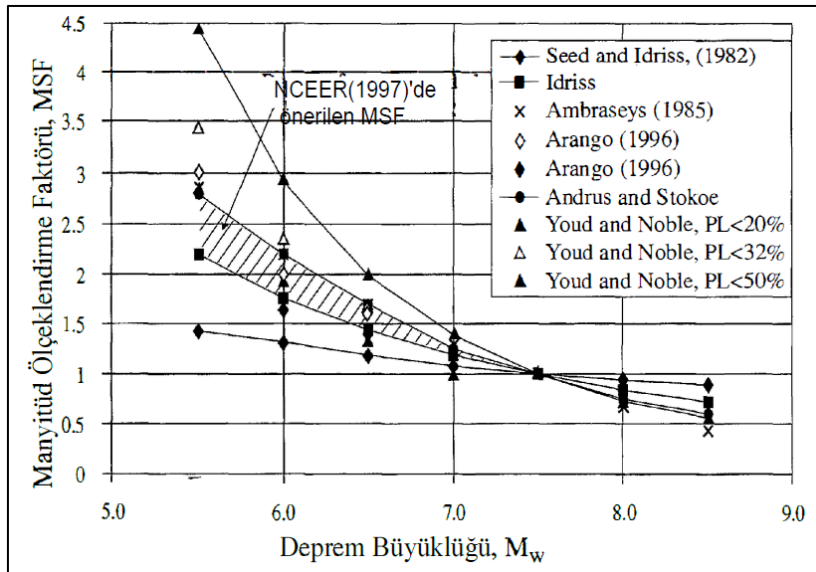
Youd ve Noble deprem büyüklüğü ve sıvılaşmanın meydana gelme olasılığını (PL) kullanarak MSF eşitliğini ortaya koymuşlardır (Eş. 2.7, 2.8, 2.9) (NCEER, 1997).

$$PL < \% 20 \text{ (Olasılık)} \quad MSF = 10^{3,81}/M_w^{4,53} \quad M_w < 7 \quad (2.7)$$

$$PL < \% 32 \text{ (Olasılık)} \quad MSF = 10^{3,74}/M_w^{4,33} \quad M_w < 7 \quad (2.8)$$

$$PL < \% 50 \text{ (Olasılık)} \quad MSF = 10^{4,21}/M_w^{4,81} \quad M_w < 7.75 \quad (2.9)$$

NCEER (1997)'de, Idriss, Seed ve Idriss (1982), Ambraseys (1988), Arango (1996), Andrus ve Stokoe ile Youd ve Noble'nin MSF üzerine yapmış olduğu çalışmalar bir grafik üzerinde toplanmış ve MSF için tavsiye edilen bir aralık belirlenmiştir (Şekil 2.11).

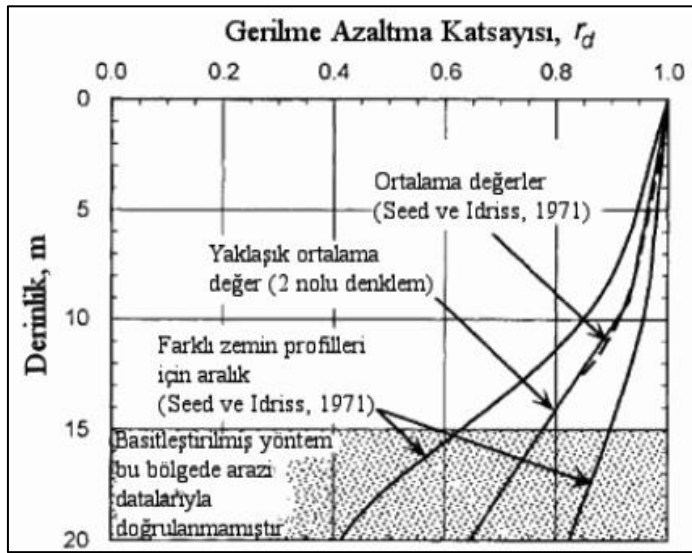


Şekil 2.11. Araştırmacılar tarafından elde edilen MSF değerleri (NCEER, 1997)

Çetin ve Bilge (2012), $N_{1,60}$ değerini sabit tutarak ve farklı büyüklüklere karşılık gelen CRR değerlerini $M_w=7,5$ büyüklüğündeki depreme ait CRR'ye oranlayarak MSF ilişkisi ortaya koymuştur (Eş. 2.10).

$$MSF = (7,5/M_w)^{2,217} \quad (2.10)$$

Derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısı değeri (r_d) ilk olarak Seed ve Idriss (1971) tarafından 12 metre derinliğe kadar 0,85-1 arasında değişen ortalama değer çizgisi olarak önerilmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Sıvılaşma duyarlılığı kriterlerinin grafiksel gösterimi (Bray ve Sancio, 2006)

r_d , Liao ve Whitman (1986) tarafından 23 metre derinliğe kadar formüle edilmiştir (Eş. 2.11, Eş. 2.12). Daha büyük derinliklerde r_d 'yi tahmin etmek için farklı çalışmacılar tarafından ek eşitlikler geliştirilmiştir. Eş. 2.13, Robertson ve Wride tarafından National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) tarafından desteklenen 1996 yılındaki çalıştay raporunda, Eş. 2.14 ise William R. Marcuson (US Army Engineers) tarafından aynı çalıştay sonrası tartışmalar kısmında önerilmiş ve kabul görmüştür (NCEER, 1997).

$$r_d = 1,0 - 0,0765 z \quad z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2.11)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 z \quad 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \quad (2.12)$$

$$r_d = 0,744 - 0,008 z \quad 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \quad (2.13)$$

$$r_d = 0,50 \quad 30 \text{ m} < z \quad (2.14)$$

Thomas F. Blake tarafından gerilme azaltma katsayısının belirlenmesi için alternatif bir eşitlik (Eş. 2.15) önerilmiştir (NCEER, 1997).

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.00620z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (2.15)$$

Idriss (1999), Golesorkhi (1989) çalışmalarından da yararlanarak r_d katsayısının deprem büyüklüğü ile ilişkili olduğunu düşünerek farklı bir matematiksel eşitlik geliştirmiştir (Eş. 2.16).

$$\ln(r_d) = \alpha(z) + \beta(z)M_w \quad (2.16)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

Kayen ve diğerleri (1992), 10 metreden daha derin zemin sütunu için r_d 'yi Eş. 2.17'deki formül ile tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

$$r_d = 1 - 0.012(z) \quad (2.17)$$

Sıvılaşma direncinin belirlenmesi için zemine ait çevrimsel direnç (kayma dayanımı) oranının (CRR) belirlenmesi gerekir. CRR, laboratuvar deneyleri yanı sıra in-situ deneyler ile de belirlenebilmektedir. Örselenmemiş numuneler üzerinde dinamik üç eksenli basınç, dinamik basit kesme deneyi veya dinamik burulmalı kesme deneyi ile zemine ait kayma direnci laboratuvar ortamında belirlenebilmektedir. Ancak zeminin yerindeki gerilme değerlerinin laboratuvar ortamında oluşturulması pek mümkün değildir. Özellikle klasik numune alma yöntemleriyle kohezyonsuz-granüler zeminlerden alınan örnekler anlamlı sonuç elde edilemeyecek kadar örselenmeye uğramaktadır. Bu tip zeminlerin dondurularak laboratuvara götürülmesi uygun olsa da bu yöntem oldukça zahmetli ve maliyetlidir. Bu nedenle sıvılaşma analizleri için Standart penetrasyon testi (SPT), koni penetrasyon testi (CPT), kayma dalgası hız ölçümleri (V) ve Becker penetrasyon testi (BPT) gibi çeşitli saha deneyleri ön plana çıkmaktadır (NCEER, 1997).

SPT deney sonuçlarının %60 enerji oranı, örtü yükü ve ince tane oranı düzeltmeleri sonucu elde edilen $N_{1,60f}$ değerine göre moment büyüklüğü (Mw) 7.5 olan depreme göre CRR değeri 2.18'den elde edilebilmektedir (Youd ve diğerleri, 2001).

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (2.18)$$

$N_{1,60f}$ = İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş darbe sayısı

IDI , ince tane içeriği

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

$$\alpha = 0$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190 / IDI^2)]$$

$$\alpha = 5.0$$

$$\beta = 1.0$$

$$\beta = 0.99 + IDI^{1.5} / 1000$$

$$\beta = 1.2$$

$$(IDI \leq \%5)$$

$$(\%5 < IDI \leq \%35)$$

$$(IDI \geq \%35)$$

2.2. CPT ile İlgili Çalışmalar

CPT'ye dayalı geliştirilen yöntemler, sıvılaşma vaka analizlerindeki SPT_N değerlerinin CPT uç direnci ile karşılaştırılması ile geliştirilmiştir. Sürekli veri alınabilmesi, operatör ve ekipmana bağımlılığının az olması, daha fazla tekrarlanabilmesi gibi nedenler CPT'yi diğer saha deneylerinden daha avantajlı konuma taşımaktadır. CPT ile arazide koni penetrasyon uç direnci (q_c) ve sürtünme direnci (f_s), CPTU ile bunların yanı sıra boşluk suyu basıncı (u) ölçümleri sürekli datalar halinde elde edilebilmektedir.

Temiz kumlarda penetrasyon direnci genellikle derinlikle doğrusal olmayan bir şekilde değişir bu nedenle araziden elde edilen penetrasyon direncine bazı düzeltmeler uygulamak gerekmektedir (Robertson, 2016).

$$q_{c1} = q_c \times C_Q$$

$$q_{c1N} = q_{c1} / Pa$$

$$C_Q = (Pa / \sigma'_{v0})^n$$

$$q_t = q_c + u_t (1 - a) \quad (2.19)$$

$$Q_t = [(q_t - \sigma_v) / Pa] \times (Pa / \sigma'_{v0})^n \quad (2.20)$$

$$F_R = [f_s / (q_c - \sigma_{v0})] \times 100 \quad (2.21)$$

$$R_F = (f_s / q_c) \times 100$$

q_c , Ölçülen penetrasyon uç direnci

q_{c1} , Örtü yükü düzeltmesi uygulanmış penetrasyon uç direnci

$q_{c1N}(Q_m)$, Örtü yükü düzeltmesi uygulanmış penetrasyon uç direnci (birimsiz)

C_Q , Örtü yükü düzeltme katsayısı

σ_v, σ'_{v0} , Toplam ve efektif düşey örtü yükü basıncı

P_a , ~100 kPa (1 atm) değerindeki referans gerilmesi

q_t , Boşluk suyu basıncı düzeltmesi uygulanmış penetrasyon uç direnci

u_t , Koni ucunun arkasında ölçülen boşluk suyu basıncı

a , Koni ucu için alan oranı

n , Zemin tipine göre değişen üs

Q_t , Normalleştirilmiş penetrasyon uç direnci (birimsiz)

f_s , Sürtünme direnci

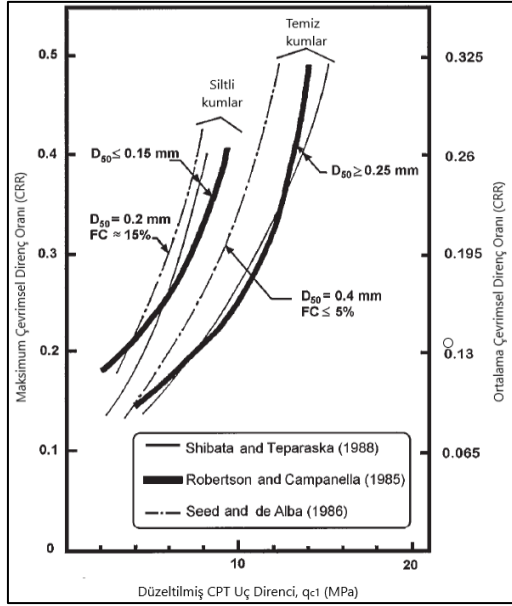
R_F , Sürtünme oranı

F_R , Normalize edilmiş sürtünme oranı

Campanella, Gillespie ve PK (1982) boşluk suyu basıncının da ölçüldüğü CPTU çalışmalarında penetrasyon uç direncinin Eş. 2.19'daki gibi düzeltilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Wroth (1984) ve Houlsby (1988) CPT uç direncinin ve sürtünme oranının Eş. 2.20 ve Eş. 2.21'deki parametreler ile normalleştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

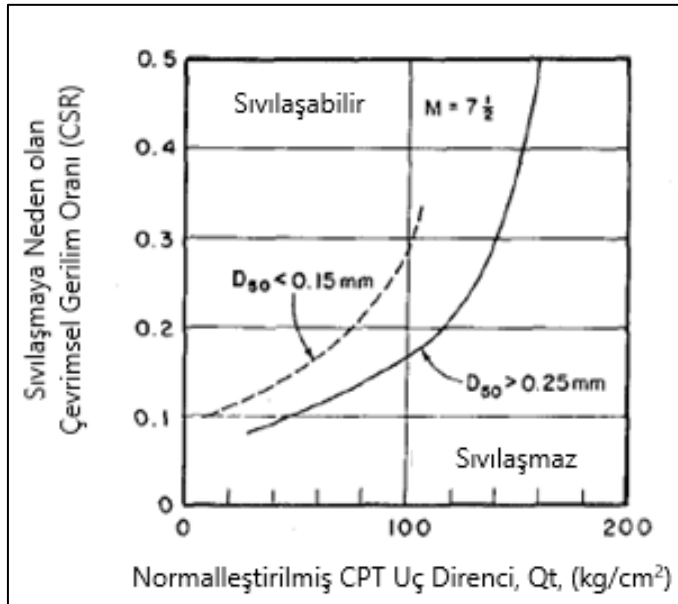
CPT'den elde edilen penetrasyon direnci kullanılarak CRR'yi tahmin etmek üzere bir dizi korelasyonlar geliştirilmiştir (NCEER, 1997).

Robertson ve Campanella (1985), Seed ve De Alba (1986), Shibata ve Teparaksa (1988) SPT-CPT dönüşümlerine dayanarak temiz kumlar için q_{c1} 'den CRR'yi tahmin etmek için grafikler geliştirmişlerdir (Şekil 2.13).



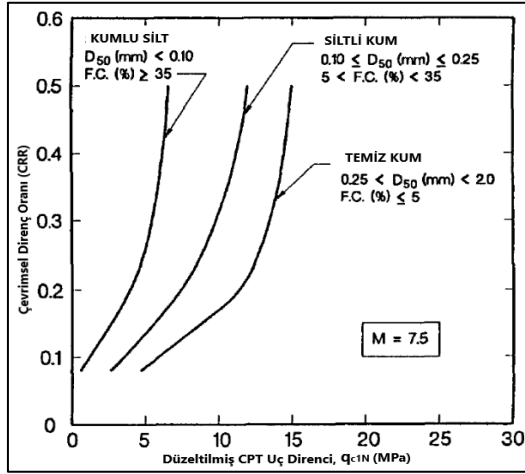
Şekil 2.13. Temiz kumlar için CPT tabanlı CRR'nin tahmin edilmesi (Robertson ve Wride, 1998) (D_{50} ortalama tane boyutu, FC ince tane oranı)

Robertson ve Campanella (1985), SPT sonuçları ile Q_t arasında bir bağıntı oluşturmuşlardır. Düz zemin koşullarında ve $M_w=7,5$ büyüklüğündeki depremde temiz kum ve siltli kum birimleri için $CSR-Q_t$ arasında bir korelasyon grafiği geliştirmişlerdir (Şekil 2.14).



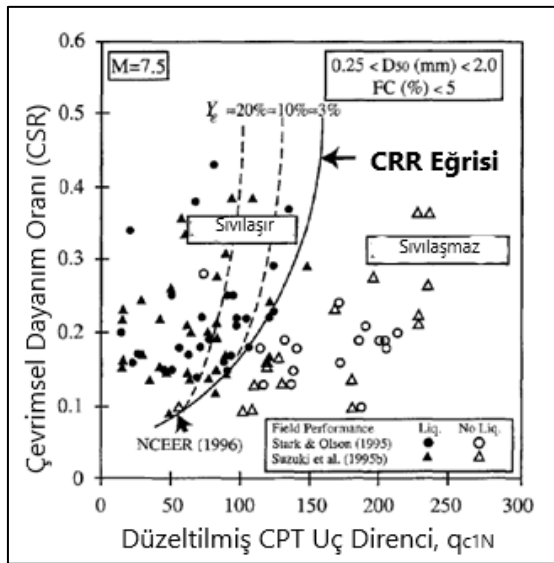
Şekil 2.14. Kum ve siltli kumlar için q_{c1} ile CSR korelasyonları (Robertson ve Campanella, 1985)

Stark ve Olson (1995) farklı sahalardan elde edilen verilere dayanarak, kumlu topraklar için, ince dane içeriği ve ortalama tane boyutuna dayalı olarak q_{c1N} – CRR arasında korelasyon geliştirmiştir (Şekil 2.15).



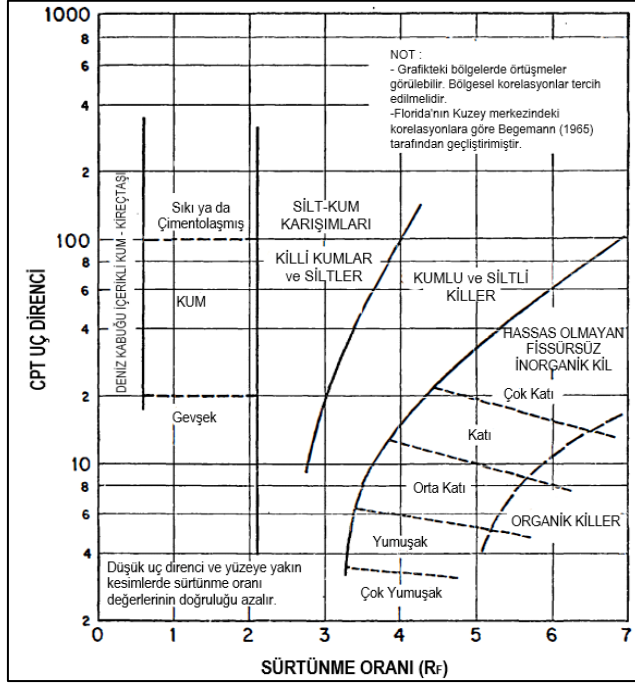
Şekil 2.15. İnce dane içeriği ve ortalama tane boyutuna dayalı olarak q_{c1N} – CRR grafiği (Stark ve Olson, 1995)

Temiz kumlardaki (İnce tane oranı $\leq 5\%$) CRR'yi tahmin etmek için Robertson ve Wride (1998) tarafından $M_w=7.5$ büyüklüğündeki depremler için q_{c1N} 'e bağlı NCEER (1997)'de de kabul gören bir grafik önerilmiştir (Şekil 2.16). CRR'yi tahmin etmek için n değerini 0,5 olarak kabul edilerek hesaplanan normalleştirilmiş penetrasyon uç direnci (Q_t) kullanılmaktadır (NCEER, 1997).



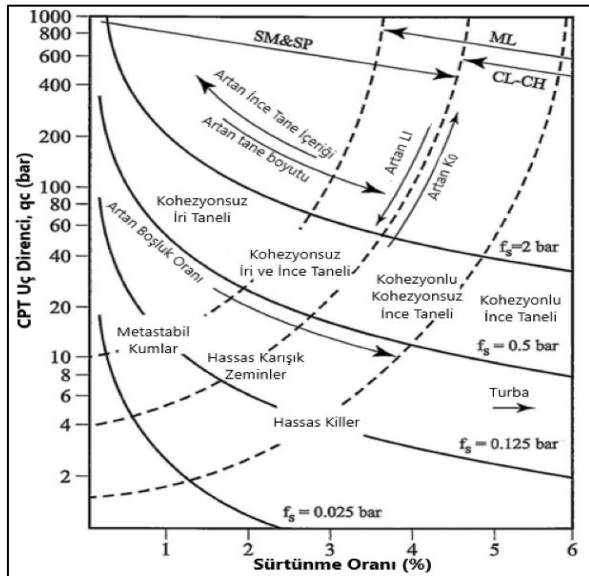
Şekil 2.16. CPT Verilerinden ve Ampirik Sıvılaşma Verilerinden CRR'nin Hesaplanması için Önerilen Eğri (Robertson ve Wride, 1998)

Schmertmann (1978), Begemann (1965)'in verilerine ek olarak Florida'da gerçekleştirilen CPT verilerini kullanmış $q_c - R_F$ arasındaki ilişkiye dayanarak doğrusal olmayan litoloji sınırlarına sahip yarı logaritmik bir abak önermiştir (Şekil 2.18).



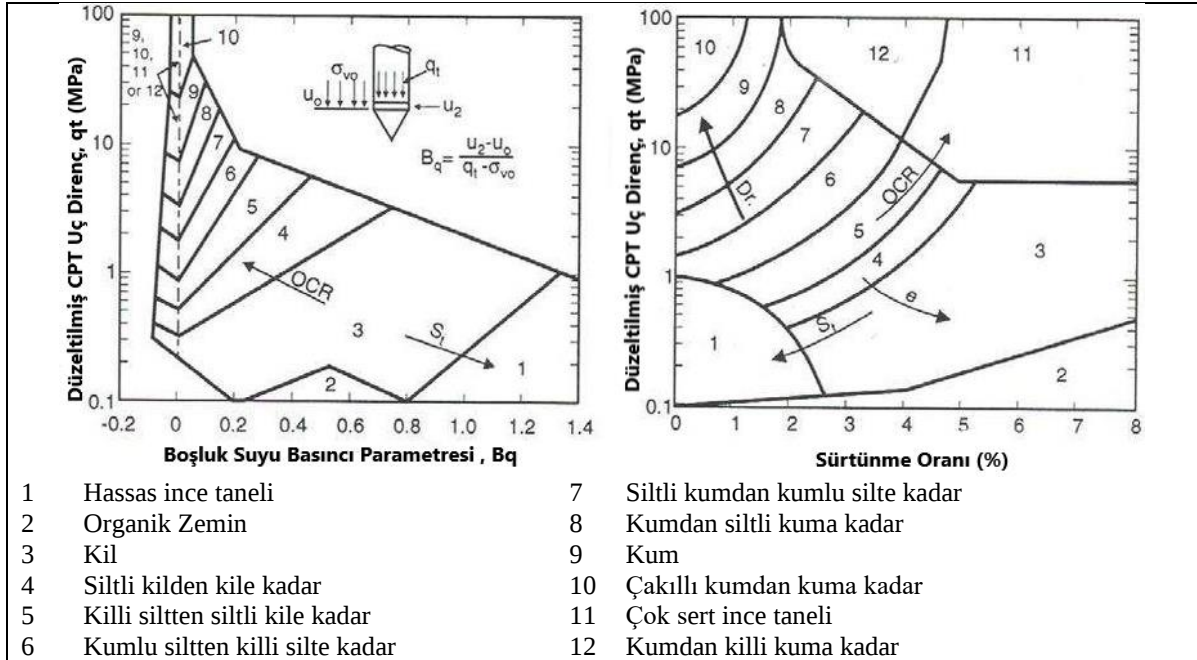
Şekil 2.18. Zemin Sınıflama Abağı (Schmertmann, 1978)

Douglas ve Olsen (1981), önceki çalışmacılardan farklı olarak zemin davranış modelini öne çıkaran $q_c - R_F$ 'ye bağlı bir yaklaşım sunmuştur (Şekil 2.19).



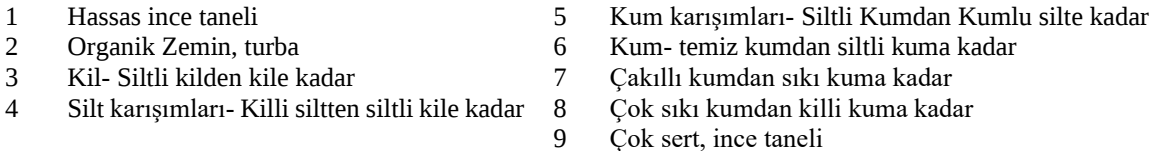
Şekil 2.19. Zemin Davranış Modeline Göre Sınıflama Abağı (Douglas ve Olsen, 1981)

Robertson ve Campanella (1985) CPT uygulamaları için $q_t - R_F$ 'ye, boşluk suyu basıncının da ölçüldüğü CPTU uygulamaları için ise $q_t - B_q$ 'ya bağlı zemin davranış tipi sınıflama abaklarını önermişlerdir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Zemin Davranış Tipi Sınıflama Abağı (Robertson ve Campanella, 1985)

Buna bağlı olarak Robertson (1990), zemin davranış tiplerini, sınırları eş merkezli daire parçalarından oluşan bölgelere ayıran bir grafik ortaya koymuştur (Şekil 2.21). Sınırları oluşturan bu eş merkezli daire parçalarını zemin davranış modeli indisi (I_c) olarak tanımlamış ve formüle etmiştir (Eş. 2.25). 1, 8 veya 9 nolu bölgeler için Zemin davranış tipi indeksi geçerli değildir (NCEER, 1997).

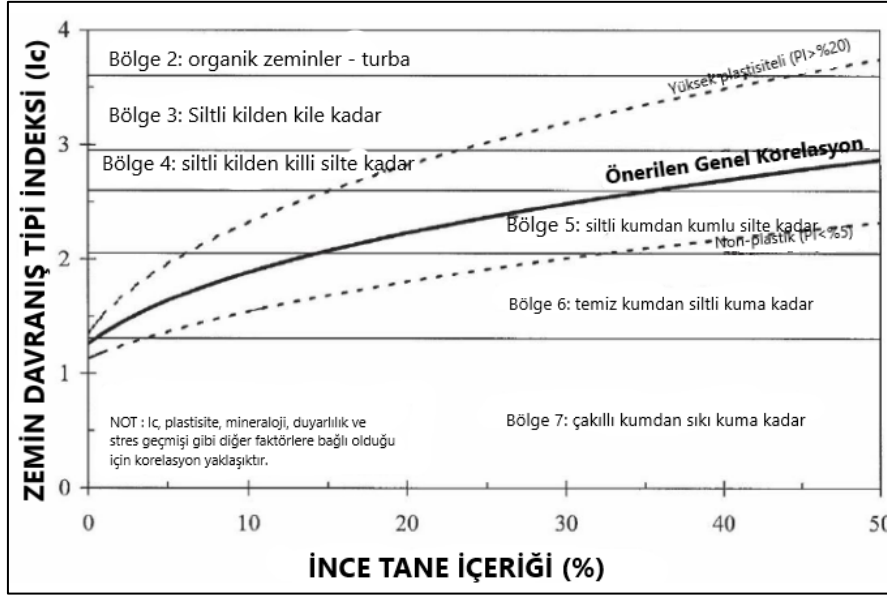


Şekil 2.21. CPT zemin davranış tipi çizelgesi (Robertson, 1990)

$$I_c = [(3,47 - \log Q_t)^2 + (\log F_R + 1,22)^2]^{0,5} \quad (2.25)$$

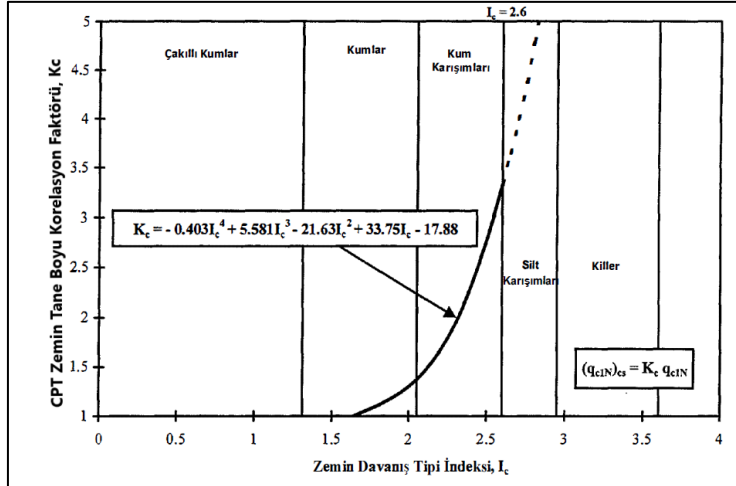
Robertson (1990) tarafından hazırlanan zemin davranış tipi çizelgesi, $n = 1$ olarak kabul edilerek hesaplanan normalleştirilmiş penetrasyon uç direncini (Q_t) kullanmaktadır (NCEER, 1997). İlk olarak $n=1$ olmak kaydıyla Q_t ve dolayısıyla I_c değeri hesaplanır ve $I_c > 2,6$ ise Şekil 2.21’den zemin davranış tipi belirlenebilir. Bu şekilde elde edilen I_c değeri 2,6’dan küçük ya da eşitse ($I_c \leq 2,6$) Q_t ’yi hesaplamak için kullanılan üs (n) 0,5 olarak değiştirilmeli ve yeniden hesaplama yapılmalıdır. Bu hesaplama sonucunda $I_c \leq 2,6$ şartı sağlanırsa ise Şekil 2.21’den zemin davranış tipi belirlenebilir. Bununla birlikte $I_c > 2,6$ şartı ortaya çıkar ise $n=0,75$ alınarak I_c değeri yeniden hesaplanır ve çıkan sonuca göre zemin davranış tipi Şekil 2.21’den belirlenir.

Robertson (1990), zemindeki ince tane içeriği ve zeminin plastisite indeksi (PI) değerine göre zemin davranış tipi indeksinin (I_c) belirlenebilmesine yönelik bir grafik ortaya koymuştur (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. İnce tane içeriği - I_c ilişkisi (Robertson, 1990)

Siltli kumlar için kullanılan q_{c1N} değeri, temiz kumlar için K_c düzeltme katsayısı ile çarpılarak $(q_{c1N})_{cs}$ değerine dönüştürülür (Eş. 2.24). Robertson ve Wride (1998), I_c değerine göre K_c 'nin belirlenebilmesi için $K_c - I_c$ grafiğini ortaya koymuşlardır (Şekil 2.23). Ayrıca K_c düzeltme katsayısını Eş. 2.26 ve Eş. 2.27 ile formüle etmişlerdir.



Şekil 2.23. $K_c - I_c$ grafiği (Robertson ve Wride, 1998)

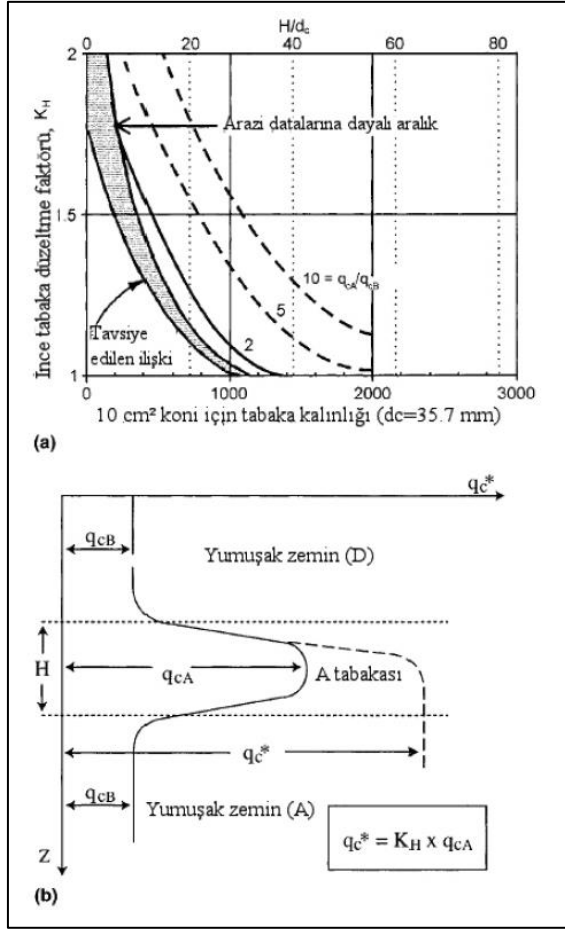
$$K_c = 1 \quad I_c \leq 1,64 \quad (2.26)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad I_c > 1,64 \quad (2.27)$$

Arazi uygulamaları ve laboratuvar çalışmaları, CPT uç direncinin altında ve üzerindeki yumuşak zemin tabakalarından etkilendiğini ortaya koymuştur. Yumuşak zeminlerde etki mesafesi 2 ila 3 koni çapı kadar küçük olabilirken sert zeminlerde etki alanı 20 koni çapına kadar olabilir (NCEER, 1997). Dolayısıyla ince tabakalı zeminlerde CPT her zaman doğru zemin özelliklerini belirleyemeyecektir. Vreugdenhil, Davis ve Berrill (1994), ince katmanlarda ölçülen koni direncindeki hatanın, katmanın kalınlığının yanı sıra çevredeki daha yumuşak zemine göre katmanın sertliğinin bir fonksiyonu olduğunu göstermişlerdir. Buna göre sert tabakaya ait uç direnci (q_{cA}), yumuşak tabakaya ait uç direnci (q_{cB}) olmak üzere q_{cA}/q_{cB} oranına ve tabaka kalınlığına göre belirlenen K_H düzeltme katsayısı önerilmektedir (Şekil 2.24).

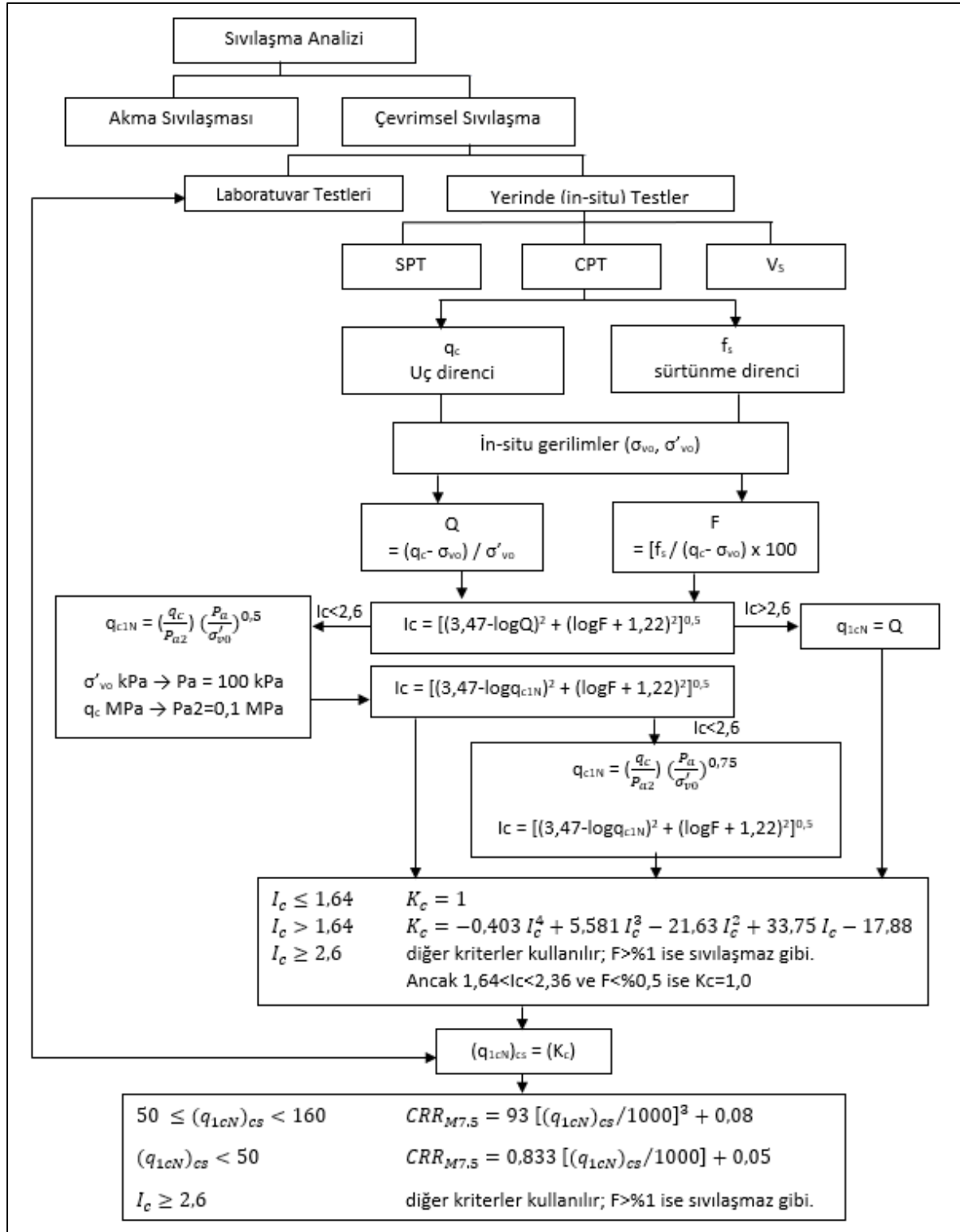
Robertson ve Fear (1995), Şekil 2.24’de görüldüğü üzere ince tabakalar için $q_{cA}/q_{cB} = 2$ ’ye karşılık gelen muhafazakâr bir düzeltme faktörü önermişlerdir (Eş. 2.28). Burada H tabaka kalınlığı (mm), d_c koni çapıdır (mm).

$$K_H = 0,5 \left(\frac{H/d_c}{28} - 1,45 \right)^2 + 1 \quad I_c \leq 1,64 \quad (2.28)$$



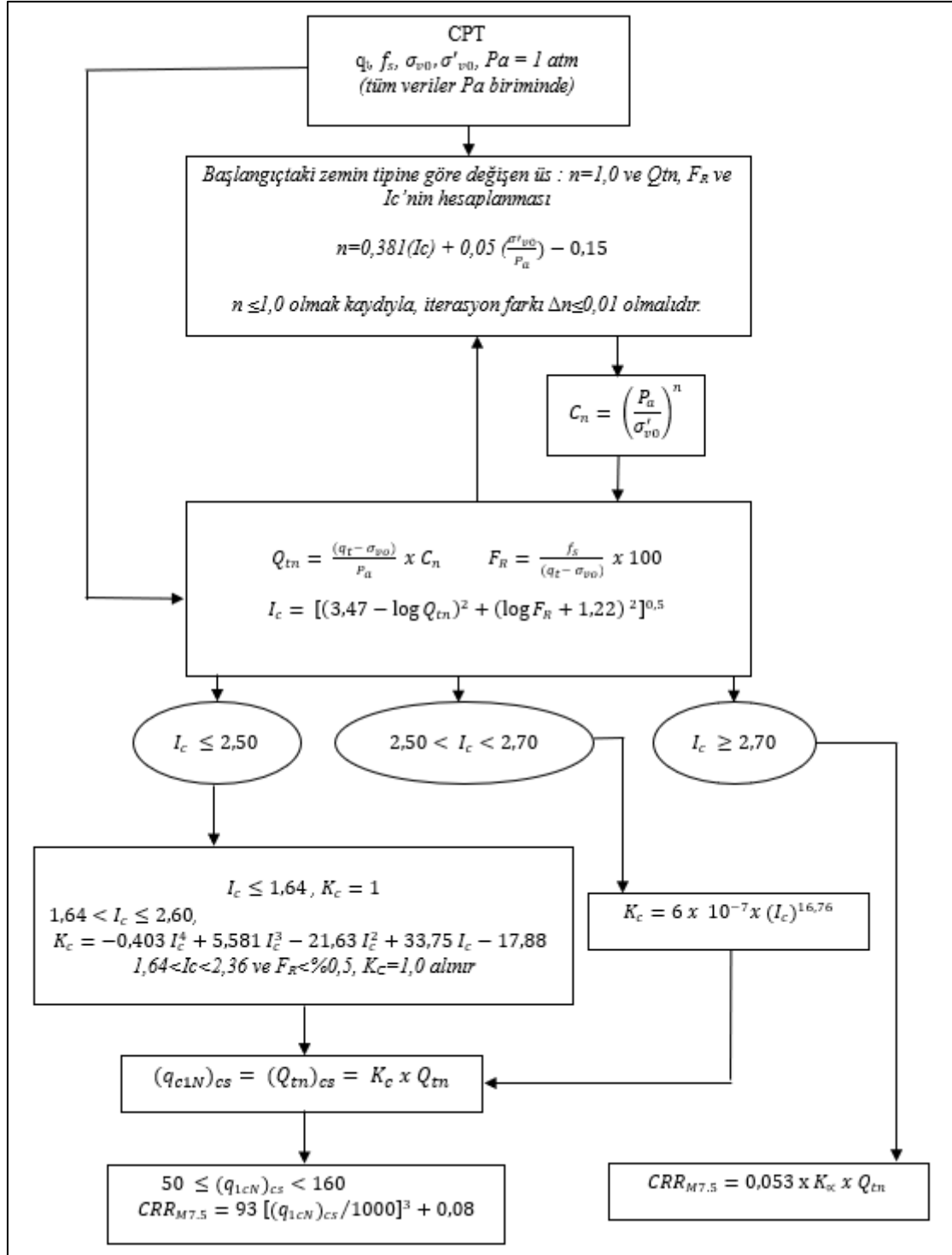
Şekil 2.24. İnce kum tabakaları için CPT uç direnci düzeltme faktörü (Vreugdenhil ve diğerleri, 1994), (Robertson ve Fear, 1995)

NCEER (1997)'de CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenebilmesi için adım adım süreci açıkça gösteren ve sürecin her adımı için denklemlerin verildiği akış şeması ortaya konulmuştur (Şekil 2.25).

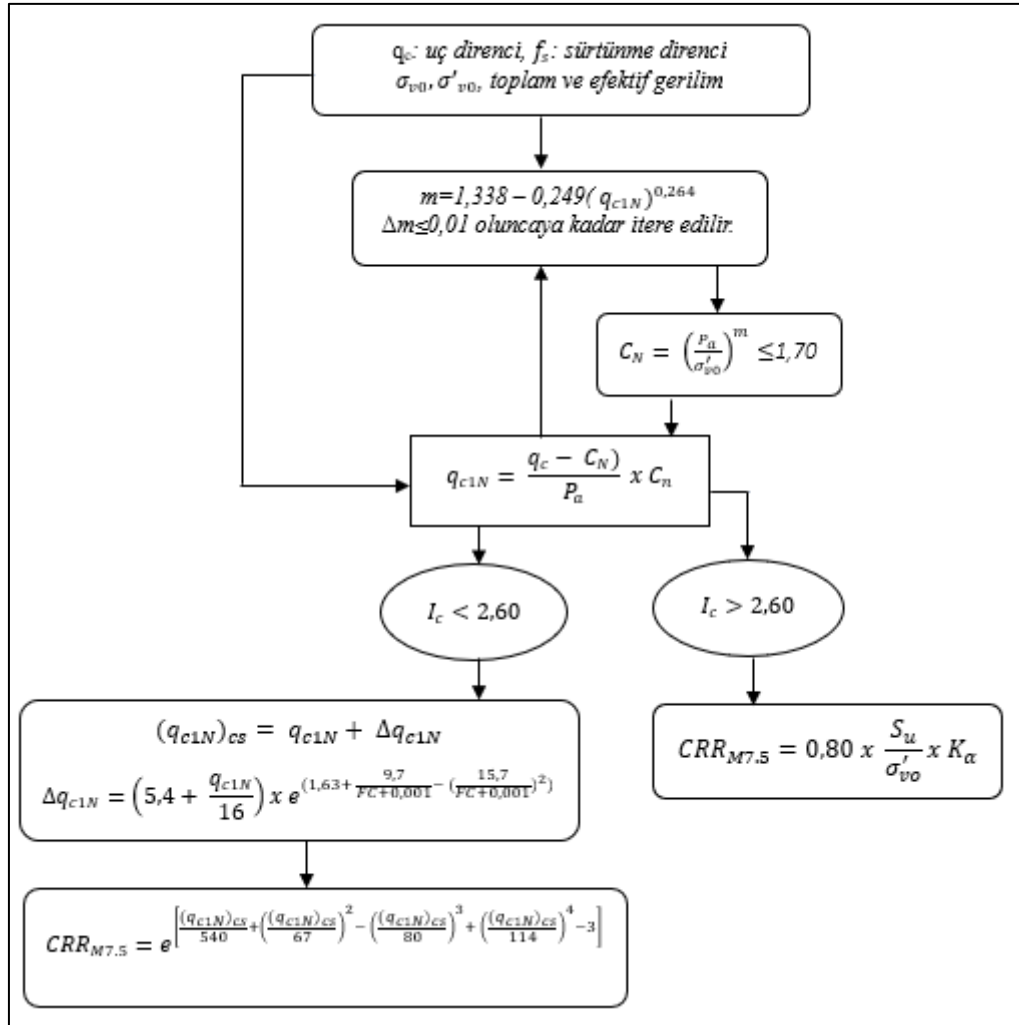


Şekil 2.25. CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması (NCEER, 1997)

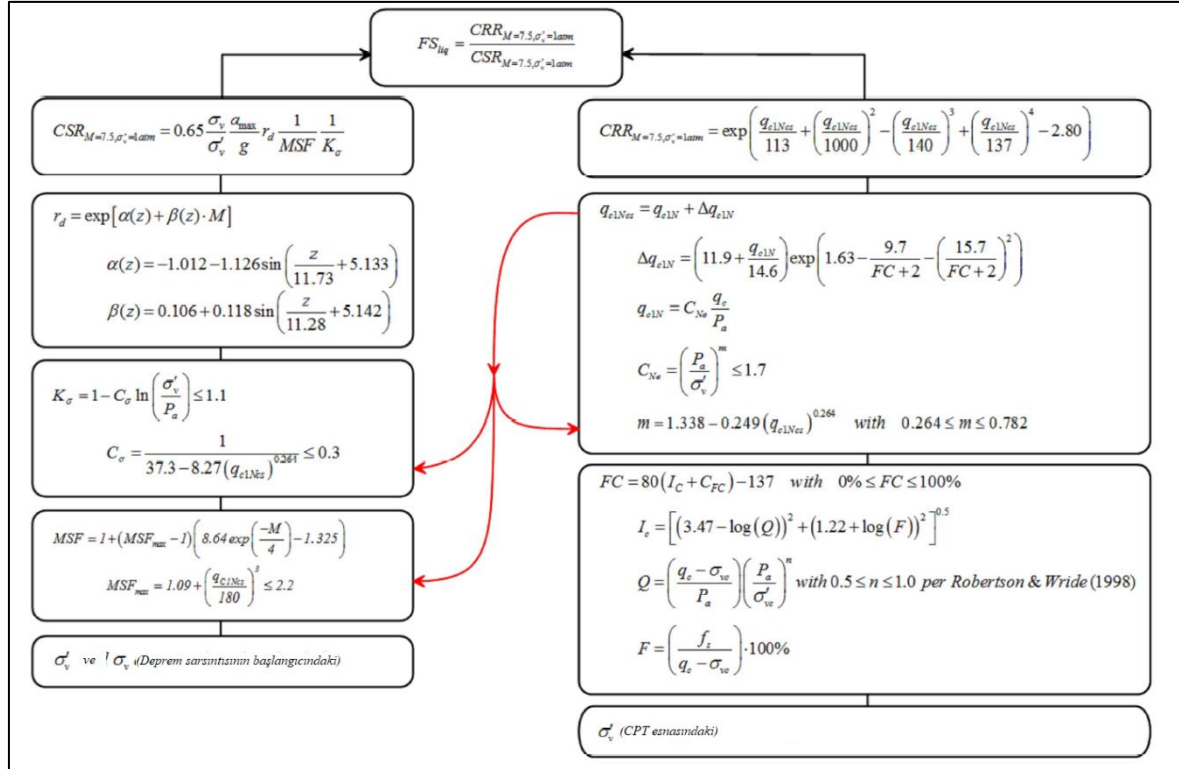
Tez kapsamında sıvılaşma analizlerinde kullanılan yöntemler NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)) (Şekil 2.26), Idriss ve Boulanger (2008) (Şekil 2.27), Boulanger ve Idriss (2014) (Şekil 2.28) ve Moss ve diğerleri (2006) (Şekil 2.29) tarafından geliştirilmiş prosedürlerdir.



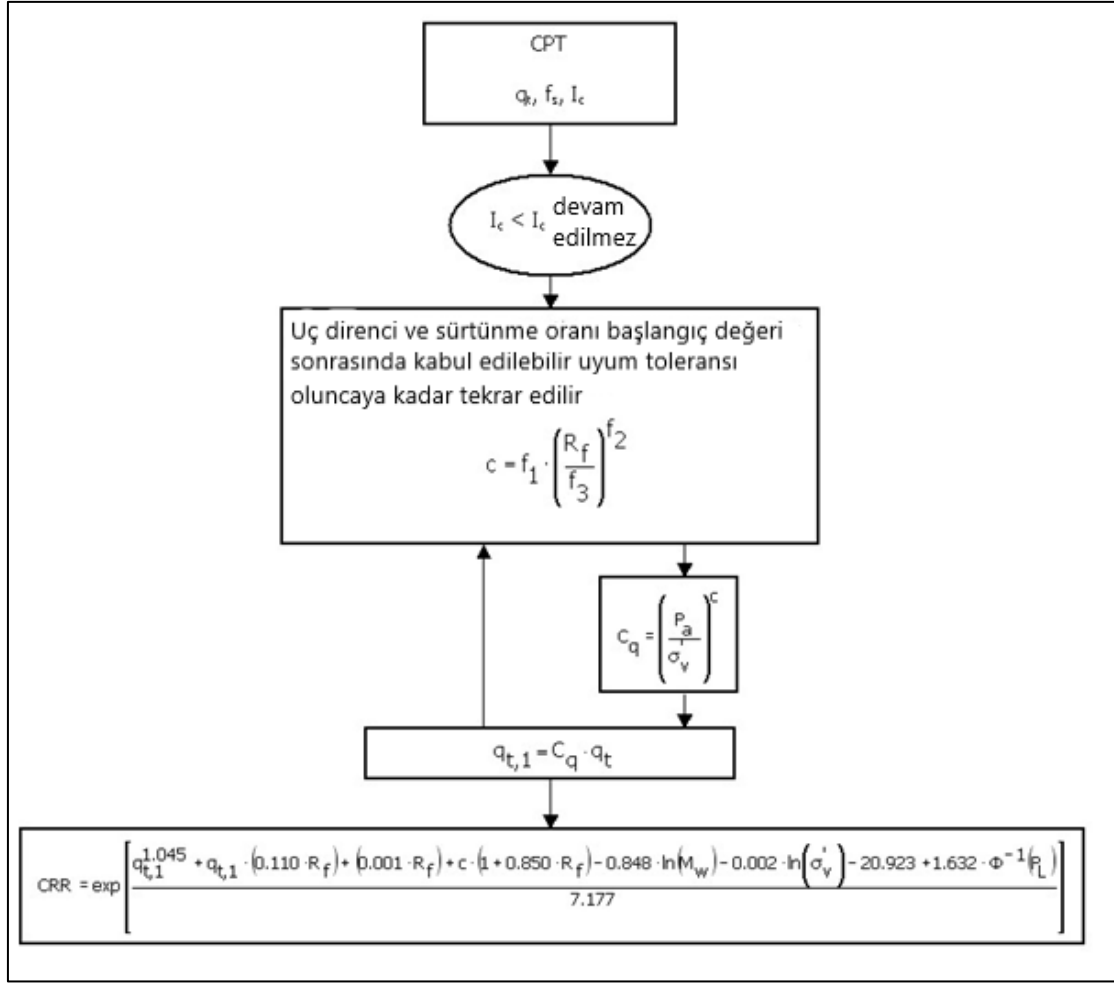
Şekil 2.26. Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması



Şekil 2.27. Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması



Şekil 2.28. Boulanger ve Idriss (2014) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması



Şekil 2.29. Moss ve diğerleri (2006) yöntemine göre CPT'ye dayalı olarak CRR'nin belirlenmesi için akış şeması

Iwasaki ve diğerleri (1982) sıvılaşma analizlerinde rutin güvenlik katsayısı hesaplamalarına ilaveten, zemin deformasyonlarının ve hasarının ifade edilebilmesi amacıyla Sıvılaşma Potansiyel İndisi (LPI) kavramını ortaya sürmüştür. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi 20 metre derinliğe kadar hesaplanmakta olup güvelik katsayısının 1'den az olduğu kesimler için hesaplama yapılmaktadır (Şekil 2.30). Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI);

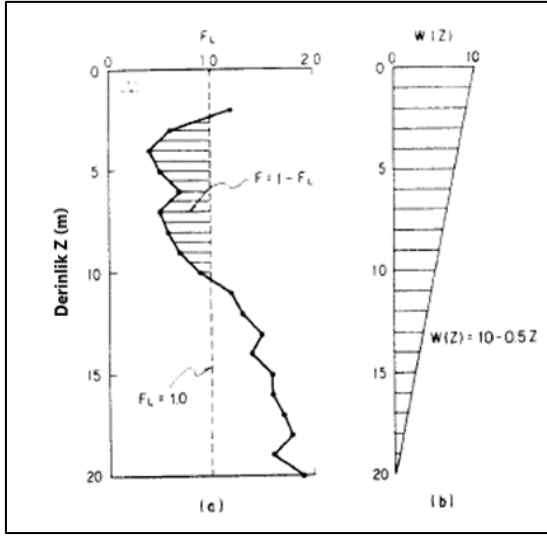
$$LPI = \int_0^{20} F_L \cdot W(z) \cdot dz$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada;

F_L , sıvılaşan her bir seviye için tanımlanan indeks değeri (Şekil 2.30-a)

$W(z)$, Derinliğe bağlı değişen katsayı (10-0,5z) (Şekil 2.30-b)

z , tabaka kalınlığını ifade etmektedir.



Şekil 2.30. Güvenlik Katsayısı ve Derinliğin şematik gösterimi (Iwasaki ve diğerleri, 1982)

Çizelge 2.2. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (Iwasaki ve diğerleri, 1982)

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI)	Sıvılaşma Riski
0	Çok Düşük
$0 < LPI \leq 5$	Düşük
$5 < LPI \leq 15$	Yüksek
$15 < LPI$	Çok Yüksek

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005), derinliğe bağlı sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının 1.411 sınır koşuluna göre zemin deformasyonlarının ve hasarının ifade edilebilmesi amacıyla (L_S) kavramını ortaya sürmüştür. Buna göre;

$$L_S = \int_0^{20} P_L(z) \cdot (W_z) \cdot dz$$

$P_L(z)$, Derinliğe bağlı sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı
 (W_z) , Derinliğe bağlı değişen katsayı ($10-0,5z$) (Şekil 2.30-b)
 z , Tabaka kalınlığını ifade etmektedir.

$$F_L \leq 1.411 \text{ için} \quad P_L(z) = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_L}{0.96}\right)^{4.5}}$$

$$F_L > 1.411 \text{ için} \quad P_L(z) = 0$$

şeklinde belirlenir.

Çizelge 2.3. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)

Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (L_s)	Sıvılaşma Şiddeti
$85 < L_s \leq 100$	Çok Yüksek
$65 < L_s \leq 85$	Yüksek
$35 < L_s \leq 65$	Orta
$15 < L_s \leq 35$	Düşük
$0 < L_s \leq 15$	Çok Düşük
$L_s = 0$	Sıvılaşmaz

Serbest yüzeyden uzak düz zemin yüzeylerinde depremden sonra çok az ya da hiç yanal yer değiştirme oluşmayacağı varsayımına dayanarak hacimsel gerilmenin dikey gerilmeye eşit ya da yakın olacağı muhtemeldir. Her bir zemin katmanındaki düşey gerilme derinlikle birlikte düşünüldüğünde potansiyel sıvılaşma kaynaklı oturma hesaplanabilmektedir (Eş. 2.29).

$$S = \sum_{i=1}^j (\varepsilon_{vi} \cdot \Delta Z_i) \quad (2.29)$$

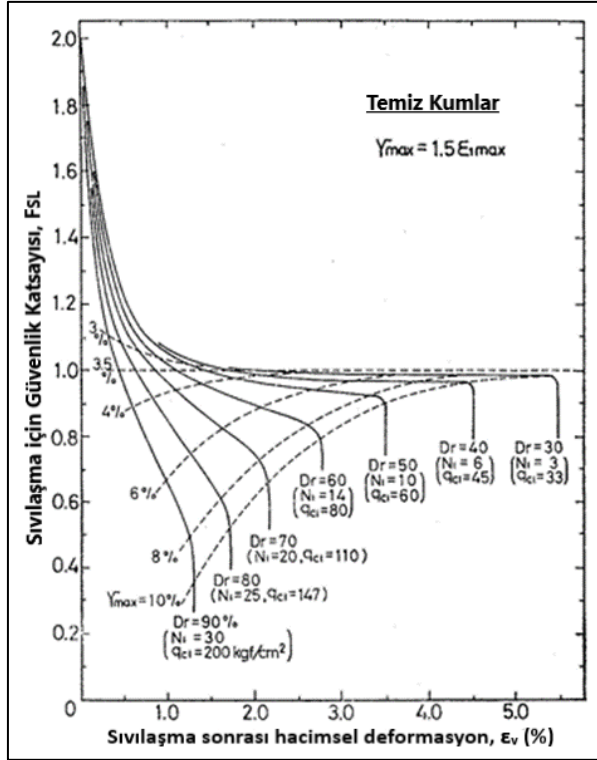
S, yüzeyde beklenen oturma miktarı

ε_v , her bir tabaka için hacimsel birim deformasyon

Z, tabaka kalınlığı,

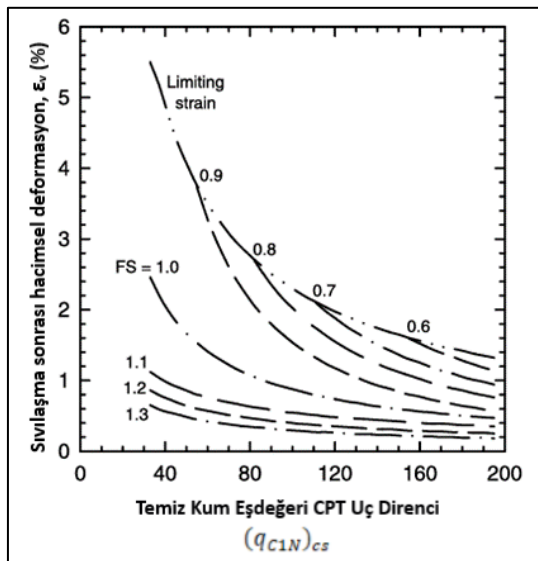
i, j, zemin tabaka sayısı

Ishihara ve Yoshimine (1992), temiz kumlar üzerinde yapmış oldukları laboratuvar deneyleri sonucunda, sıvılaşma kaynaklı hacimsel birim deformasyonu belirlemek amacıyla sıvılaşma güvenlik katsayısı ve zeminin relatif sıkılığı ile bağıntılı bir grafik geliştirmişlerdir (Şekil 2.31).



Şekil 2.31. Temiz kumların sıvılaşma sonrası hacimsel gerilmesini tahmin etmek için eğriler (Ishihara ve Yoshimine, 1992)

Zhang ve diğerleri (2002), Robertson ve Wride (1998) tarafından önerilen temiz kum eşdeğeri CPT penetrasyon direncini ($(q_{C1N})_{cs}$) kullanarak kumlu ve siltli zeminlerdeki sıvılaşma sonrası hacimsel gerilmeleri tahmin etmek için bir yaklaşım sunmuşlardır .



Şekil 2.32. Farklı güvenlik katsayıları için sıvılaşma sonrası hacimsel gerilme ile temiz kum eşdeğeri CPT penetrasyon direnci arasındaki ilişki (Zhang ve diğerleri, 2002)

2.3. Gölbaşı (Adıyaman)'nda Yapılan Önceki Çalışmalar

Gölbaşı (Adıyaman) ilçe merkezi, Anadolu'nun en önemli yapısal unsurlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Hattı'nın Pazarcık ve Erkenek Segmenti'nin kesiştiği noktada olup bölgede daha önceden yapılmış olan çalışmaların bir kısmı şu şekildedir:

Ketin (1966), Anadolu'nun tektonik-orojenik evrimi kademeli olarak Kuzey'den Güney'e doğru ilerlediğini belirtmiş ve Türkiye'yi yaşlıdan gence doğru Pontidler, Anatolidler, Toroslar ve Kenar kıvrımları şeklinde dört tektonik bölüme ayırmıştır. Buna göre Gölbaşı (Adıyaman) Toroslar tektonik bölümü sınırına yakın bir kesimde Kenar kıvrımları bölümünde yer almaktadır.

Arpat ve Şaroğlu (1972), 22 Mayıs 1971 Bingöl ve çevresinde hissedilen deprem sonrasında bölgede yapmış oldukları çalışmalarda kısa bir isim taşıması ilkesini göz önünde bulundurarak bu fay için “Doğu Anadolu Fayı” (DAF) adını kullanmışlardır.

McKenzie (1972) Orta Atlantik sırtı ile Doğu İran arasındaki Alpid kuşağındaki depremler için 100'den fazla fay düzlemi çözümünü incelemiş ve oluşturduğu modelde, DAF'ı takip eden sismik sistemin Türkiye ve Arap levhalarından oluşan plaka sınırı olduğunu belirtmiştir.

Arpat ve Şaroğlu (1975) Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) olarak adlandırdığı fay zonunu segmentler halinde haritalamışlardır. Bu çalışmalarında Gölbaşı (Adıyaman) bölgesinde eğim atımlı fayların olduğundan bahsetmişlerdir.

Şaroglu, Emre ve Kuşçu (1992) DAF'ın tümünü ele alarak, fayın Geç Pliyosen'den günümüze aktif olduğunu ve 4-25 km arasında değişen atımların geliştiğini belirtmişlerdir.

İmamoğlu (1993), Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı (K. Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesini doktora tezi olarak ortaya koymuştur.

İmamoğlu ve Gökten (1996), Doğu Anadolu Fay Zonu Gölbaşı Kesimi Neotektonik Özellikleri ve Gölbaşı-Saray Fay Kaması Havzası çalışmalarında 1/25000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası yaparak Pliyosen yaşlı birimleri ilk kez formasyon bazlı ele almışlardır.

Güneyli ve Yüksel (2006), DAF'ın Gölbaşı-Türkoğlu segmenti üzerinde TUBİTAK destekli paleosismolojik araştırma yapmışlar ve segmentin yüzey kırığı oluşturabilecek kritik bir dönemde olduğunu belirtmişlerdir.

Karabacak ve diğerleri (2012), Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesimi için ayrıntılı bir fay haritalaması yapmışlar ve yüzey kırığı oluşturabilecek ana fay uzanımları üzerinde çok sayıda yerleşim yerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Yönlü, Altunel, Karabacak ve Akyüz (2013), Gölbaşı Havzası çevresindeki jeolojik ve jeomorfolojik gözlemlerinin, daha önceki çalışmalarda belirtilenin aksine havzanın klasik çek-ayır yapısı olmadığını belirtmişlerdir.

Tanrıverdi, Orhan ve Tekin (2021), Adıyaman Gölbaşı ve Adıyaman Merkez Arasının yapay sinir ağıları yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirmesini yapmışlardır.

Aksoy ve diğerleri (2023), 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen $M_w=7.7$ büyüklüğündeki Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine bağlı olarak gelişen yüzey kırıklarını, 1/25.000 ölçeğinde haritalamışlar ve 2,90-3,80 m arasında yer değişmelerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışma alanı, Anadolu'nun en önemli yapısal unsurlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Hattı, Pazarcık ve Erkenek Segmenti'nin kesiştiği noktada bulunduğu için birçok araştırmaya konu olmuştur. Öncelikle bölgedeki yapısal unsurların haritalandırılması ve mekanizmalarının çözümü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Son olarak 06 Şubat 2023 depremlerinden etkilenen çalışma alanı birçok araştırmacının dikkati çekmiştir. Bölgede deprem etkisi ile oluşan hasarların tespiti ve sonrasında yapılan arazi çalışmaları birçok bilimsel yayına kaynak oluşturmaktadır.

Fırat ve diğerleri (2024), Gölbaşı zeminlerinin CPT tabanlı sıvılaşma analizlerini yaparak, zemin sıvılaşması tetiklenme potansiyeli haritalarını elde etmişlerdir.

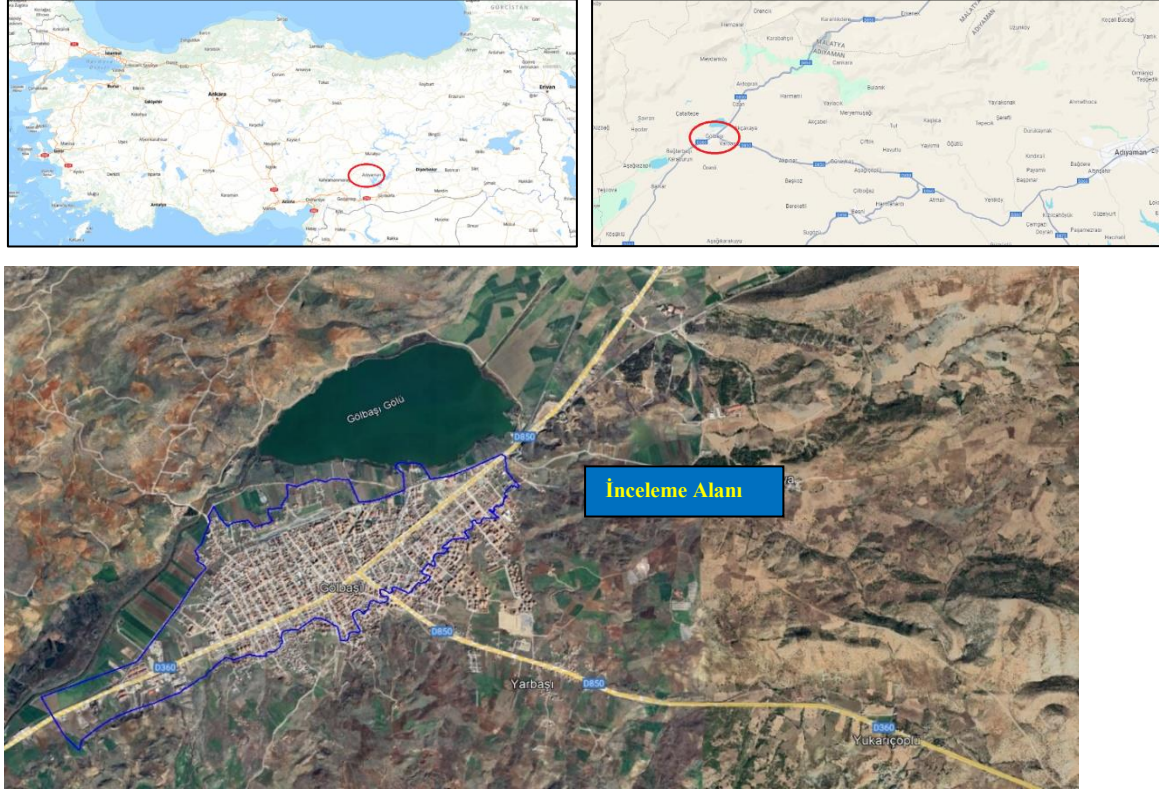
Işık ve diğerleri (2024), Erkenek ve Pazarcık fay segmentlerinin geçiş alanında bulunan inceleme alanının basen yapısını, basen içerisindeki yumuşak birimlerin kayma dalgası hız yapılarını ve fiziksel özelliklerini değerlendirmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı, Adıyaman İli, Gölbaşı ilçesi belediye mücavir sınırları içerisinde yer almakta olup yaklaşık 432 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Gölbaşı ilçesinin kuzeyinde Malatya ili, batısında ve güneyinde Kahramanmaraş ili, doğusunda ise Tut ve Besni (Adıyaman) ilçeleri yer almaktadır. İlçe merkezi Adıyaman il merkezine yaklaşık 62 km, Malatya il merkezine yaklaşık 120 km ve Kahramanmaraş il merkezine yaklaşık 110 km mesafededir.

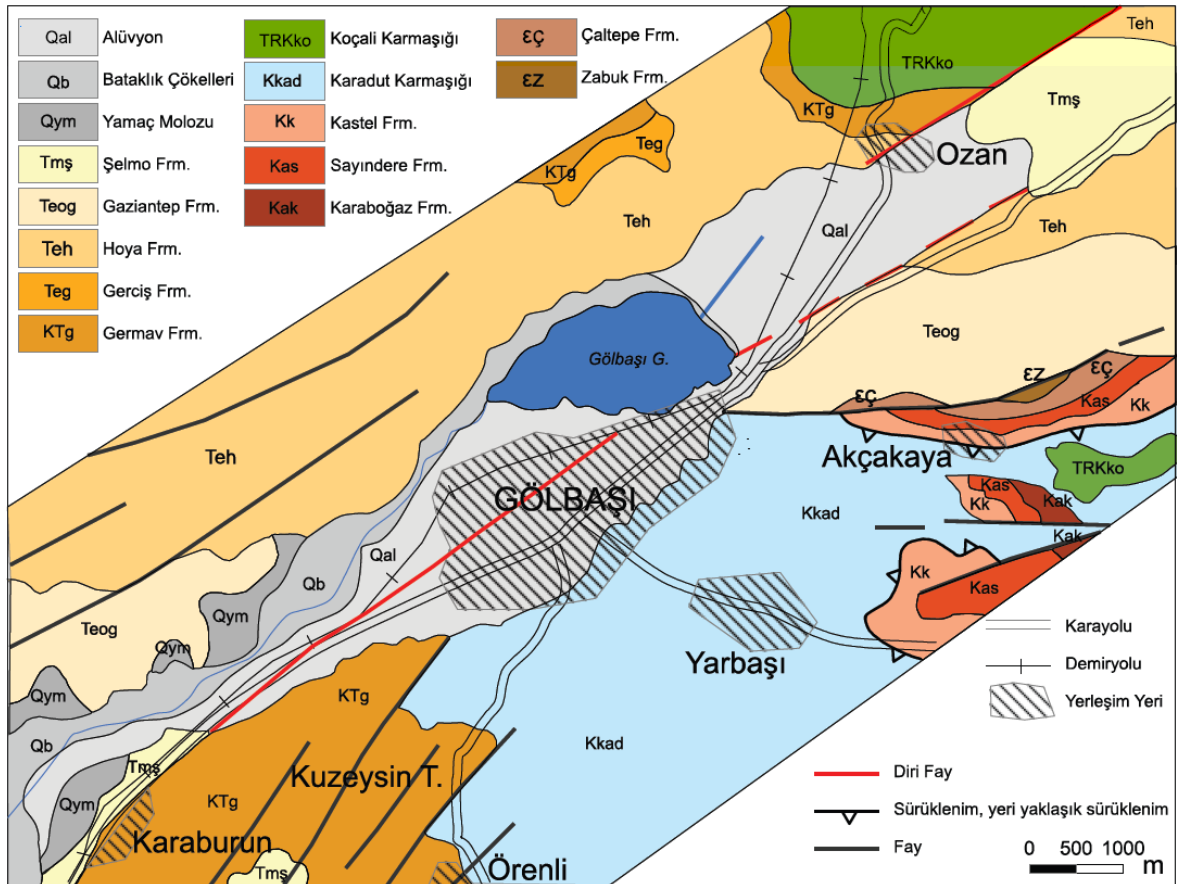
İlçe, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Kuzey ucu ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneyinden kesiştiği yerde bir vadi içerisinde yer almaktadır. İlçe Kuzey ve güney etraftan 2300 metreye ulaşan, Güneydoğu Torosların uzantıları ile çevrilmiştir. İlçe merkezi denizden yaklaşık 860 m yüksekliktedir. İlçeye D360, D850 nolu karayolları ve demiryolu ile dört mevsim ulaşmak mümkündür. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

3.2. Bölgenin Genel Jeolojisi

Gölbaşı (Adıyaman) ilçesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı kesiminde yer almakta olup MTA Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi'nin Şanlıurfa – M39 paftası içerisinde kalmaktadır. Bölgenin genel jeolojisi hazırlanırken bu paftadan yararlanılmış olup kısmen değiştirilerek Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışma alanı genel jeoloji haritası (Çoban ve Dalkılıç, 2018)

Bölgenin temelini Güneydoğu Anadolu Otoktonu Prekambriyen'den başlayıp Kretase yaşına kadar olan birimler oluşturmaktadır. Bu temel birimler üzerinde allokton olarak Triyas-Jura yaşlı Koçali ve Karadut Karmaşığına ait Güneydoğu Anadolu allokton kaya birimleri gelmektedir. Son olarak ise Güneydoğu Anadolu Örtü Birimleri olarak adlandırılan ve Maastrichtiyen'den başlayarak Geç Miyosen'e kadar çökelen birimler gelmektedir.

SİSTEM	SERİ / KAT	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVA- TERNER				Bataklık Çökelleri (Qb) Yamaç Molozu (Qym) Alüvyon Çökelleri (Qal)
MİYOSEN	ÜST	YAVUZ- ELİ (Tmya)		Koyu gri renkli olivin-ojit bazalt UYUMSUZLUK
	ORTA	ŞELMO (Tmş)		Şeyl-Miltaşı kumtaşı ve konglomera
	ALT	FIRAT (Tmf)		UYUMSUZLUK Kalın, çok kalın katmanlı stramatoliti, algli ekinidli biyomikrit ve resifal kireçtaşı UYUMLULUK
EÖSEN	ÜST	GAZIANTEP (Teog)		Killi tebeşirli kireçtaşı
	ORTA	HOYA (Teh)		UYUMLULUK Neritik kireçtaşı ve dolomit
	ALT	GERCUŞ (Teg)		UYUMLULUK Kırmızı renkli konglomera ve çapraz tabakalanmalı kumtaşı
PALE- ÖSEN		GERMAV (Tg)		UYUMSUZLUK Kumtaşı-Şeyl ve marn ardaalanmalı
KRETASE	ÜST	BESNİL (Tb)		UYUMLULUK Kumlu kireçtaşı ve Rudistli kireçtaşı
		TER- BÜZEK (Kt)		UYUMLULUK Kırmızı renkli kalın-çok kalın tabakalı kum matriksli çakıltıtaşı, silttaşı, siltli marn
		KASTEL (Kk)		Marn, ince-orta tabakalı kumtaşı ve şeyl ardaalanmalı
		SAYINDERE (Kas)		GEÇİŞLİ İnce-orta tabakalı, mikrtik dokulu killi kireçtaşı
		KARA- BOĞAZ (Kak)		GEÇİŞLİ İnce-orta tabakalı, çörtlü, planktonik ve bentik foraminiferli ve makro kavkılı kireçtaşı
	ALT	MARDİN GRUBU (Km)		UYUMSUZLUK (?) Marn, şeyl, kumtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşı
		SEYDİŞEHİR (eOs)		UYUMSUZLUK Orta derecede yapraklanmalı şeyl, ince-orta tabakalı arkozik karakterli kumtaşı ve kireçtaşı
	ORTA	ÇAL- TEPE (eç)		GEÇİŞLİ Kireçtaşı ve dolomit
		ZABUK (ez)		GEÇİŞLİ Çakıltıtaşı, kuvarsit ve kumtaşı
	ALT	TELBESMİ (Pet)		UYUMSUZLUK Andezit ve spilitik lav, tuf, kumtaşı ve aglomera

Şekil 3.3. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Çoban ve Dalkılıç, 2018)

Otoktonu oluşturan birimler Prekambriyen yaşlı Telbesmi Formasyonunun üzerine uyumsuzlukla gelen Kambriyen yaşlı Zabuk formasyonu, Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu ve Üst Kambriyen – Ordovisiyen yaşlı Seydişehir formasyonudur. Seydişehir formasyonu üzerine Kretase yaşlı otokton birimler uyumsuzlukla gelmektedir.

Güneydoğu Anadolu allohtonu, Kretase döneminde tektonik hareketlerle bölgeye yerleşen Koçali ve Karadut karmaşığı kaya birimlerinden oluşmaktadır.

Güneydoğu Anadolu Örtü Birimleri, temeli oluşturan Güneydoğu Anadolu otokton birimleri ile Kretase döneminde oluşan Güneydoğu Anadolu allohton karmaşıkları üzerine Üst Kretase'den Üst Miyosen'e kadar çökelen birimlerden oluşmaktadır.

3.2.1. Güneydoğu Anadolu otoktonu birimleri

Telbesmi formasyonu (P_{et})

Andezit ve spilitik lav, tüf, kumtaşı, aglomera ile volkanik breş ara seviyelerinden oluşan ve temeli oluşturan Prekambriyen yaşlı bu istif çalışma alanında gözlenmemiştir.

Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Pre-kambriyen olarak kabul edilmiştir.

Tabanı bilinmediğinden gerçek kalınlığı hakkında bilgi verilememiştir.

Zabuk formasyonu (ε_Z)

Çakıltası, kuvarsit ve kumtaşından oluşan birim Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinin doğusunda yer alan Akçakaya köyünde gözlenir.

Birimin yaşı Alt Kambriyen olarak kabul edilmektedir.

Altan Telbesmi formasyonu ile uyumsuz, üstten ise Çaltepe formasyonu ile uyumlu şekilde sınırlanmakta olup kalınlığı 78-185 m aralığında değişmektedir.

Çaltepe formasyonu (εç)

Kireçtaşı ve dolomit birimlerinden oluşan formasyon Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinin doğusunda yer alan Akçakaya köyünde gözlenir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Orta Kambriyen olarak kabul edilmektedir.

Alttan Zabuk formasyonu ile üstten ise Seydişehir formasyonu ile uyumlu şekilde sınırlanmakta olup kalınlığı yaklaşık 120 m'dir.

Seydişehir formasyonu (εOs)

Orta derecede yapraklanmalı şeyl, ince-orta tabakalı arkozik karakterli kumtaşı ve kireçtaşı içeren formasyon çalışma alanında gözlenmemektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen olarak kabul edilmektedir.

Alttan Çaltepe formasyonu ile uyumlu üstten ise Mardin Grubu ile uyumsuz olan birimin kalınlığı yaklaşık 400 m'dir.

Mardin grubu (Km)

Marn, şeyl, kumtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşı birimlerinden oluşan formasyon çalışma alanında gözlenmemiştir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Barremiyen-Kampaniyen olarak kabul edilmektedir.

Alttan Seydişehir formasyonu üstten Karaboğaz formasyonu ile uyumsuz olan birimin kalınlığı 500-100 m aralığında değişmektedir.

Karaboğaz formasyonu (Kak)

İnce-orta tabakalı, çörtlü, planktonik ve bentik foraminiferli ve makro kavkılı kireçtaşı birimlerinden oluşan formasyon Akçakaya köyünün güneydoğusunda yüzeylenmektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Kampaniyen olarak kabul edilmektedir.

Altan Mardin Grubu ile uyumsuz, üstten ise Sayındere formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılan birim mostralarda 20-48 m arasında kalınlık sunmaktadır.

Sayındere formasyonu (Kas)

İnce-orta tabakalı, mikritik dokulu killi kireçtaşı biriminden oluşan formasyon, Yarbaşı köyünün doğusu ile Akçakaya köyü civarında mostra vermektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Kampaniyen olarak kabul edilmektedir.

Altan Karaboğaz formasyonu üstten ise Kastel formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılan birimin kalınlığı 48-365 m arasında değişmektedir.

Kastel formasyonu (Kk)

Marn, ince-orta tabakalı, kumtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşan formasyon Yarbaşı köyünün doğu-güneydoğusu ile Akçakaya köyü civarında mostra vermektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmektedir.

Altan Sayındere formasyonu üstten ise Terbüzek formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılan birimin kalınlığı yaklaşık 500 m kadardır.

3.2.2. Güneydoğu Anadolu allokton kaya birimleri

Karadut karmaşığı (Kkad)

Genellikle şeyl, kireçtaşı ve çört araldanmasından oluşan filiş benzeri bir istif olan formasyon Gölbaşı (Adıyaman) güney-doğu kesiminde yüzeaylenmektedir.

Karadut karmaşığı, gri, yeşil, kahve, sarı, yeşilimsi gri, kırmızı renklerde, bazen silttaşı, kumtaşı geçişli silisli, kalkerli şeyl, ince- orta yer yer kalın tabakalı, çört aratabakalı, killi ve mikritik kireçtaşı, mikritik hamurlu kalkarenit ve bazı kalsirudit seviyelerde yeşilimsi, gri, mavimsi renkli silisli laminalı, ince tabakalı marn ve yeşilimsi gri kumtaşı birimlerinin araldanmasından oluşan filiş benzeri bir istiftir.

Birimin yaşı iğerdiği fosillere dayanılarak Erken Jura-Geç Kretase olarak kabul edilmektedir.

Birim 400-800 m arasında kalınlıklar sunmaktadır (Oğlakçı, Demirkol ve Sevimli, 2016).

Koçali karmaşığı (TRKko)

Utrabazik kayaçlar, volkanitler, kireçtaşları ve çörtlerden oluşan istif Ozan köyünün kuzeyinde ve Akçakaya köyünün doğusunda yüzeaylenmektedir.

Birimin yaşı Geç Triyas-Geç Kretase olarak tanımlanmıştır.

Birimin kalınlığı 50-120 m aralığındadır.

3.2.3. Güneydoğu Anadolu örtü birimleri

Terbüzek formasyonu (Kt)

Kırmızı renkli, kalın-çok kalın tabakalı kum matriksli çakıltaşı, silttaşı, siltli marndan oluşan formasyon çalışma alanında gözlenmemektedir.

Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir.

Altan Güneydoğu Anadolu Otokton birimleri ile sınırlı olan formasyon üstten Besni formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılır. Birimin kalınlığı 30-100 m arasında değişmektedir.

Besni formasyonu (Kb)

Kumlu kireçtaşı ve rudistli kireçtaşından oluşan formasyon çalışma alanında gözlenmemektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Maastrichtiyen olarak kabul edilmektedir.

Terbüzek formasyonu üzerine uyumlu olarak oturan birim üstten Germav formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılmaktadır. Birimin kalınlığı 15-35 m arasında değişmektedir.

Germav formasyonu (KTg)

Kumtaşı, şeyl ve marn aralanmasından oluşan formasyon Karaburun-Örenli köyleri arasında, Ozan köyü civarında yüzeilenmektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Maastrichtiyen-Paleosen olarak kabul edilmektedir.

Altan Besni formasyonu ile uyumlu olan birim üstten Gercüş formasyonu ile uyumsuzdur.

Birimin kalınlığı 600 m civarındadır.

Gercüş formasyonu (teg)

kırmızı renkli konglomera ve çapraz tabakanlanmalı kumtaşı birimlerinden oluşan formasyon ozan köyünün doğusunda nispeten küçük bir alanda yüzeilenmektedir.

birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak alt eosen olarak kabul edilmektedir.

formasyon daha yaşı birimler üzerine uyumsuz olarak gelmekte iken üstten hoya formasyonu ile uyumludur. birimin kalınlığı bölgede 50-560 m arasında değişmektedir.

Hoya formasyonu (Teh)

Neritik kireçtaşı ve dolomitten oluşan istif Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinin doğu-kuzey kesiminde oldukça geniş bir alanda yüzeylenmektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Orta Eosen olarak kabul edilmektedir.

Formasyon alttaki Gercüş ve üstteki Gaziantep formasyonu ile uyumlu olup kalınlığı yaklaşık 250 m civarındadır.

Gaziantep formasyonu (Teog)

Killi tebeşirli kireçtaşı ve marnlardan oluşan birim Gölbaşı (Adıyaman)-Malatya karayolunun doğusunda yüzeylenmektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Üst Eosen-Oligosen olarak kabul edilmektedir.

Formasyon alttaki Hoya ve üstteki Fırat formasyonu ile uyumlu olup kalınlığı 145-457 m aralığındadır.

Fırat formasyonu (Tmf)

Kalın-çok kalın katmanlı stramatolitli, algli, ekinidli biyomikrit ve resifal kireçtaşından oluşan birim çalışma alanında gözlenmemektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Alt Miyosen olarak kabul edilmektedir.

Formasyon alttaki Gaziantep formasyonu ile uyumlu iken, üstteki Şelmo formasyonu ile uyumsuz sınırlıdır. Birimin kalınlığı 250-300 m aralığındadır.

Şelmo formasyonu (TmŞ)

Şeyl-miltaşı, kumtaşı ve konglomeralardan oluşan istif Ozan köyünün doğusunda yüzeylenmektedir.

Birimin yaşı içerdiği fosillere dayanılarak Orta Miyosen olarak kabul edilmektedir.

Formasyon alttaki Fırat formasyonu ve üstteki Yavuzeli formasyonu ile uyumsuz sınırlıdır.

Yavuzeli formasyonu (Tmya)

Koyu gri renkli olivin-ojit bazaltlardan oluşan birim birim çalışma alanında gözlenmemektedir.

Stratigrafik konumuna göre birimin yaşı Üst Miyosen olarak kabul edilmektedir.

Birim Yavuzeli formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmiştir. Birimin üzerinde bölgede herhangi bir gelmemekte olup stratigrafik olarak Pliyo-Kuvaterner çökeller ile örtülmektedir.

3.2.4. Kuvaterner

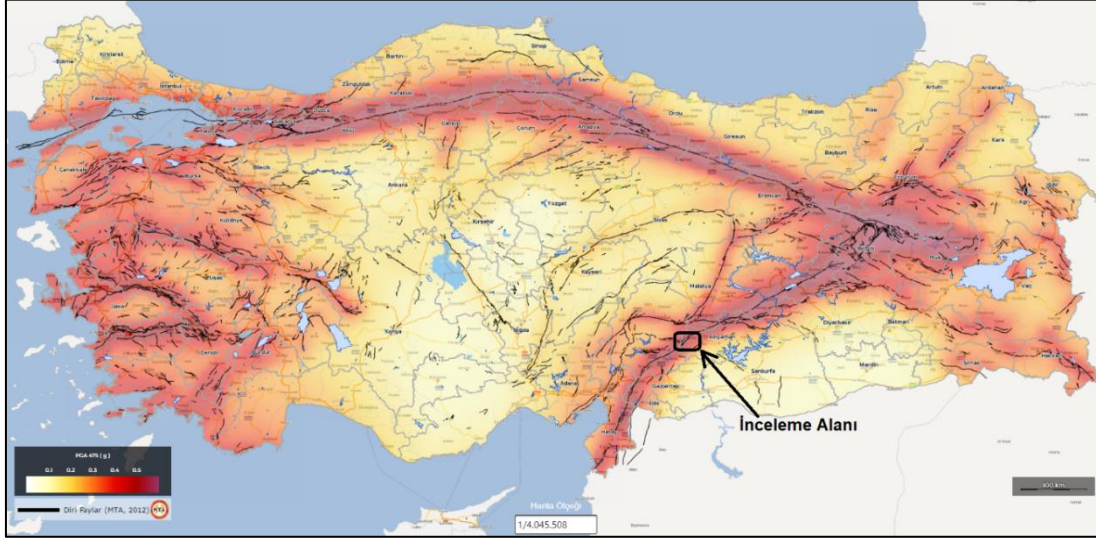
Alüvyon çökelleri (Qal)

Nehir yataklarında, düzlükler ve göl kenarlarındaki çakıl, kum, silt, kil gibi akarsu çökelleridir. Gölbaşı (Adıyaman) ilçe merkezinin bulunduğu kesim ve bu kesimi kuzeydoğu-güneybatı yönünde izleyen bölümde gözlenmektedir.

Yamaç molozu (Qym)

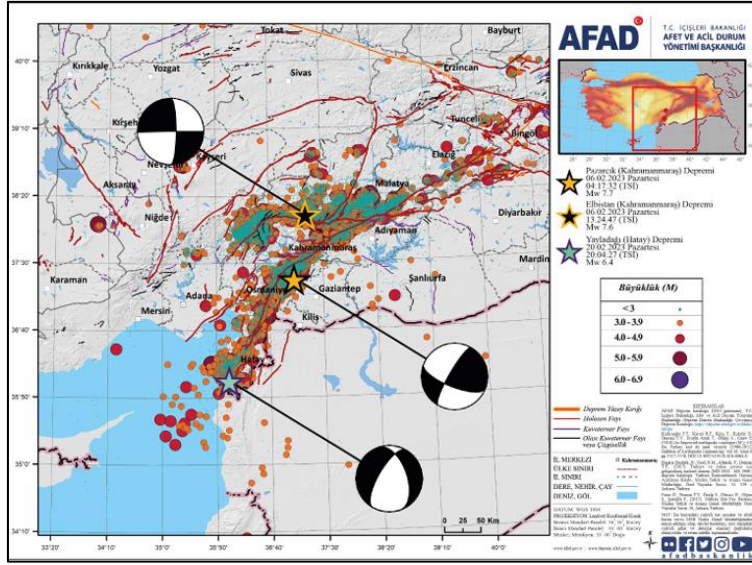
Formasyonlardan çeşitli nedenlerde kopan malzemenin topografik eğim yönünde akması ve birikmesi ile oluşan genellikle blok çakıl boyutundaki malzemelerden oluşan birimdir. Çalışma alanının güneybatı kesiminde yer yer gözlenmektedir.

İnceleme alanı DAF zonunun etkisi altında kalmaktadır. Ülkemizin 475 yıllık tekrarlanma süresine sahip maksimum yer ivmesi ve MTA (2012) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası altlıklarının bulunduğu harita üzerinde inceleme alanı gösterilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve proje lokasyonu gösterimi (MTA, 2012; TDTH, 2024)

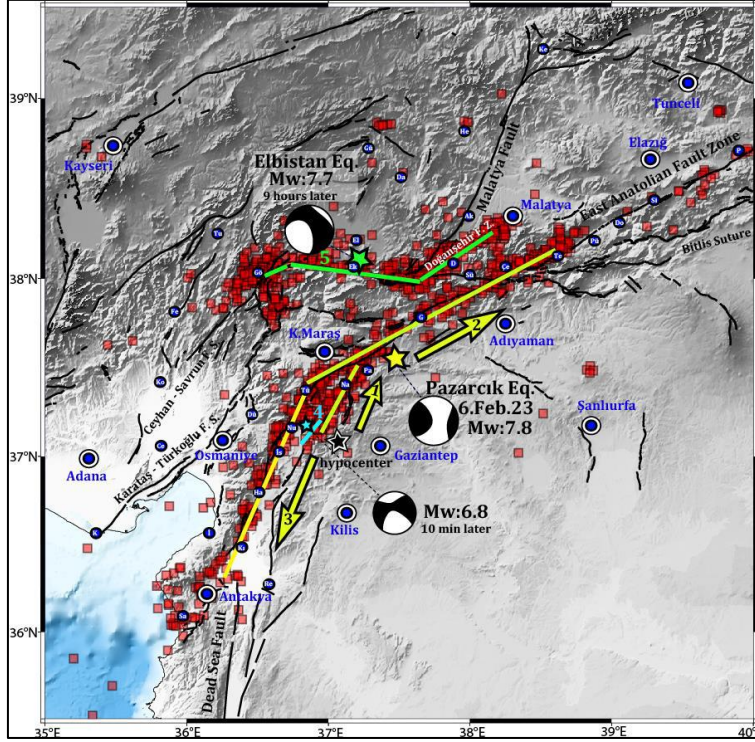
DAF zonu üzerinde 06 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan sırasıyla Mw: 7.7 ve Mw: 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. Söz konusu depremlerin artçı şok aktivitesi devam ederken 20 Şubat 2023 tarihinde Yayladağı'nda (Hatay) Mw: 6.4 büyüklüğünde “tetiklenmiş” bir deprem daha meydana gelmiştir (AFAD, 2023). Bölgede 06 Şubat 2023 tarihinden itibaren çok sayıda deprem gerçekleşmiştir (Şekil 3.6). Bu depremler; Adıyaman, Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ'da birçok can kaybına ve ağır hasarlara neden olmuştur.



Şekil 3.6. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw: 7.7, Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.6 ve Yayladağı (Hatay) Mw: 6.4 depremleri ve artçı şok aktivitesi (6 Şubat – 6 Mayıs arası) (AFAD, 2023)

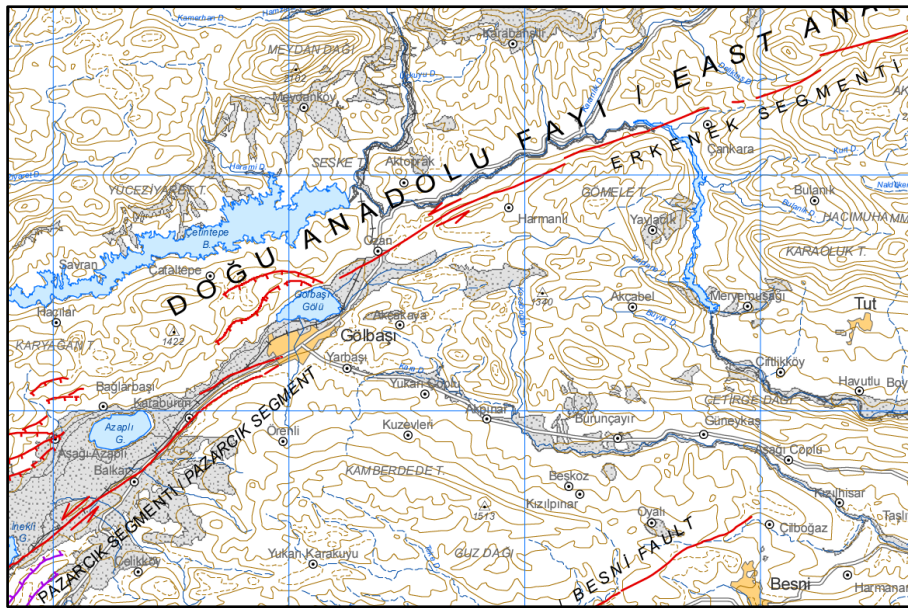
Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerinde meydana gelen depremlerin dış merkezleri ve artçı dağılımları analiz edildiğinde ilk etapta Pazarcık merkez üslü depremin kuzeydoğuda Çelikhhan Pütürge arasından Doğu Anadolu Fayının Erkenek (Çelikhhan-Gölbaşı arası 65 km), Gölbaşı (Gölbaşı-Türkoğlu arası 90 km), Amanos (Türkoğlu-Kırıkhan arası 110 km) parçalarını içine alan bir hat ile Ölüdeniz Fay Sistemi'nin kuzey ucundaki Narlı parçasını kırdığı; Elbistan dış merkezli ikinci depremin ise Çardak Fayı ile Doğanşehir Fay Zonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (AFAD, 2023).

ODTÜ (2023), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin moment tensör çözümüne göre, depremin KD-GB doğrultulu faylar üzerinde, neredeyse tamamen sol-yanal doğrultu-atımlı bir hareket olduğunu ortaya koymuştur. Deprem Narlı fayı üzerinde başlamış, fayın ana kolu üzerine sıçramış sonrasında ise Pazarcık-Erkenek fay bölümlerini KD'ye, Amanos bölümünü ise GB'ye doğru kırmıştır. Ana şoktan 10 dakika sonra, ana şokun odağının hemen batısında meydana gelen Mw=6.8 büyüklüğündeki artçı şokun Salçagöz fayını kırmış olması olasıdır. Kahramanmaraş-Pazarcık depremine benzer şekilde sol-yanal doğrultu-atımlı bir hareket oluşturan Kahramanmaraş-Elbistan depremi ise önce ~D-B uzanımlı Çardak fayını kırmış ve KD-GB uzanımlı Doğanşehir fay zonu üzerinden doğuda Malatya'ya doğru devam etmiştir (Şekil 3.7).



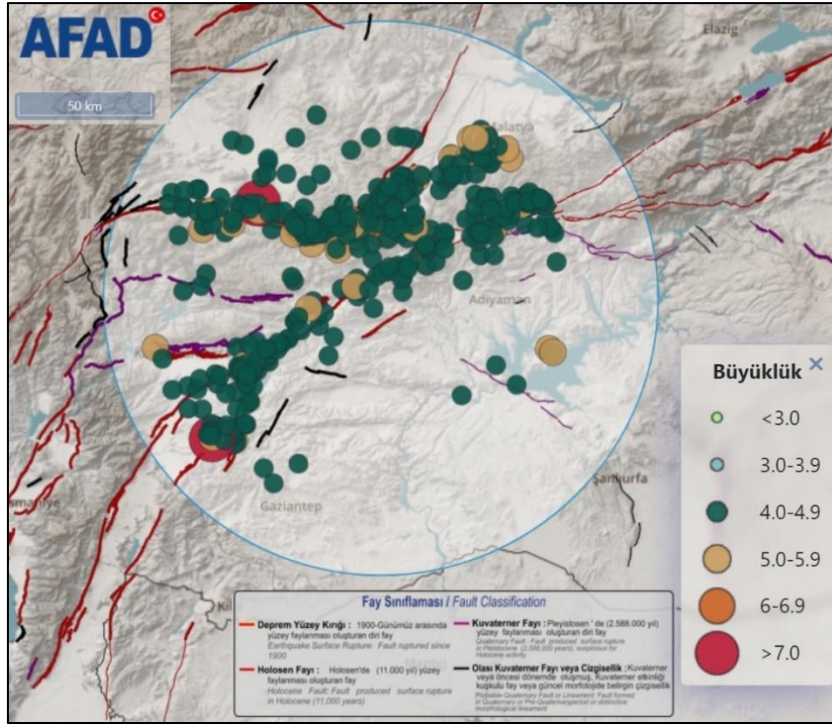
Şekil 3.7. Deprem kırık düzlemlerini ve AFAD'dan alınan artçı şokları, ana depremlerin mekanizma çözümleri ile birlikte gösteren sismotektonik harita. Kırıklar oluşum zamanlarına göre numaralandırılmış, Yönlü ve süreksiz kırılma sergileyen Pazarcık depreminin ($M_w=7.8\pm0.1$) kırılma yönleri ise oklarla belirtilmiştir. (ODTÜ, 2023)

İnceleme alanında bulunan 6 Şubat depremlerinde de etkilenen fay segmentlerinin yüzey izdüşümleri için MTA (2012)'dan yararlanılmıştır (Şekil 3.8).



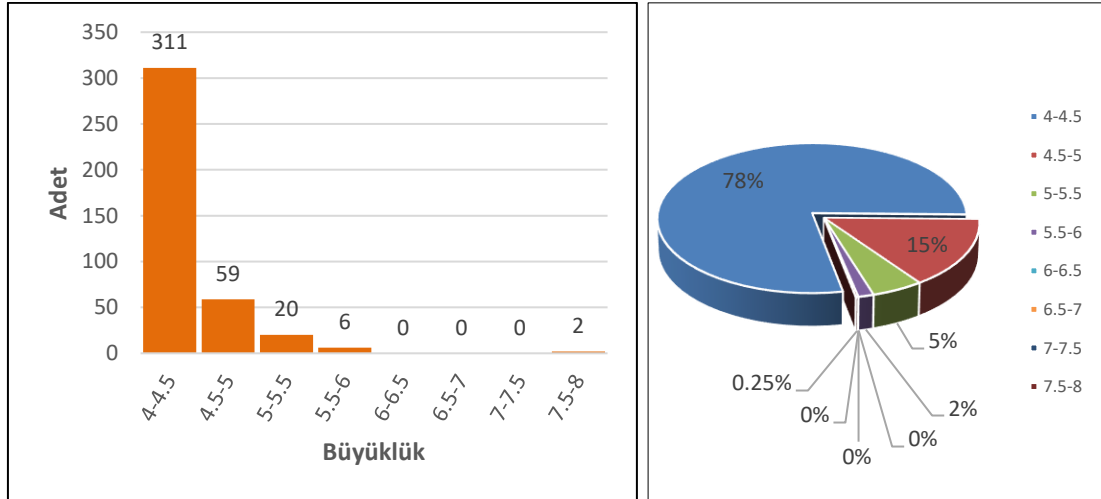
Şekil 3.8. Aktif fay segmentlerinin yüzey izdüşümleri (MTA, 2012)

AFAD Aletsel Dönem Deprem Kataloğu internet sayfasından (<https://deprem.afad.gov.tr/event-instrumental>) 1900 yılından 31.12.2023 tarihine kadar 37.7880° enlem, 37.6565° boylam koordinatlarının 100 km yarıçap mesafesindeki alanda herhangi bir büyüklük tanımı dahilindeki değeri 4.0 veya daha üzeri olan tüm depremler sorgulanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. 1900 – 2023 yılları arasında inceleme alanına 100 km mesafede gerçekleşen 4.0 veya üzeri büyüklüğe sahip depremlerin mekânsal dağılımı

Sorgulama sonucunda, 398 adet deprem aktivitesi listelenmiş olup bu depremlerin büyüklüklerine göre oluşturulan histogram grafiği ve yüzde dağılım grafiği Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. 1900 – 2023 yılları arasında inceleme alanına 100 km mesafede gerçekleşen 4.0 veya üzeri büyüklüğe sahip depremlerin histogram ve dağılım grafiği

3.4. Jeomorfoloji

İnceleme alanı Türkiye'nin güneyindeki orojenik kuşak ve Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yer almaktadır.

Gölbaşı ilçesinin üzerinde bulunduğu vadi, Kuzey ve Güneydoğu Torosların uzantısıdır. Vadinin kuzeyinde bulunan Tersiyer döneminde oluşmuş Öksüz Dağı, Sırlıklı Dağı, Meydan Dağı ve Boruk Dağı, Dış Toroslar'ın uzantılarıdır. Bunların içerisinde en yüksek olan tepe Boruk Dağı olup yüksekliği 2320 metreye ulaşmaktadır.

Gölbaşı İlçesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Kuzey ucu ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneyden kesiştiği yerde kısmen ova sayılabilecek Gölbaşı Gölü çevresinde vadi içerisinde bulunur (Şekil 3.11, Şekil 3.12). KD-GB yönünde uzanan vadinin uzun eksenini 40-50 km arasında, eni en geniş yerinde 10-15 kilometredir.

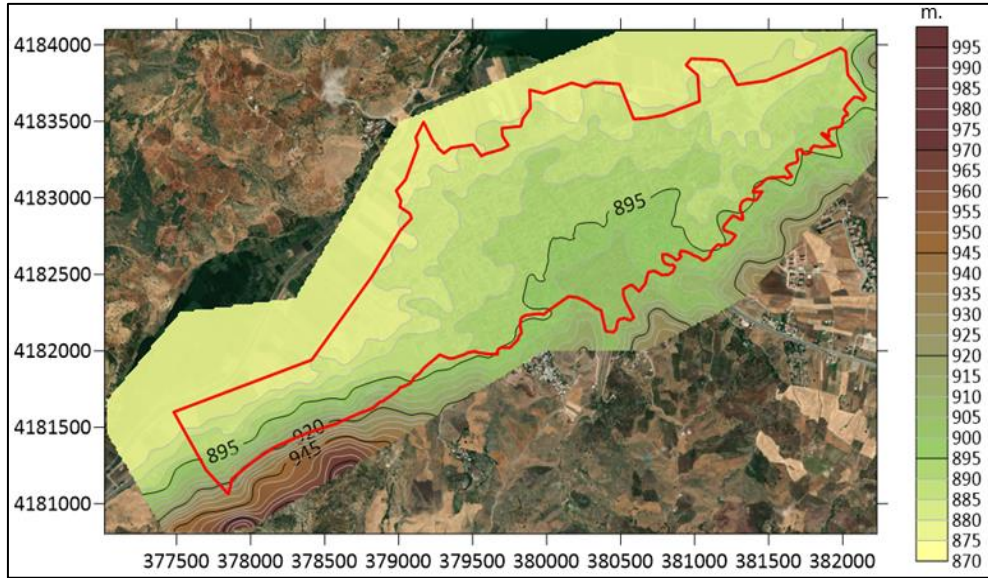


Şekil 3.11. İnceleme alanına kuzeyden bakış



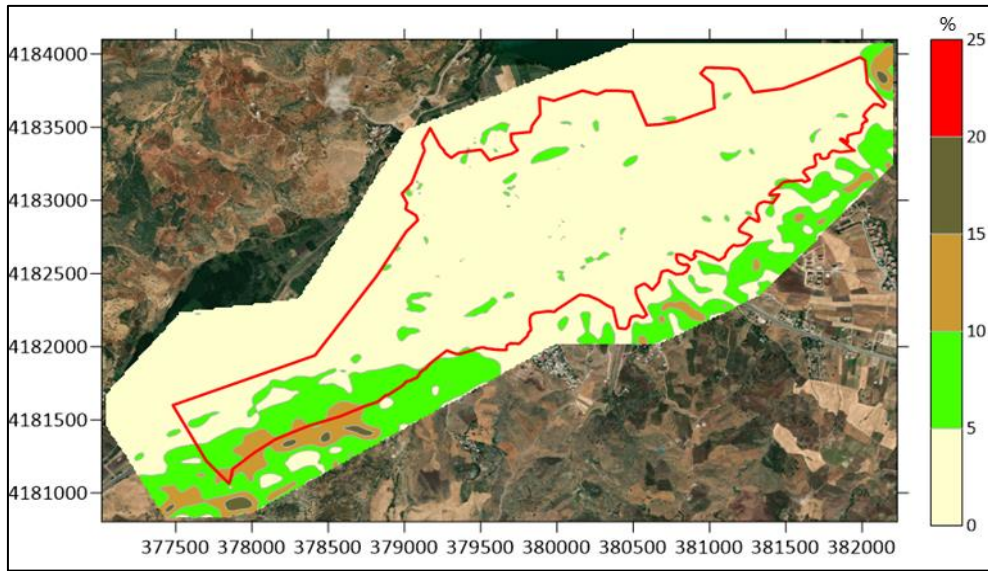
Şekil 3.12. İnceleme alanına batıdan bakış

İnceleme alanının büyük bir kısmı düzlük ve ovalık olup genel olarak güney-güneybatıya doğru eğim ve yükseklik artmaktadır. Hazırlanan topografik haritaya göre inceleme alanındaki yükseklikler 878-938 m aralığında değişmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. İnceleme alanına ait topografik harita

İnceleme sahasının eğim durumu incelendiğinde sahanın oldukça büyük bir kısmının eğim değerleri % 0-10 arasındadır (Şekil 3.14). Bununla birlikte güneybatı kesimde eğim değerlerinde artış gözlenmektedir.



Şekil 3.14. İnceleme alanına ait eğim haritası

3.5. CPT ile Sıvılaşma Analizi ve Değerlendirme

Zemin sıvılaşması statik veya tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncının yükselmesi nedeniyle mukavemet ve rijitlikte gözlenen aşırı düşüş olarak tanımlanmaktadır. Sıvılaşma

sonrası taşıma gücü kapasitesinin azalması, yanal yayılma, akma yenilmeleri, oturmalar, duraysızlık problemleri, dayanma yapıları ve kazıklarda yanal ve düşey taşıma gücü kapasitelerinde azalmalar görülebilmektedir.

İnceleme alanında 2023 Kahramanmaraş depremleri sırasında sıvılaşma ve/veya kohezyonlu zeminlerin yumuşamasından kaynaklı yüzey deformasyonları yoğun olarak gözlenmiştir (Resim 3.1, Resim 3.2). Genel olarak gözlenen deformasyonlar ilçe içerisinde geçen karayolunun kuzeyinde, göl tarafında yoğunlaşmaktadır. Yüzey deformasyonlarının görüldüğü bölgelerde ince kumların, siltli birimlerin ve düşük plastisiteli ince taneli zeminlerin, kaynama şeklinde zemin yüzeyine çıktığı gözlenmiştir (Resim 3.3). İnceleme sahasının kuzey ucunda bulunan Gölbaşı Gölü'nün kenarlarında ve gölün yanı başında bulunan ADYÜ Gölbaşı Meslek Yüksek Okulu arazisinde yoğun yanal yayılmalar oluşmuştur (Resim 3.4, Resim 3.5).



Resim 3.1. Gölbaşı, Atatürk Bulvarı'nda devrilmiş bina (G.Ü., 2023)



Resim 3.2. Çalışma alanında sıvılaşma kaynaklı zemin deformasyonları ve farklı oturmalar (G.Ü., 2023)



Resim 3.3. Gölbaşı'nda gözlenen zemin fişkırması (ODTÜ, 2023)

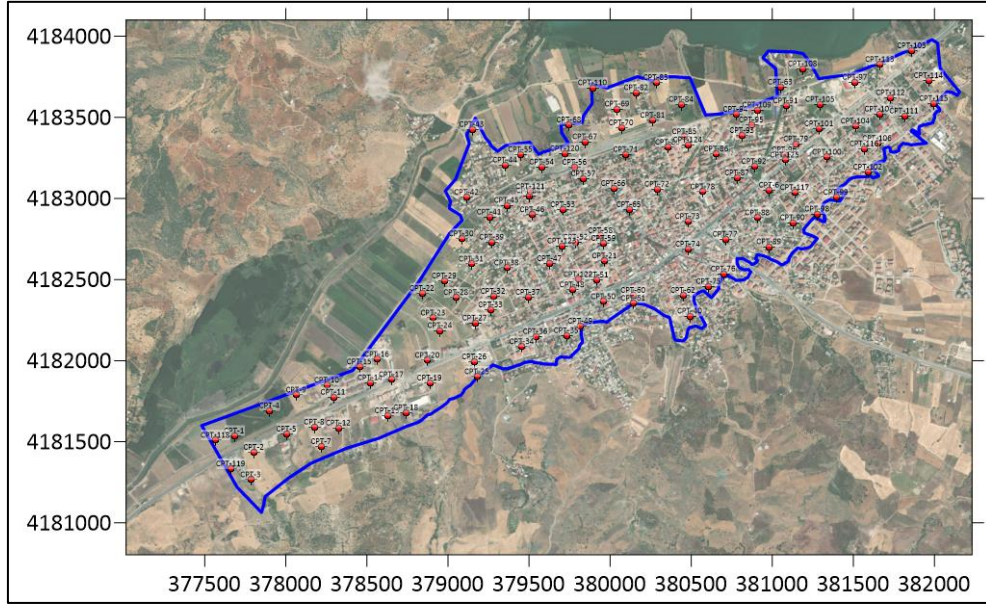


Resim 3.4. Gölbaşı Gölü'nün kenar kesimlerinde gözlenen yatay ve düşey zemin deformasyonları (G.Ü., 2023)



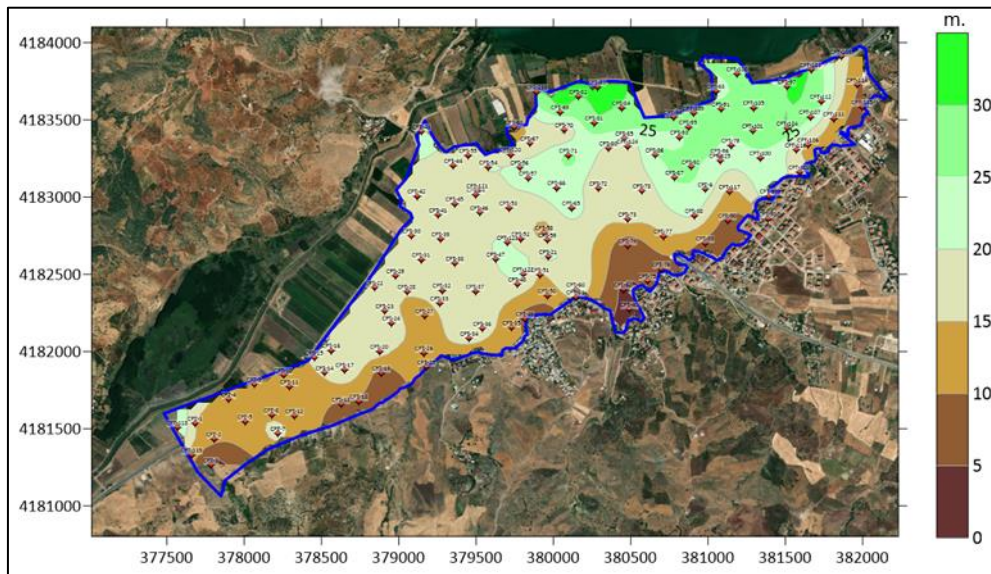
Resim 3.5. ADYÜ Gölbaşı Meslek Yüksek Okulu bölgesinde gözlenen yatay ve düşey zemin deformasyonları (TRTHaber, 2023)

İnceleme alanı olan yaklaşık 432 ha'lık alan 200 m x 200 m olmak üzere toplam 120 adet karelaja bölünmüştür. Her bir karelajda en az bir adet CPT olmak üzere toplam 125 adet CPT yapılmıştır. CPT noktaları 6° olmak üzere WGS84 koordinat sisteminde Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15. CPT uygulama noktaları

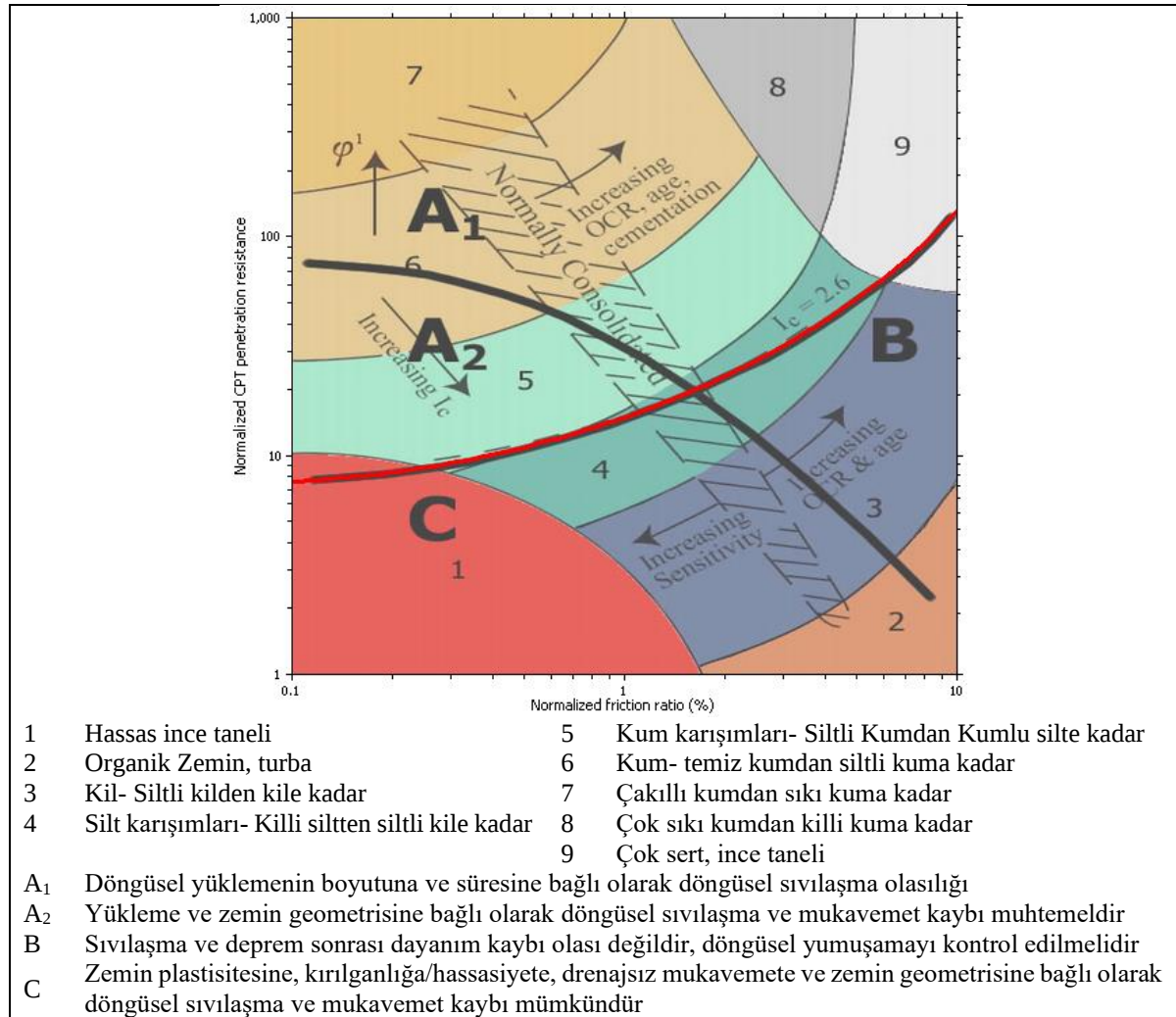
CPT çalışmaları EN ISO 22476-1 (Elektrikli konik ve piyezokonik penetrasyon deneyi) ve ASTM 5778-20 (Zeminlerde Elektronik Sürtünme Konu ve Piezokon Penetrasyon Testi Standart Test Metodu) standartları uyarınca 20 ton baskı kapasiteli, kamyon üzerine monteli Vertek Hogentogler marka hidrolik ekipmanlarıyla yapılmıştır. CPT 60°'lik uç açısı olan 10 cm² konik uç kullanılarak $2 \pm 0,5$ cm/sn sabit hızla, maksimum 30.00 m derinliğe veya daha fazla ilerleme kaydedilmeyen sağlam-taşıyıcı zemin tabakasına rastlanana kadar sürdürülmüştür (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. CPT'lerin yapılabildiği derinliklerin dağılımı

3.5.1. CPT esaslı sınıflaştırma analizi

CPT uygulamalarında her 5 cm’de bir uç direnci, sürtünme direnci ve aşırı boşluk suyu basıncı verisi alınmış olup yüksek çözünürlüklü veri elde edilmiştir. CPT ile fiziksel örnek alınamadığından zemin türünün belirlenmesi amacıyla literatürde önerilen abaklar kullanılmaktadır. Bu çalışmada zemin türünün belirlenmesi için Robertson (1990) tarafından önerilen abak kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. CPT Zemin sınıflandırma abağı (Robertson, 1990)

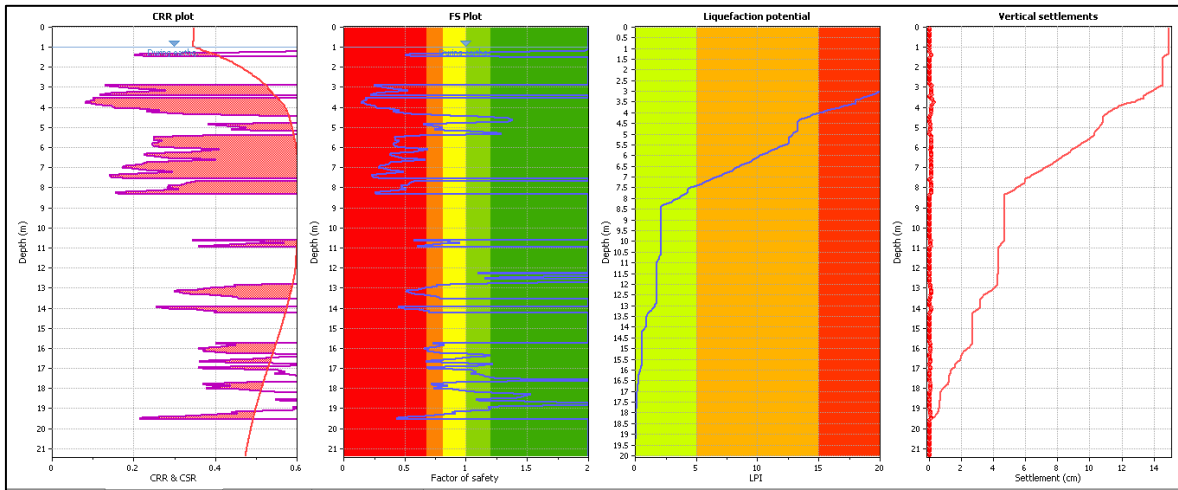
Zemin davranış tipi katsayısının (I_c) 2.6 limit değeri kohezyonlu – kohezyonsuz davranış sınırını ifade eder, I_c 2.6’dan küçük değerlere sahip seviyelere sınıflaştırma analizi yapılırken, daha yüksek değerler sınıflaştırma analizi dışında tutulur.

CPT tabanlı sıvılaşma analizlerinde NCEER (1997)'de kabul gören Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009) yönteminin yanı sıra Idriss ve Boulanger (2008), Boulanger ve Idriss (2014) ve Moss ve diğerleri (2006) tarafından geliştirilmiş prosedürler ayrı ayrı irdelenmiştir.

Buna göre her bir çalışmacı tarafından önerilen yöntemlere göre tekrarlı direnç oranı (CRR) değerleri hesaplanmış ve güvenlik katsayısı belirlenmiştir.

CPT tabanlı sıvılaşma analizlerinde rutin güvenlik katsayısı hesaplamalarına ilaveten, CPT yapılan noktadaki zemin deformasyonlarının ve hasarının ifade edilebilmesi amacıyla Sıvılaşma Potansiyel İndisi (LPI) hesaplanmıştır. LPI değerleri Iwasaki ve diğerleri (1982) tarafından önerilen yöntem ve sıvılaşan tabakaların hacimsel birim deformasyonları - serbest saha yüzey oturması değerleri ise Zhang ve diğerleri (2002) tarafından önerilen yöntemle göre hesaplanmıştır.

Sıvılaşma analizlerinde her 5 cm'lik zemin tabakası için güvenlik katsayısı belirlenmiş, güvenlik katsayısının 1'den küçük olduğu durumlar için LPI ve oturma miktarları hesaplanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. CPT tabanlı sıvılaşma analizi grafik örneği

Serbest yüzey oturma değerleri, yatay zemin yüzeyinde yapı bulunmazken oluşan hacimsel birim deformasyonların toplamından kaynaklanan oturmaları ifade etmektedir. Bununla birlikte sıvılaşan zeminde bir yapının oturma miktarı, sıvılaşma sırasında artan boşluk suyu

basıncının drene olmasıyla gelişen hacimsel birim deformasyonlara, varsa kum fişkırması nedeniyle oluşan malzeme kaybına ve yapının oluşturacağı kayma birim deformasyonları nedeniyle oluşan oturmaların toplamı şeklinde gelişir. İnceleme alanındaki yatay zemin yüzeyi üzerinde bulunan yapılar hakkında herhangi bir veri elde edilememiştir. Bu nedenle, tez kapsamında sadece serbest zemin saha koşullarında, zeminlerin hacimsel birim deformasyonlarından kaynaklanan oturmalar için hesaplama yapılmıştır.

Sıvılaşma analizlerinde 20 metreyi aşmayan CPT'ler için CPT derinliği, derinliği 20 m'den fazla olan CPT'ler için ise 20 m limit derinlik dikkate alınmıştır.

Analizlerde 2023 Kahramanmaraş Pazarcık Depremini temsil edecek şekilde moment büyüklüğü (Mw) 7.7 ve maksimum yer ivmesi değeri 0.5 g alınmıştır.

3.5.2. CPT esaslı tekrarlı direnç oranı (CRR) ve güvenlik faktörü

Zemin sıvılaşma potansiyelini ortaya koymak için zeminin çevrimsel gerilme oranı (CSR), zeminin çevrimsel direnç (dayanım) oranı (CRR) ile karşılaştırılır ve CSR, CRR'yi aşarsa zemin sıvılaşmasının muhtemel olduğu ortaya konulur.

$$F_{SL} = \frac{CRR_{7.5}}{CSR}$$

Analizlerde her 5 cm'lik zemin tabakası için I_c değeri hesaplanmış, I_c 'nin 2.6'dan küçük değerlere sahip her seviye için CRR ve CSR'nin hesaplaması yapılarak güvenlik katsayısı elde edilmiştir. Güvenlik faktörünün (F_{SL}) 1'den küçük olduğu seviyelerde sıvılaşma muhtemel olup bu seviyeler için LPI ve serbest saha oturma değerleri hesaplanmıştır.

CRR hesaplamasında 4 farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar;

- NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)) (NCEER),
- Idriss ve Boulanger (2008) (I&B),
- Boulanger ve Idriss (2014) (B&I),
- Moss ve diğerleri (2006) (Moss) prosedürü olup bu prosedürlere ait için ise formüller önceki bölümlerde verilmiştir (Bknz. Şekil 2.26, Şekil 2.27, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29).

Güvenlik faktörünün (F_{SL}) 1'den küçük olduğu tabaka sayıları 4 yöntem için ayrı ayrı belirlenmiş ve Çizelge 3.1'de verilmiştir. Güvenlik faktörünün 1'den küçük olduğu en fazla tabaka sayısı Idriss ve Boulanger (2008) yöntemiyle elde edilirken, en az tabaka sayısı NCEER yöntemiyle elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. $F_{SL} < 1$ olan 5 cm kalınlığındaki tabaka sayıları

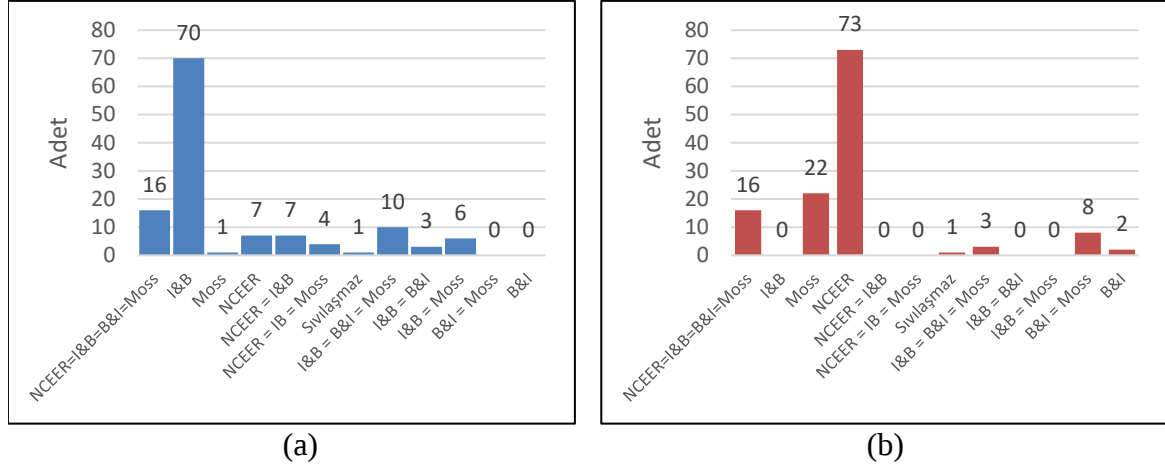
CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss	CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-1	2	24	19	22	CPT-64	36	45	44	45
CPT-2	4	23	16	22	CPT-65	66	77	67	68
CPT-3	0	5	5	5	CPT-66	107	107	102	99
CPT-4	17	17	17	17	CPT-67	29	29	29	29
CPT-5	5	24	21	20	CPT-68	70	70	70	69
CPT-6	65	65	59	59	CPT-69	92	91	90	89
CPT-7	6	30	23	21	CPT-70	56	67	59	59
CPT-8	24	41	36	38	CPT-71	244	249	247	246
CPT-9	0	3	3	2	CPT-72	107	115	105	102
CPT-10	1	3	2	3	CPT-73	165	185	164	160
CPT-11	14	46	33	39	CPT-74	32	67	51	53
CPT-12	0	11	11	11	CPT-75	3	45	25	36
CPT-13	2	44	37	42	CPT-76	3	60	46	50
CPT-14	23	33	32	33	CPT-77	26	25	25	25
CPT-15	5	15	13	14	CPT-78	55	67	56	51
CPT-16	21	24	24	24	CPT-79	42	42	42	42
CPT-17	23	42	30	37	CPT-80	37	71	61	53
CPT-18	27	52	46	43	CPT-81	340	340	340	333
CPT-19	8	38	26	34	CPT-82	334	334	334	332
CPT-20	22	64	52	62	CPT-83	308	306	306	301
CPT-21	160	202	166	154	CPT-84	268	267	265	264
CPT-22	19	21	21	21	CPT-85	132	135	123	122
CPT-23	7	11	11	11	CPT-86	99	123	110	101
CPT-24	18	18	17	18	CPT-87	113	116	106	108
CPT-25	46	59	56	58	CPT-88	209	230	226	229
CPT-26	4	6	6	6	CPT-89	19	38	34	35
CPT-27	11	11	11	11	CPT-90	3	22	17	18
CPT-28	27	29	29	29	CPT-91	233	233	227	227
CPT-29	20	20	20	20	CPT-92	60	80	63	66
CPT-30	29	34	31	33	CPT-93	48	55	50	50
CPT-31	35	39	36	37	CPT-94	63	64	62	62
CPT-32	33	36	35	34	CPT-95	335	333	330	325
CPT-33	34	40	37	37	CPT-96	38	44	40	41
CPT-34	11	18	14	15	CPT-97	67	67	66	66
CPT-35	74	92	88	91	CPT-98	2	40	36	38
CPT-36	16	29	26	26	CPT-99	37	35	31	30
CPT-37	7	6	6	6	CPT-100	45	45	45	45
CPT-38	37	39	39	39	CPT-101	73	73	73	73
CPT-39	32	32	31	31	CPT-102	8	135	91	99
CPT-40	3	8	7	7	CPT-103	79	83	81	82
CPT-41	43	43	43	43	CPT-104	131	145	144	145
CPT-42	13	13	13	13	CPT-105	22	21	21	21
CPT-43	0	0	0	0	CPT-106	76	104	90	89

Çizelge 3.1. (devam) $F_{SL} < 1$ olan 5 cm kalınlığındaki tabaka sayıları

CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss	CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-44	11	11	11	11	CPT-107	176	194	186	196
CPT-45	54	56	56	53	CPT-108	107	107	107	107
CPT-46	59	64	63	62	CPT-109	356	357	347	338
CPT-47	80	84	81	77	CPT-110	378	378	377	377
CPT-48	49	53	50	50	CPT-111	113	141	137	139
CPT-49	1	26	24	24	CPT-112	192	194	191	187
CPT-50	44	94	80	72	CPT-113	73	75	75	75
CPT-51	90	92	89	88	CPT-114	87	96	91	94
CPT-52	51	59	50	50	CPT-115	0	26	12	16
CPT-53	47	47	47	47	CPT-116	9	12	11	12
CPT-54	30	35	35	35	CPT-117	11	11	11	11
CPT-55	33	33	33	33	CPT-118	62	78	72	70
CPT-56	73	78	75	75	CPT-119	53	103	94	98
CPT-57	76	76	76	76	CPT-120	68	74	69	72
CPT-58	76	84	83	84	CPT-121	67	81	74	74
CPT-59	171	176	164	162	CPT-122	178	180	154	142
CPT-60	14	73	61	60	CPT-123	94	95	95	93
CPT-61	12	62	44	57	CPT-124	93	105	98	89
CPT-62	0	10	7	2	CPT-125	28	28	28	28
CPT-63	68	74	71	73	Toplam	8444	9912	9271	9275

CPT sonuçlarına göre güvenlik faktörü incelendiğinde; Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre yapılan hesaplamalar, 70 adet CPT’de güvenlik faktörünün 1’den küçük olduğu tabaka sayısının diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu göstermektedir (Şekil 3.19 (a)). Buna karşın, NCEER yöntemine göre yapılan hesaplamalar, 73 adet CPT’de güvenlik faktörünün 1’den küçük olduğu tabaka sayısı diğer yöntemlere göre daha az olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 3.19 (b)).

Güvenlik faktörü hesaplamasına 4 yöntem değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, en yüksek güvenlik katsayısı değerlerinin NCEER yöntemiyle, en düşük güvenlik katsayısı değerlerinin ise Idriss ve Boulanger (2008) yöntemiyle elde edildiği belirlenmiştir CPT özelinde $F_{SL} < 1$ olan tabaka sayılarına ait detaylı grafik EK - 1’de verilmiştir.



Şekil 3.19. $F_{SL} < 1$ olan tabaka sayılarına sahip CPT sayısı histogram grafiği (a) $F_{SL} < 1$ olan en fazla tabaka sayısına sahip CPT sayısı (b) $F_{SL} < 1$ olan en az tabaka sayısına sahip CPT sayısı

3.5.3. CPT esaslı sıvılaşma analizlerinde sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI)

CPT tabanlı sıvılaşma analizlerinde rutin güvenlik katsayısı hesaplamalarına ilaveten, CPT yapılan noktadaki zemin deformasyonlarının ve hasarının ifade edilebilmesi amacıyla Iwasaki ve diğerleri (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma Potansiyel İndisi (LPI) hesaplaması yapılmıştır.

LPI değerinin 0 olması sıvılaşma olmadığı, 0-5 arasında olması sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonlarının muhtemel olmadığı, 5-15 arası sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonlarının muhtemel olduğu, 15'ten büyük olması ise sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonu oluşumunun kesin olması anlamına gelmektedir.

Sıvılaşma potansiyeli indeksi 20 metre derinliğe kadar hesaplanmakta olup güvenlik katsayısının 1'den az olduğu kesimler için hesaplama yapılmıştır. Güvenlik katsayısının, NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)) (NCEER), Idriss ve Boulanger (2008) (I&B), Boulanger ve Idriss (2014) (B&I), Moss ve diğerleri (2006) (Moss) yöntemlerine göre farklı sonuçlar vermesi nedeniyle dört farklı LPI değeri elde edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. CPT’lerden elde edilen LPI değerleri

CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss	CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-1	0.1	5.36	4.17	4.97	CPT-64	7.87	11.02	9.73	11.06
CPT-2	0.78	5.26	3.56	4.8	CPT-65	6.92	10	8.49	8.19
CPT-3	0	1.41	1.2	1.43	CPT-66	19.86	22.77	20.94	20.93
CPT-4	5.85	6.07	5.32	6.62	CPT-67	5.2	6.66	6.15	6.7
CPT-5	0.47	4.58	3.41	3.26	CPT-68	16	18.27	16.81	17.92
CPT-6	4.48	7.68	6.83	6.79	CPT-69	14.43	15.18	13.84	14.48
CPT-7	0.81	5.17	3.87	3.68	CPT-70	8.84	14.11	11.92	12.89
CPT-8	2.22	6.23	4.63	5.18	CPT-71	53.52	54.56	50.43	52.65
CPT-9	0	0.59	0.38	0.3	CPT-72	20.49	25.46	22.28	21.13
CPT-10	0.01	0.55	0.38	0.43	CPT-73	22.83	33.93	28.09	27.44
CPT-11	0.48	7.21	4.69	5.1	CPT-74	2.84	12.47	8.19	7.75
CPT-12	0	2.63	1.98	2.46	CPT-75	0.22	7.98	4.71	5.82
CPT-13	0.18	9.45	6.87	8.17	CPT-76	0.31	12.25	8.67	9.15
CPT-14	2.17	7.1	5.96	6.63	CPT-77	3.14	5.28	4.76	4.96
CPT-15	0.39	3.07	2.21	2.92	CPT-78	6.81	10.71	8.95	9.12
CPT-16	2.09	5.03	4.42	4.54	CPT-79	5.46	5.85	5.29	5.89
CPT-17	1.31	6.42	4.53	4.74	CPT-80	5.31	12.06	9.57	9.86
CPT-18	2.27	9.75	7.51	7.19	CPT-81	63.86	65.36	60.75	62.14
CPT-19	0.63	8.25	5.76	7.29	CPT-82	56.13	58.86	54.98	54.89
CPT-20	2.57	12.56	9.1	10.7	CPT-83	54.82	56.21	52.44	53.34
CPT-21	21.51	32.15	27.29	27.4	CPT-84	51.13	52.45	48.88	50.14
CPT-22	4.7	5.95	5.22	6.37	CPT-85	23.68	25.26	22.64	23.41
CPT-23	1.32	2.7	2.35	2.79	CPT-86	19.55	24.28	21.53	21.36
CPT-24	4.75	5.5	5.12	4.9	CPT-87	19.82	21.76	19.67	20.98
CPT-25	5.74	15.53	13.23	15.45	CPT-88	24.72	44.57	38.79	42.63
CPT-26	0.13	1.11	0.77	0.9	CPT-89	3	8.59	6.71	8.08
CPT-27	2.71	3.78	3.49	4	CPT-90	0.56	4.31	2.93	2.71
CPT-28	4.74	7.76	6.91	7.54	CPT-91	40.28	42.82	39.07	41.9
CPT-29	5.54	6.19	5.56	6.39	CPT-92	2.31	6.72	4.22	3.49
CPT-30	6.16	8.75	7.31	8.57	CPT-93	6.6	9.34	8.18	8.5
CPT-31	7.67	10.02	8.47	9.95	CPT-94	7.61	10.23	8.45	9.12
CPT-32	6.03	9.29	8.47	7.77	CPT-95	60.91	63.91	58.65	62.2
CPT-33	6.73	9.6	8.16	8.44	CPT-96	7.25	11.13	9.72	10.77
CPT-34	0.82	2.57	2.06	1.89	CPT-97	7.66	8.69	7.95	8.15
CPT-35	15.99	22.42	19.4	22.74	CPT-98	0.02	8.76	6.85	7.46
CPT-36	0.94	5.23	4.1	4.28	CPT-99	2.86	4.11	3.64	3.84
CPT-37	1.87	1.92	1.73	2.09	CPT-100	9.05	11.51	10.48	11.72
CPT-38	9.71	10.94	10.32	10.87	CPT-101	18	20.07	18.46	20.62
CPT-39	5.63	6.38	5.97	5.73	CPT-102	0.61	21.33	13.17	15.25
CPT-40	0.65	1.7	1.1	1.41	CPT-103	13.64	17.38	15.52	15.98
CPT-41	6.54	8.51	7.58	8.46	CPT-104	16.99	26.9	23.77	24.27
CPT-42	2.57	3.38	3.07	3.47	CPT-105	2.87	4.08	3.68	3.98
CPT-43	0	0	0	0	CPT-106	18.05	24.29	20.78	22.67
CPT-44	2.62	2.99	2.81	3.03	CPT-107	20.62	35.69	31.02	33.52
CPT-45	11.2	13.62	12.65	12.65	CPT-108	27.65	27.72	26.11	28.35
CPT-46	13.86	15.93	14.84	14.94	CPT-109	67.44	70.04	64.49	67.23
CPT-47	12.8	16.34	14.81	13.69	CPT-110	77.57	78.51	72.8	74.8
CPT-48	8.59	11.2	9.77	10.17	CPT-111	15.99	29.9	24.95	28.34
CPT-49	0.02	5.58	4.16	5.26	CPT-112	26.81	34.8	31.05	32.11
CPT-50	7	18.51	15.14	11.46	CPT-113	14.34	19.19	17.92	19.16
CPT-51	13.93	17.44	15.52	15.38	CPT-114	19.17	24.79	21.87	23.08
CPT-52	5.1	9.3	7.88	6.53	CPT-115	0	3.73	1.61	2.22
CPT-53	8.99	10.55	9.66	10.33	CPT-116	1.53	2.97	2.47	2.9

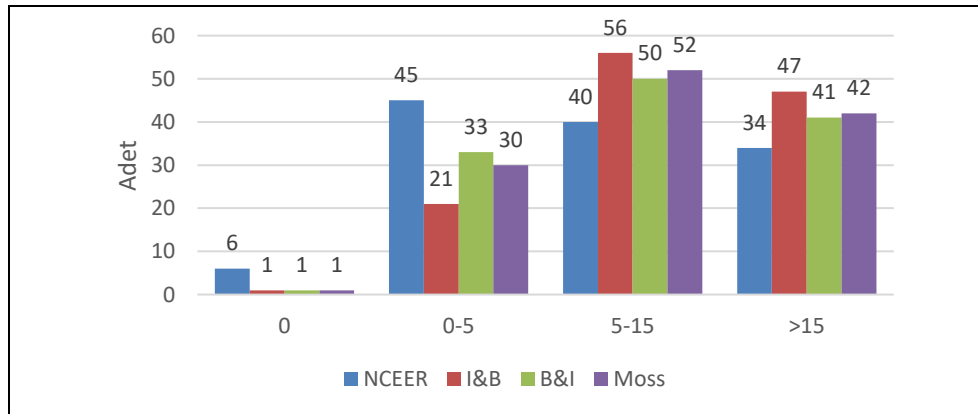
Çizelge 3.2. (devam) CPT’lerden elde edilen LPI değerleri

CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-54	8.19	10.49	9.58	10.92
CPT-55	7.01	9.61	8.78	9.6
CPT-56	16.6	19.93	18.34	19.52
CPT-57	18.94	21.22	19.87	20.36
CPT-58	14.35	20.93	18.4	20.88
CPT-59	31.25	38.04	34.76	35.23
CPT-60	0.74	12.14	8.06	8.67
CPT-61	0.35	9.14	5.84	5.97
CPT-62	0	1.22	0.94	0.36
CPT-63	15.56	17.85	15.73	18.35

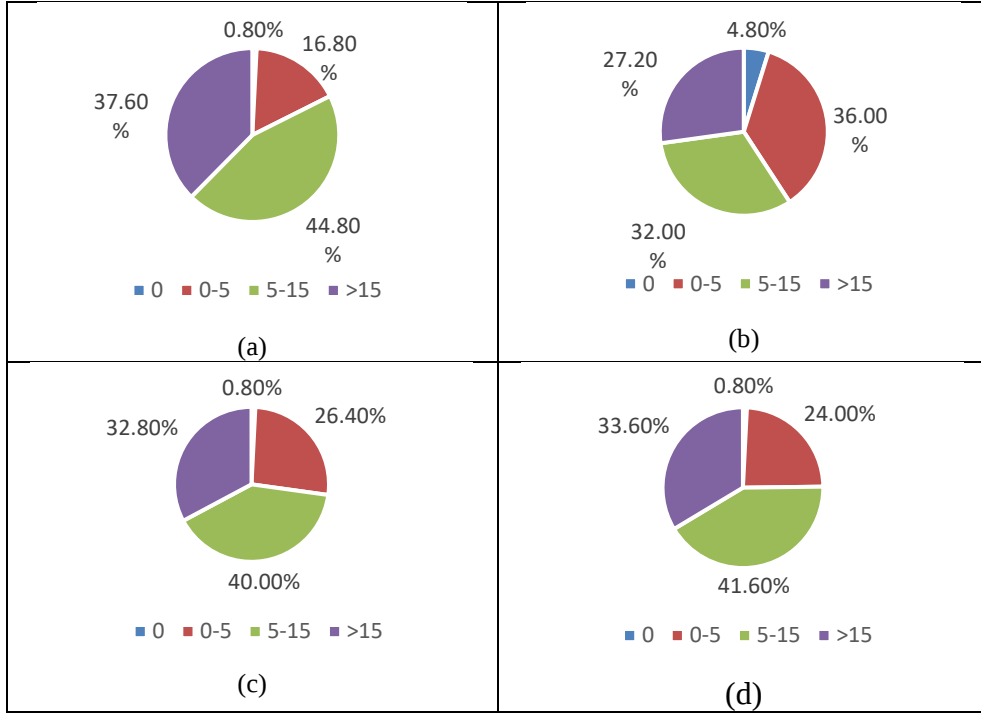
CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-117	3.53	3.63	3.34	3.75
CPT-118	6.34	11.42	9.5	9.95
CPT-119	4.76	22.35	18.5	19.73
CPT-120	14.94	18.38	16.74	17.1
CPT-121	10.1	16.13	13.96	14.61
CPT-122	21.21	27.75	24.46	22.53
CPT-123	15.65	19.88	17.76	20.25
CPT-124	15.66	20.23	17.52	16.33
CPT-125	8.03	8.62	8.11	8.97

CPT düzeyinde LPI değerlerinin dağılımında, güvenlik katsayısına paralel olarak Idriss ve Boulanger (2008) yönteminde daha yüksek LPI değerleri, NCEER yönteminde ise daha düşük LPI değerleri elde edilmiştir. $F_{SL} < 1$ olan 5 cm kalınlığındaki zemin tabakalarının her biri LPI değerine ağırlıklı olarak NCEER yönteminde 0,1613 katkı sağlarken, Idriss ve Boulanger (2008) yönteminde bu değer yaklaşık 0,2137’dir. Aynı değer Boulanger ve Idriss (2014) yönteminde zemin tabakası başına ağırlıklı ortalama değeri 0,1965 iken Moss ve diğerleri (2006) yönteminde ise yaklaşık 0,2091 kadardır. Bu durum güvenlik katsayısı hesaplamasında NCEER yöntemin diğer yöntemlere göre daha yüksek değer vermesiyle açıklanabilir.

Çalışma alanının CPT bazında yapılan LPI değerleri incelemesinde, değerlerin baskın olarak 5-15 aralında kaldığı ve sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonlarının muhtemel olduğu, ikincil olarak ise LPI değerinin >15 olduğu ve sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonu oluşumunun kesin olacağı sonucu çıkartılmıştır. CPT bazında yapılan LPI değerleri dağılımı Şekil 3.20’de, yöntemlere göre LPI dağılımı ise Şekil 3.21’de verilmiştir.



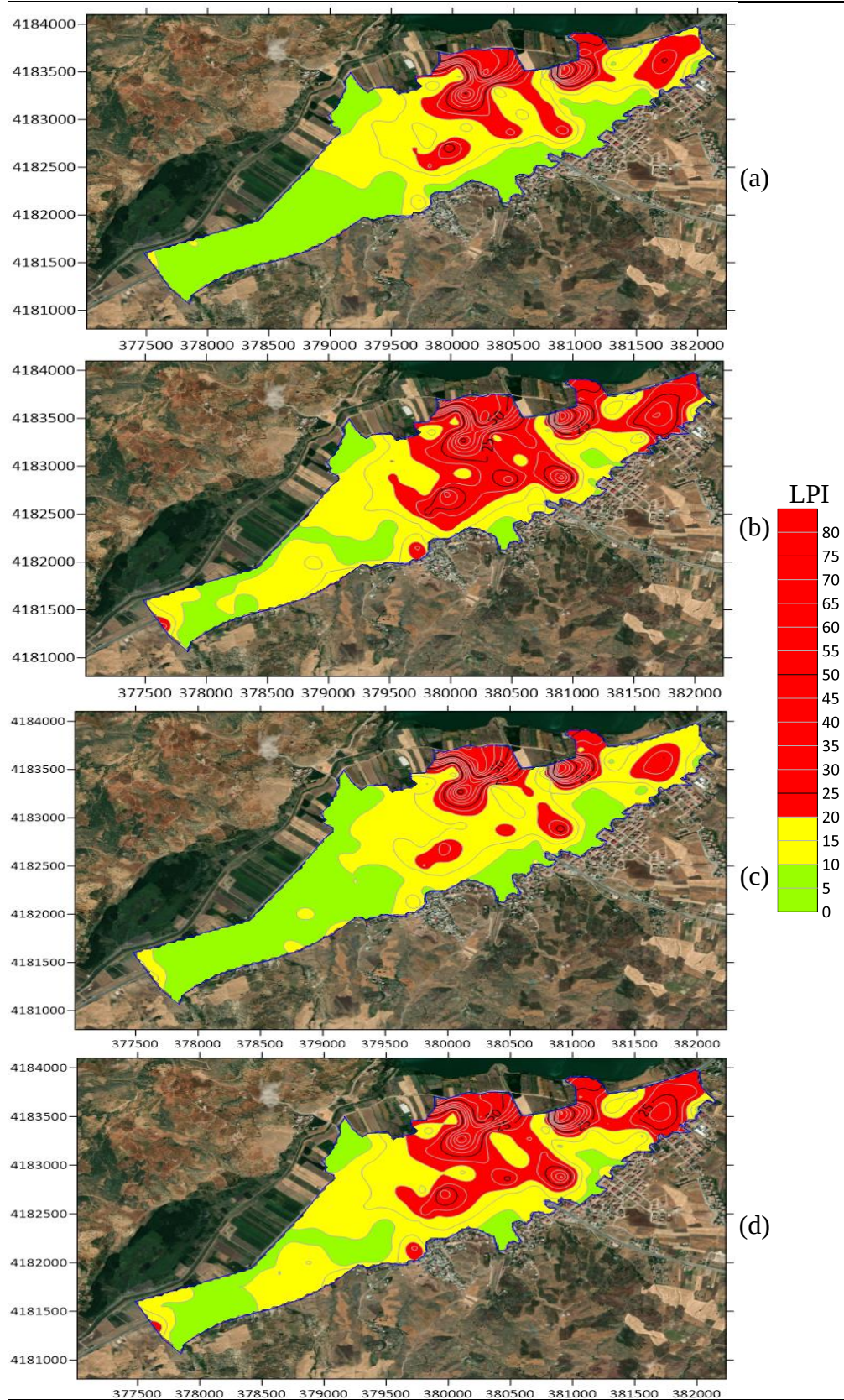
Şekil 3.20. CPT bazında yapılan LPI değerleri dağılımı



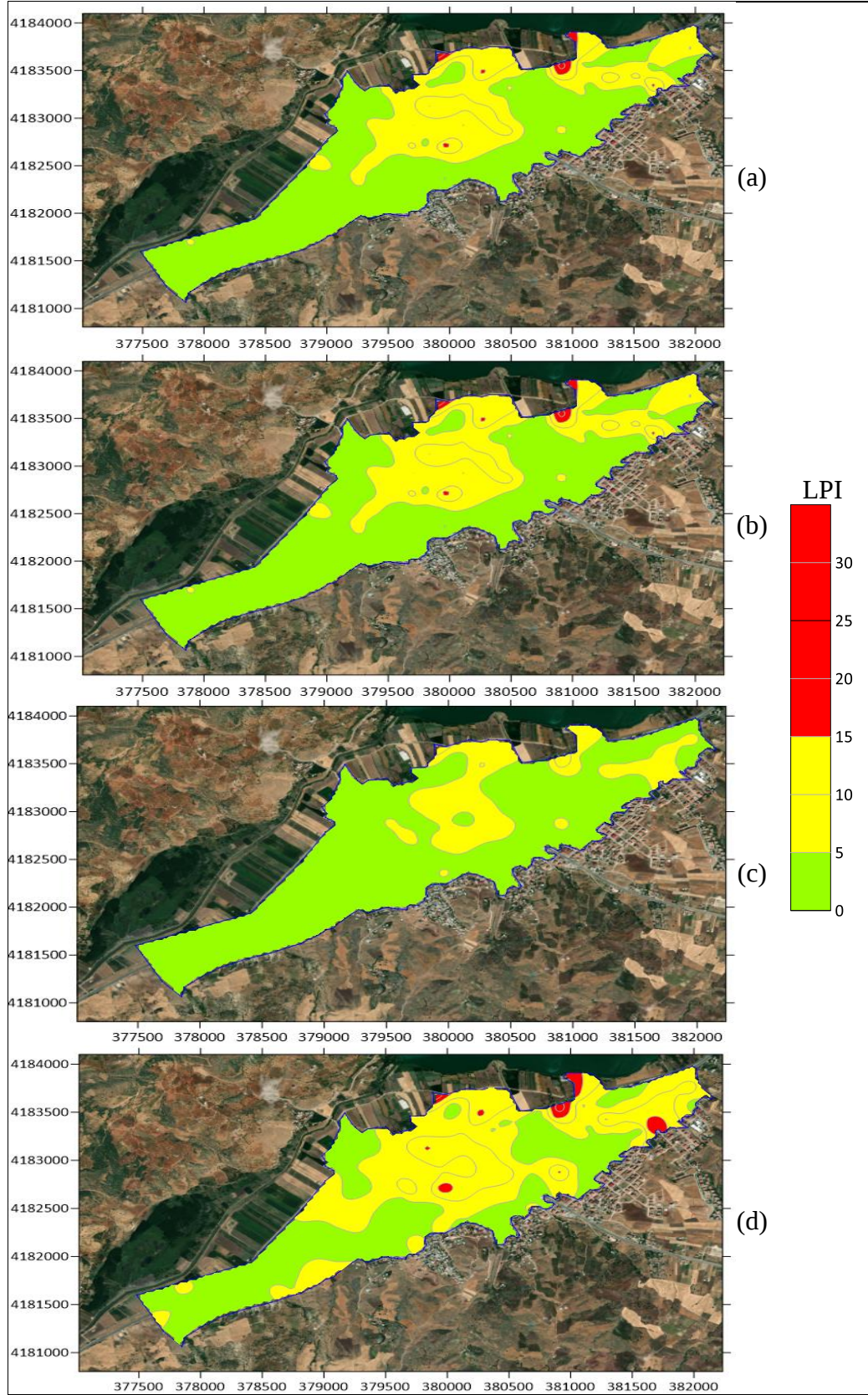
Şekil 3.21. CPT özelinde LPI değerleri dağılım yüzdeleri, [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]

Dört farklı yöntemle elde edilen LPI değerleri dağılım haritasında Gölbaşı Gölü'ne yaklaştıkça LPI değerinin arttığı ve sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonların olmasının muhtemel olduğu görülmektedir (Şekil 3.22). Bu durumun Gölbaşı Gölü'ne yaklaştıkça kalınlığı artan gevşek özellikteki zeminden kaynaklandığı düşünülmektedir. CPT özelinde LPI değerleri EK - 2'de ayrıntılı şekilde verilmiştir.

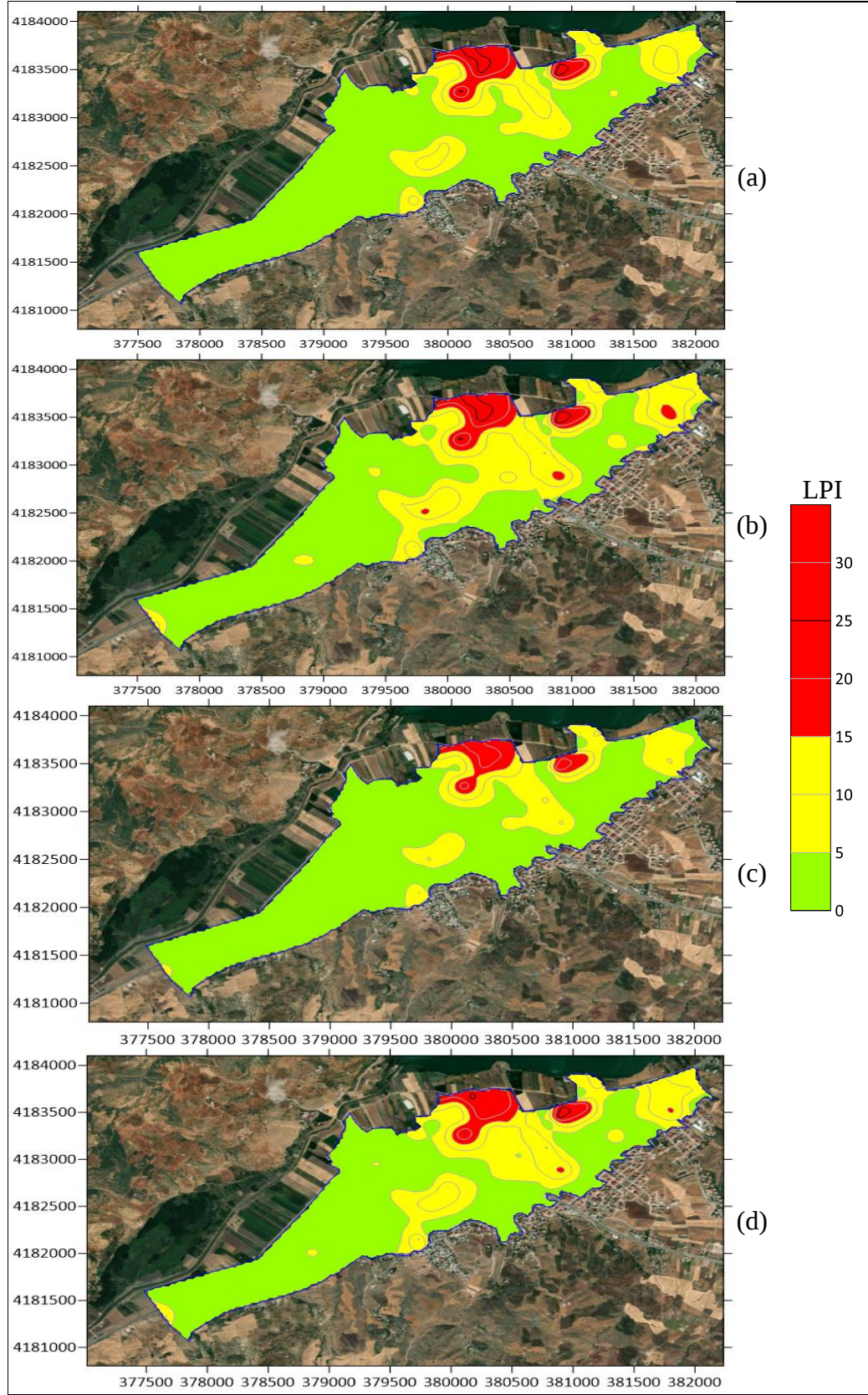
LPI değerlerinin zeminin hangi metresinde daha fazla olduğunu belirleyebilmek için zeminin yüzeyden itibaren 0-5 m, 5-10 m, 10-15 m ve 15-20 m aralıkları için ayrı ayrı LPI değerleri irdelenmiş ve çalışma alanının detaylı LPI dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26). Buna göre LPI değerleri genellikle 0-10 metre aralığında daha yüksek değerler vermektedir.



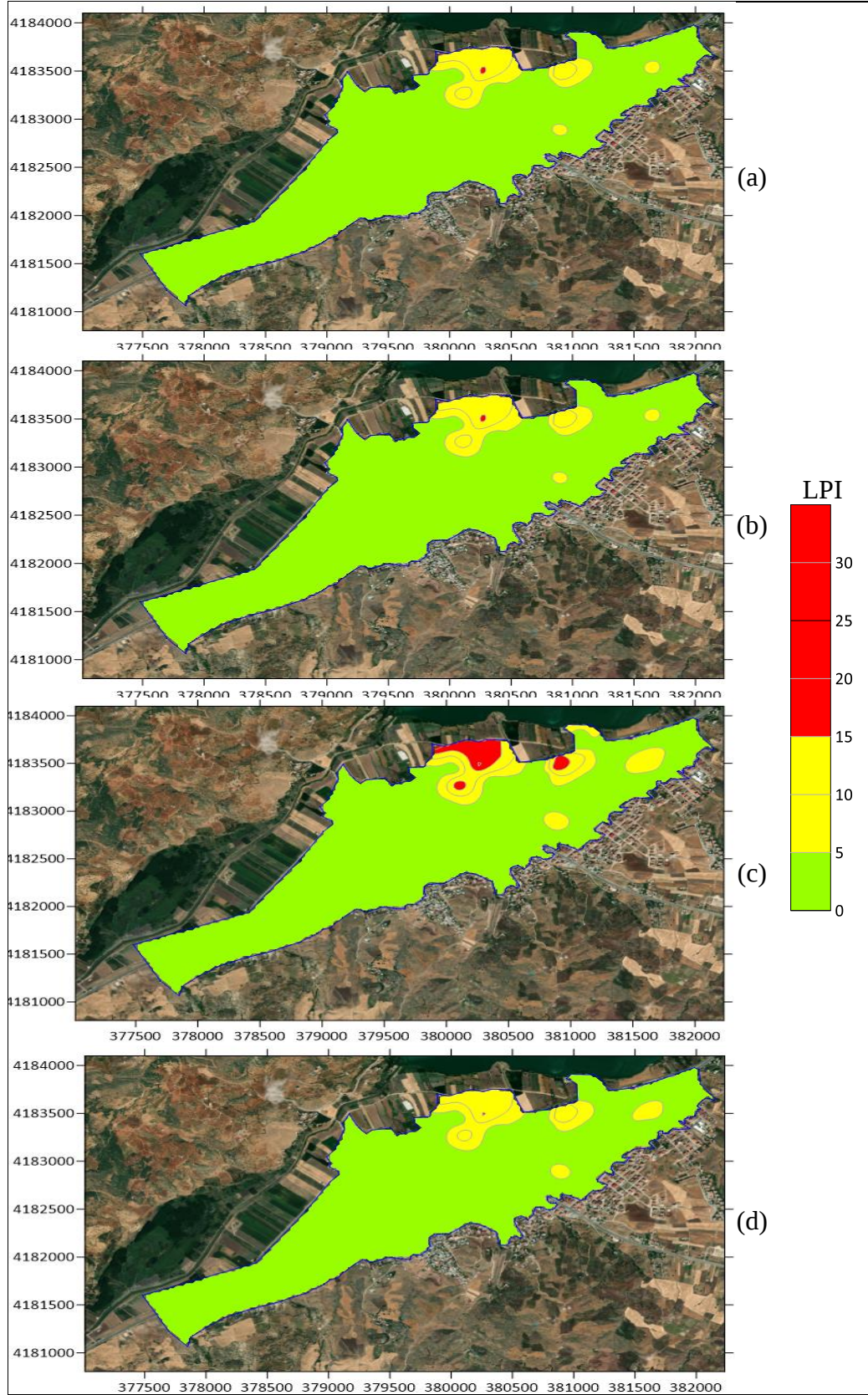
Şekil 3.22. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (0-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]



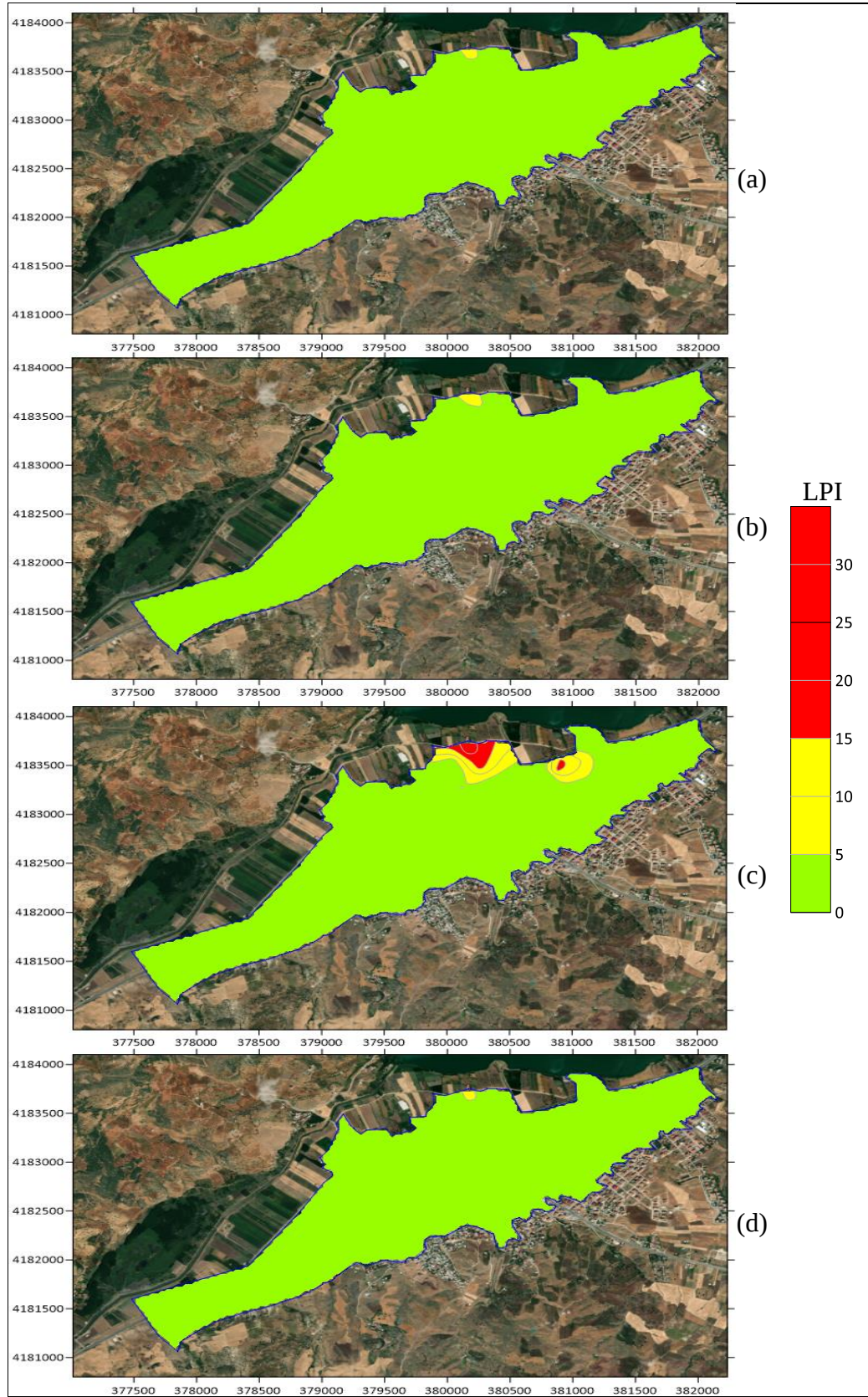
Şekil 3.23. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (0-5 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]



Şekil 3.24. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (5-10 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]

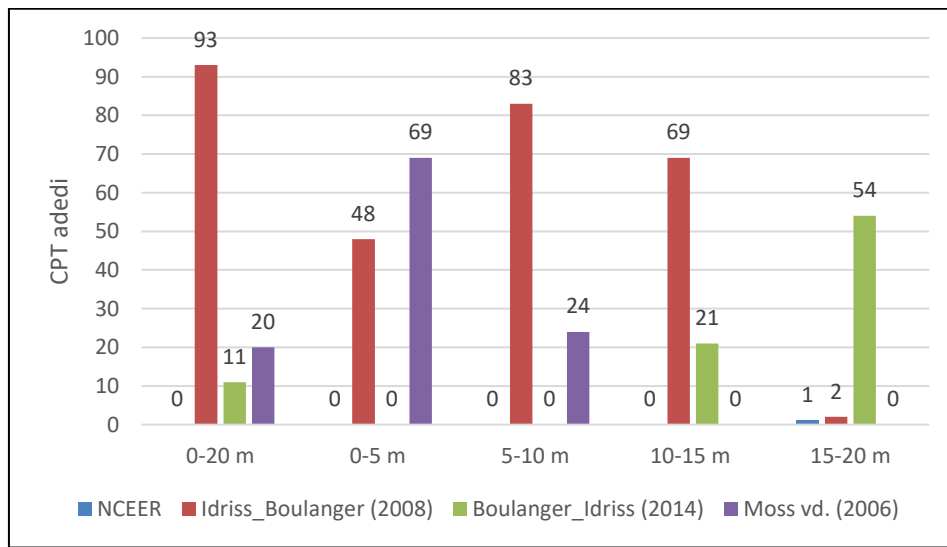


Şekil 3.25. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (10-15 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]



Şekil 3.26. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan LPI değerleri ve dağılım haritası (15-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]

Her 5 m'lik zemin tabakası için maksimum LPI değerine sahip CPT sayıları incelenmiştir (Şekil 3.27). İlk 5 metrede, Moss ve diğerleri (2006) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizinde 69 CPT'de en yüksek LPI değerleri elde edilmiştir. 5-10 metreler ve 10-15 metreler arasında, Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizinde en yüksek LPI değerleri daha fazla sayıda CPT'de görülmüştür. 15-20 metreler arası ise Boulanger ve Idriss (2014) yöntemine göre yapılan sıvılaşma analizinde en yüksek LPI değeri en fazla sayıda CPT'de tespit edilmiştir. Genel olarak 0-20 metre aralığında, 93 adet CPT'de en yüksek LPI değerleri Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.27. Maksimum LPI değerine sahip CPT sayıları

CPT bazında LPI değerleri 5'er metrelik derinliklerle incelenmiş her CPT için dört farklı sıvılaşma analizinden belirlenen LPI değerlerinin dağılım grafikleri oluşturulmuştur (EK - 3, EK - 4, EK - 5, EK - 6). Dağılım grafiklerine göre her 5 metredeki LPI değerlerinin toplam LPI değerine hangi oranda katkı sağladığı belirlenmiştir (Çizelge 3.3). Bu sayede yaklaşık olarak hangi derinlik aralığının sıvılaşma kaynaklı deformasyona daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. LPI değerlerinin derinlik ile dağılımı

Derinlik	NCEER Yöntemi	Idriss ve Boulanger (2008) Yöntemi	Boulanger ve Idriss (2014) Yöntemi	Moss ve diğerleri (2006) Yöntemi
0 – 5 m	% 48,7	% 50,1	% 44,2	% 53,4
5 – 10 m	% 36,4	% 35,1	% 33,5	% 34,6
10 – 15 m	% 12,9	% 12,4	% 15,6	% 10,4
15 – 20 m	% 2,0	% 2,4	% 6,7	% 1,7

3.5.4. CPT esaslı sıvılaşma kaynaklı oturma

CPT tabanlı sıvılaşma analizlerinde ayrıca Zhang ve diğerleri (2002) tarafından önerilen yöntemle göre 20 metre derinliğe kadar zemin tabakalarının hacimsel birim deformasyonları - serbest saha yüzey oturma değerleri hesaplanmıştır.

NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)) (NCEER), Idriss ve Boulanger (2008) (I&B), Boulanger ve Idriss (2014) (B&I), Moss ve diğerleri (2006) (Moss) yöntemlerine göre yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen sonuçlara göre her CPT için oturma hesaplaması yapılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. CPT’lerden elde edilen tahmini oturma değerleri (cm)

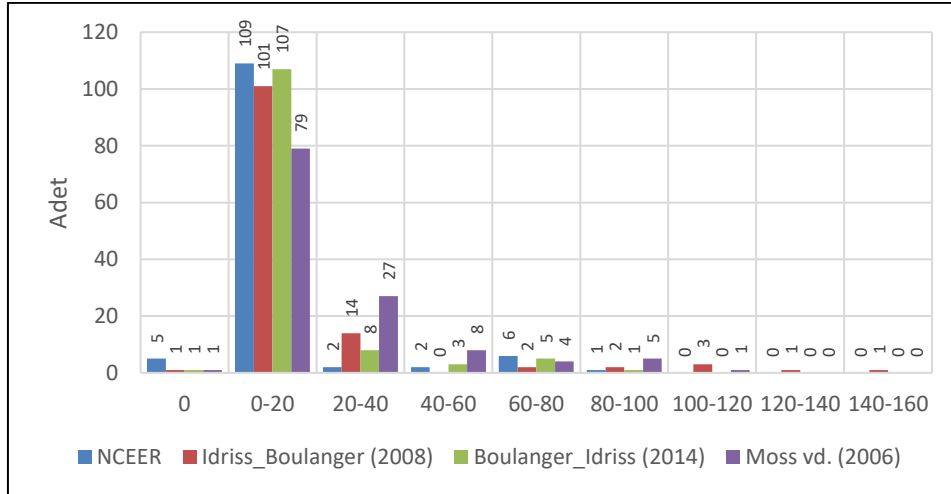
CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-1	0.19	3.3	2.54	6.44
CPT-2	0.41	2.81	1.99	6.38
CPT-3	0	1.07	0.94	1.48
CPT-4	3.01	4.83	3.5	4.93
CPT-5	0.37	3.28	2.4	5.98
CPT-6	5.39	8.78	7.01	17.59
CPT-7	0.64	4.19	3	6.57
CPT-8	2.23	5.7	4.36	11.18
CPT-9	0	0.34	0.26	0.7
CPT-10	0.03	0.31	0.24	0.87
CPT-11	0.74	5.3	3.8	11.4
CPT-12	0	1.47	1.16	3.19
CPT-13	0.24	5.96	4.56	12.4
CPT-14	1.73	4.83	4.01	9.63
CPT-15	0.39	1.99	1.51	4.12
CPT-16	1.66	3.91	3.25	6.96
CPT-17	1.46	5.4	3.77	10.65
CPT-18	1.92	6.79	5.5	12.41
CPT-19	0.44	4.09	3.02	10.04
CPT-20	1.95	8.81	6.43	18.63
CPT-21	14.94	26.75	20.55	46.25
CPT-22	2.32	3.86	3.23	6.09

CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-64	4.09	7.9	6.51	13.05
CPT-65	6.54	10.74	8.64	19.69
CPT-66	11.77	18.01	15.29	29.03
CPT-67	3.05	5.02	4.27	8.41
CPT-68	8.3	13.48	11.06	19.96
CPT-69	14.97	21.21	15.97	25.93
CPT-70	5.17	9.78	7.92	17.5
CPT-71	62.01	91.87	56.26	71.42
CPT-72	10.23	16.64	13.79	30
CPT-73	14.62	24.78	19.83	46.75
CPT-74	2.06	7.01	5.26	15.79
CPT-75	0.16	4.51	2.86	11.4
CPT-76	0.28	7.3	5.42	15.15
CPT-77	2.26	4.2	3.52	7.25
CPT-78	4.83	9.25	7.21	15.34
CPT-79	5.61	8.21	6.39	12.18
CPT-80	3.48	8.92	6.9	15.38
CPT-81	76.16	121.28	71.01	96.48
CPT-82	72.97	104.35	69	96.29
CPT-83	66.64	93.04	63.6	87.68
CPT-84	54.51	79.28	52.43	77.07
CPT-85	23.08	30.81	23.16	35.87

Çizelge 3.4. (devam) CPT’lerden elde edilen tahmini oturma değerleri (cm)

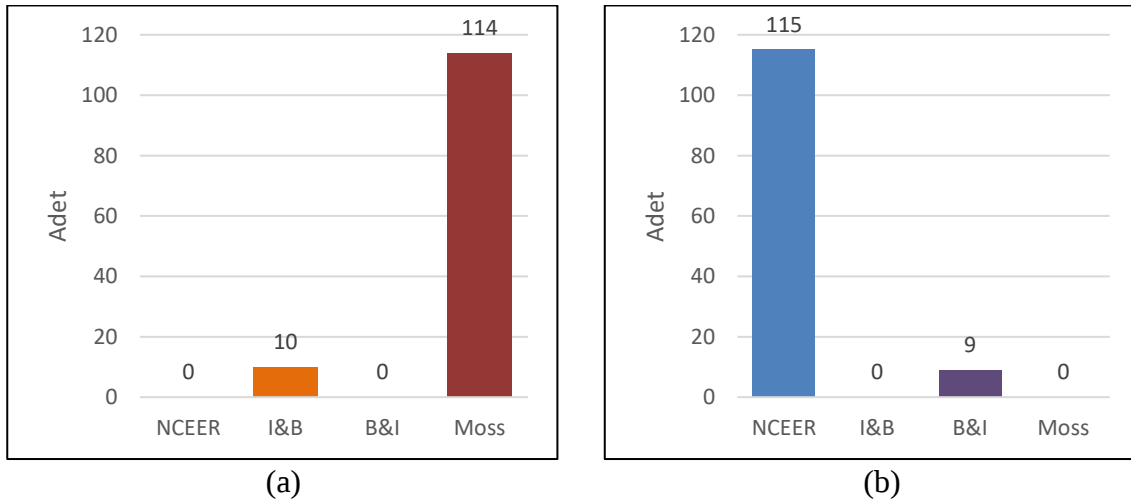
CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss	CPT No	NCEER	I&B	B&I	Moss
CPT-23	0.79	1.8	1.52	3.19	CPT-86	13.09	23.17	17.66	29.31
CPT-24	2	2.84	2.58	5.22	CPT-87	13.94	21.8	17.03	31.27
CPT-25	3.34	8.73	7.2	16.86	CPT-88	18.89	35.22	29.47	66.44
CPT-26	0.18	0.73	0.57	1.74	CPT-89	1.73	5.38	4.25	10.37
CPT-27	1.05	2.03	1.66	3.19	CPT-90	0.28	2.63	1.95	5.3
CPT-28	2.56	5.09	4.34	8.41	CPT-91	44.45	64.68	44.7	65.93
CPT-29	2.86	4.5	3.7	5.8	CPT-92	4.13	8.69	6.19	18.99
CPT-30	3.04	5.69	4.52	9.4	CPT-93	4.58	8.53	6.87	14.66
CPT-31	3.72	6.39	5.18	10.94	CPT-94	5.68	9.48	7.52	18.06
CPT-32	3.1	5.6	4.91	9.98	CPT-95	69.68	113.56	67.26	94.38
CPT-33	3.84	6.56	5.24	10.66	CPT-96	3.42	6.13	5.09	12.11
CPT-34	0.9	2.31	1.75	4.46	CPT-97	7.66	11.1	9.29	19.2
CPT-35	8.72	17.97	14.12	26.48	CPT-98	0.07	5.08	4.07	11
CPT-36	0.97	3.94	3.03	7.71	CPT-99	3.22	5.57	4.02	8.83
CPT-37	0.98	1.28	1.05	1.74	CPT-100	4.8	8.16	6.85	13.05
CPT-38	4.15	6.76	5.78	11.31	CPT-101	11.23	15.77	12.58	21.17
CPT-39	3.49	5.09	4.33	9.03	CPT-102	0.8	14.68	9.83	29.76
CPT-40	0.34	1.12	0.71	2.12	CPT-103	8.44	13.87	11.19	23.88
CPT-41	4.4	6.99	5.89	12.47	CPT-104	12.88	23.63	19.41	41.88
CPT-42	1.33	2.11	1.84	3.77	CPT-105	2.02	3.58	2.95	6.09
CPT-43	0	0	0	0	CPT-106	8.37	16.19	12.93	25.84
CPT-44	1.3	2.17	1.83	3.19	CPT-107	16.12	28.63	23.88	56.61
CPT-45	5.94	9.39	8.08	15.43	CPT-108	25.15	33.3	23.84	31.03
CPT-46	7.26	11.62	9.94	18.04	CPT-109	72.82	106.01	70.23	98.61
CPT-47	8.17	12.92	11.03	22.75	CPT-110	88.52	156.18	82.73	109.28
CPT-48	4.99	8.3	6.95	14.7	CPT-111	10.51	20.24	16.76	40.3
CPT-49	0.1	3.78	2.95	7.18	CPT-112	19.21	30.42	25.53	54.33
CPT-50	3.8	11.51	9.56	21.86	CPT-113	7.95	14.06	11.31	21.75
CPT-51	9.07	13.86	11.61	25.35	CPT-114	8.87	14.15	12.17	27.35
CPT-52	4.18	7.61	6.22	14.35	CPT-115	0	2.7	1.33	5.31
CPT-53	5.35	8.58	7.27	13.63	CPT-116	0.78	1.79	1.43	3.31
CPT-54	3.83	7.26	5.9	10.44	CPT-117	1.7	2.48	1.9	3.19
CPT-55	3.11	5.19	4.43	9.57	CPT-118	6.28	12.69	9.85	20.79
CPT-56	7.84	13.47	11.29	21.96	CPT-119	3.82	15.14	11.96	28.59
CPT-57	8.67	13.95	11.85	21.87	CPT-120	7.4	12.06	10.23	20.98
CPT-58	7.59	13.51	11.45	24.36	CPT-121	6.41	12.14	9.97	21.59
CPT-59	17.37	27.22	22.84	47.59	CPT-122	16.41	26.53	21.03	41.9
CPT-60	1.09	8.26	5.98	17.78	CPT-123	9.53	15.4	12.84	26.98
CPT-61	0.93	6.83	4.79	16.32	CPT-124	10.89	17.82	14.1	26.14
CPT-62	0.08	0.92	0.65	0.77	CPT-125	3.39	5.23	4.37	8.12
CPT-63	9.06	14.8	11.31	21.21					

Moss ve diğerleri (2006) yöntemine göre yapılan sınıflama analizlerinde, oturma değerleri daha fazla sayıdaki CPT’de en yüksek değeri vermiştir. Ancak, 80 cm’den fazla olduğu CPT noktalarında, Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre yapılan sınıflama analizleri, diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek oturma değerleri vermiştir. Genel olarak oturma değerleri 0-20 cm değerleri aralığındadır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Oturma değerleri histogram grafiği

Dört farklı yöntemle yapılan sınıflama analizlerinde, her CPT noktasında yapılan oturma hesaplaması için yöntemler mukayese edilmiş olup Moss ve diğerleri (2006) yöntemi 114 adet CPT’de en yüksek oturma değerleri verirken, 115 adet CPT’de NCEER yöntemi en düşük oturma değerini vermektedir (Şekil 3.29). Bir CPT noktasında ise sınıflama kaynaklı oturmanın olmayacağı belirlenmiştir. CPT’lere ait oturma değerlerine ait detaylı grafik EK - 7’de verilmiştir.



Şekil 3.29. CPT’lerde en yüksek ve en düşük oturma değerleri grafiği [(a) en yüksek oturma değerine sahip CPT sayısı, (b) En düşük oturma değerine sahip CPT sayısı]

Serbest saha oturma değerleri LPI dağılım haritasına uygun olarak inceleme alanının kuzey tarafına doğru artmaktadır (Şekil 3.30). Bu durumun Gölbaşı Gölü’ne yaklaştıkça kalınlığı

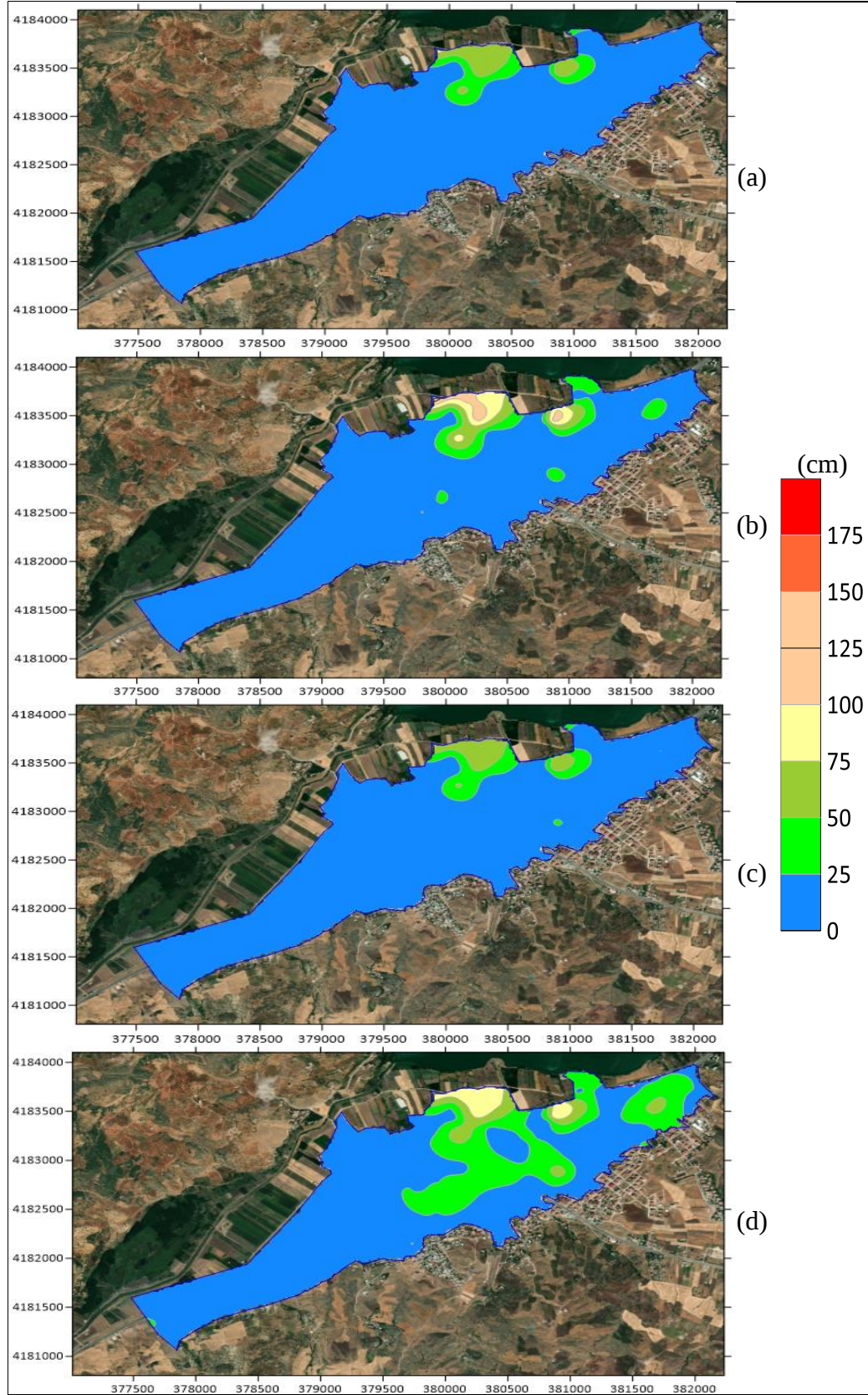
artan gevşek özellikteki, relatif sıkılığı nispeten daha düşük olan zeminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Oturma değerlerinin zeminin hangi metresinde daha fazla olduğunu belirleyebilmek için zeminin yüzeyden itibaren 0-5 m, 5-10 m, 10-15 m ve 15-20 m aralıkları için ayrı ayrı oturma değerleri irdelenmiş ve çalışma alanının detaylı oturma dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.31, Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34)

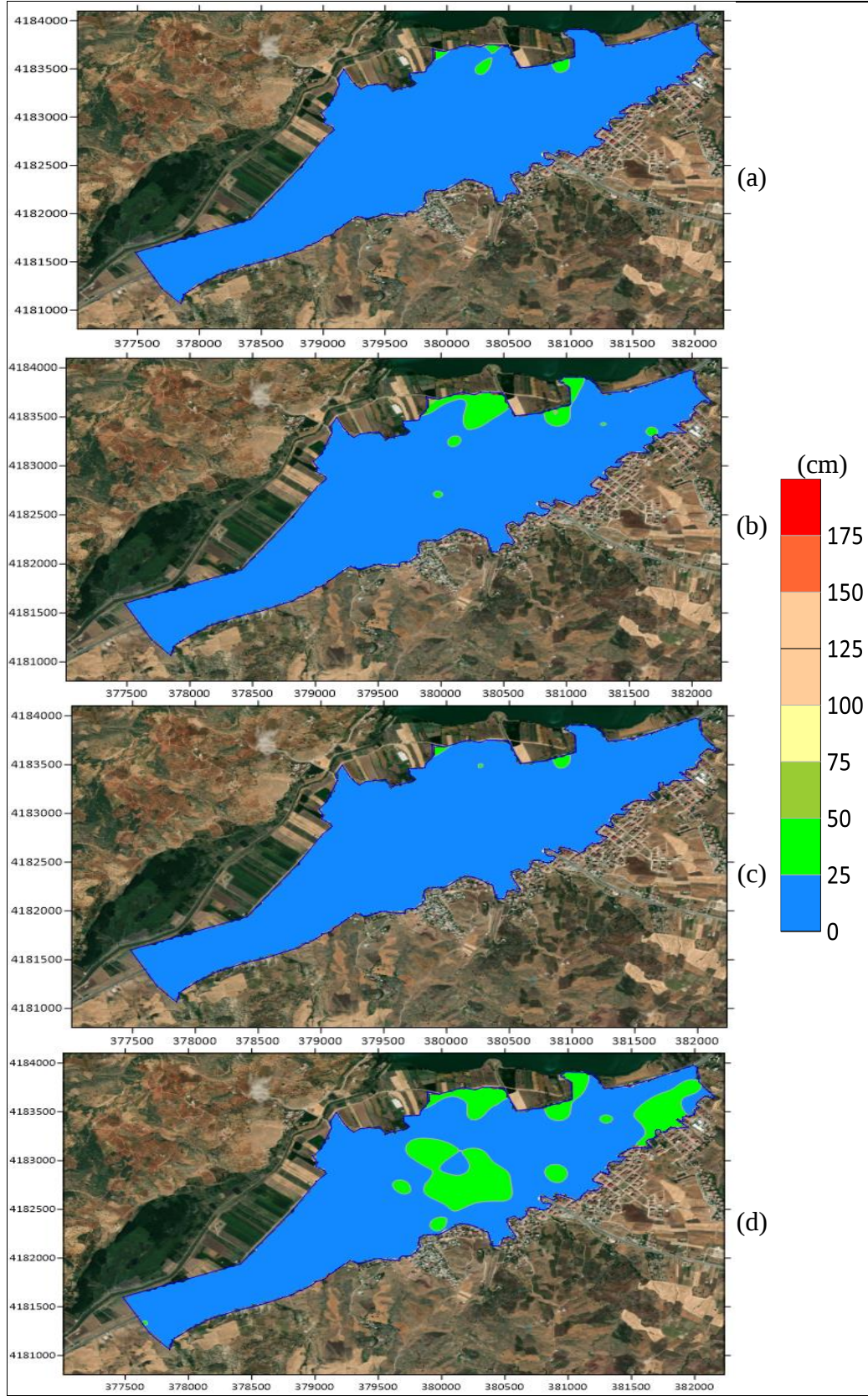
CPT bazında sınılaşma kaynaklı oturma değerleri 5'er metrelik derinliklerle incelenmiş her CPT için dört farklı hesaplama yöntemine göre belirlenen oturma değerlerinin dağılım grafikleri oluşturulmuştur (EK - 8, EK - 9, EK - 10, EK - 11). Dağılım grafiklerine göre her 5 metredeki oturma değerlerinin toplam değere hangi oranda katkı sağladığı belirlenmiştir (Çizelge 3.5). Bu sayede yaklaşık olarak hangi derinlik aralığının sınılaşma kaynaklı serbest saha oturmasına daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan oturma miktarının yaklaşık %75'i gibi bir oranının zeminin ilk 10 metresinde gerçekleşeceği tespit edilmiştir.

Çizelge 3.5. Oturma değerlerinin derinlik ile dağılımı

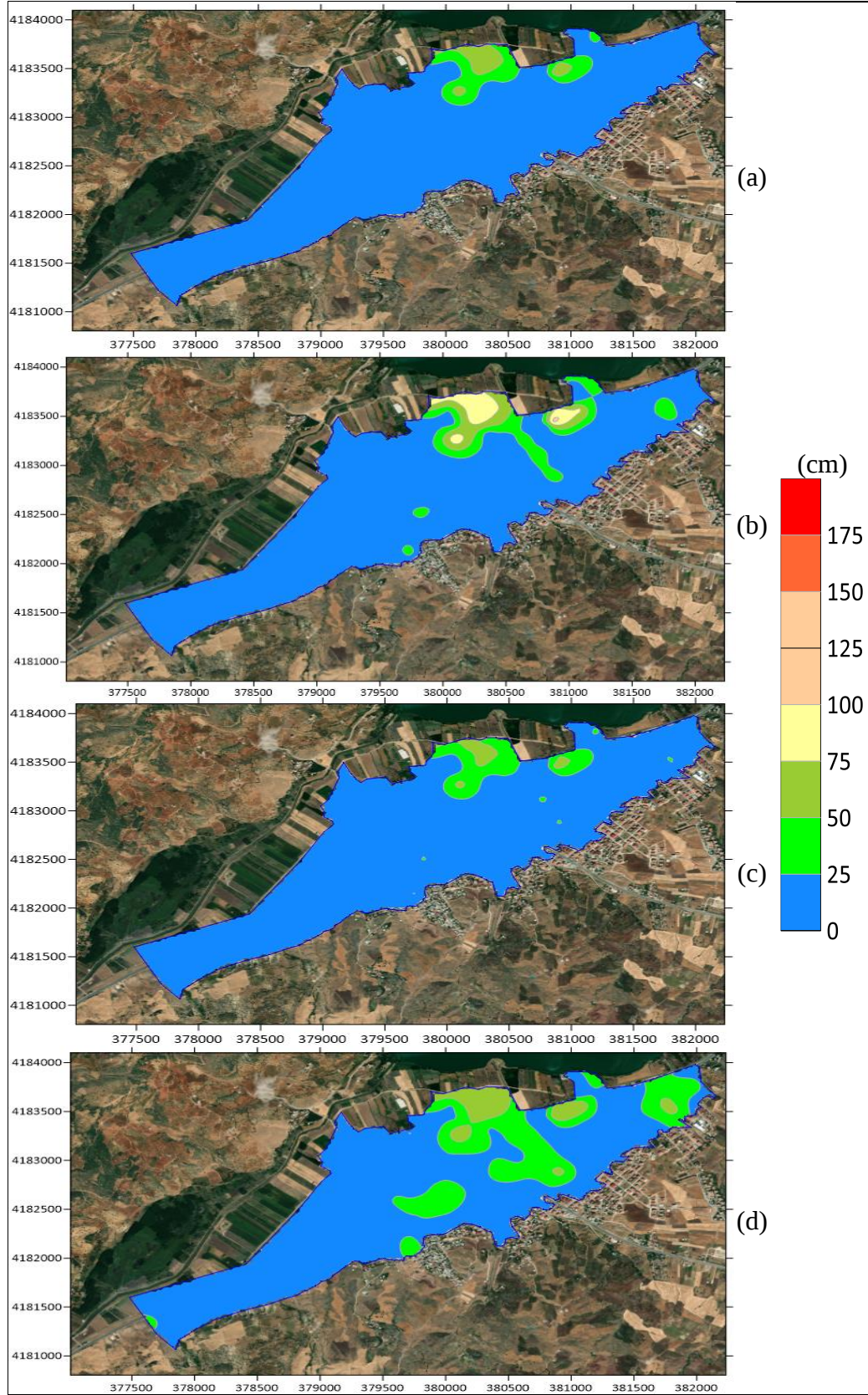
Derinlik	NCEER Yöntemi	Idriss ve Boulanger (2008) Yöntemi	Boulanger ve Idriss (2014) Yöntemi	Moss ve diğerleri (2006) Yöntemi
0 – 5 m	% 42,7	% 44,3	% 44,2	% 43,6
5 – 10 m	% 33,2	% 33,1	% 33,6	% 32,1
10 – 15 m	% 16,9	% 15,8	% 15,5	% 16,6
15 – 20 m	% 7,2	% 6,8	% 6,7	% 7,7



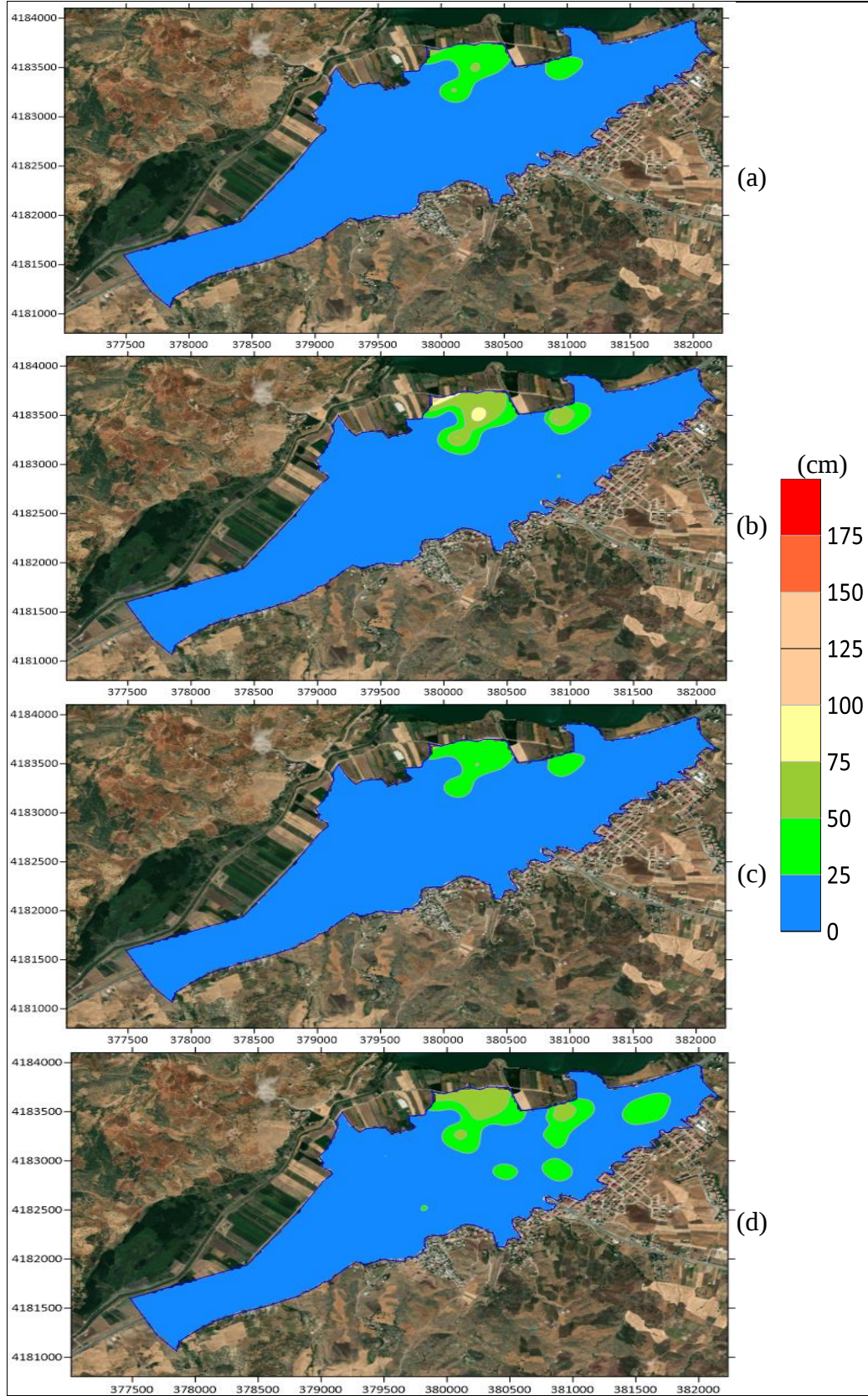
Şekil 3.30. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (0-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]



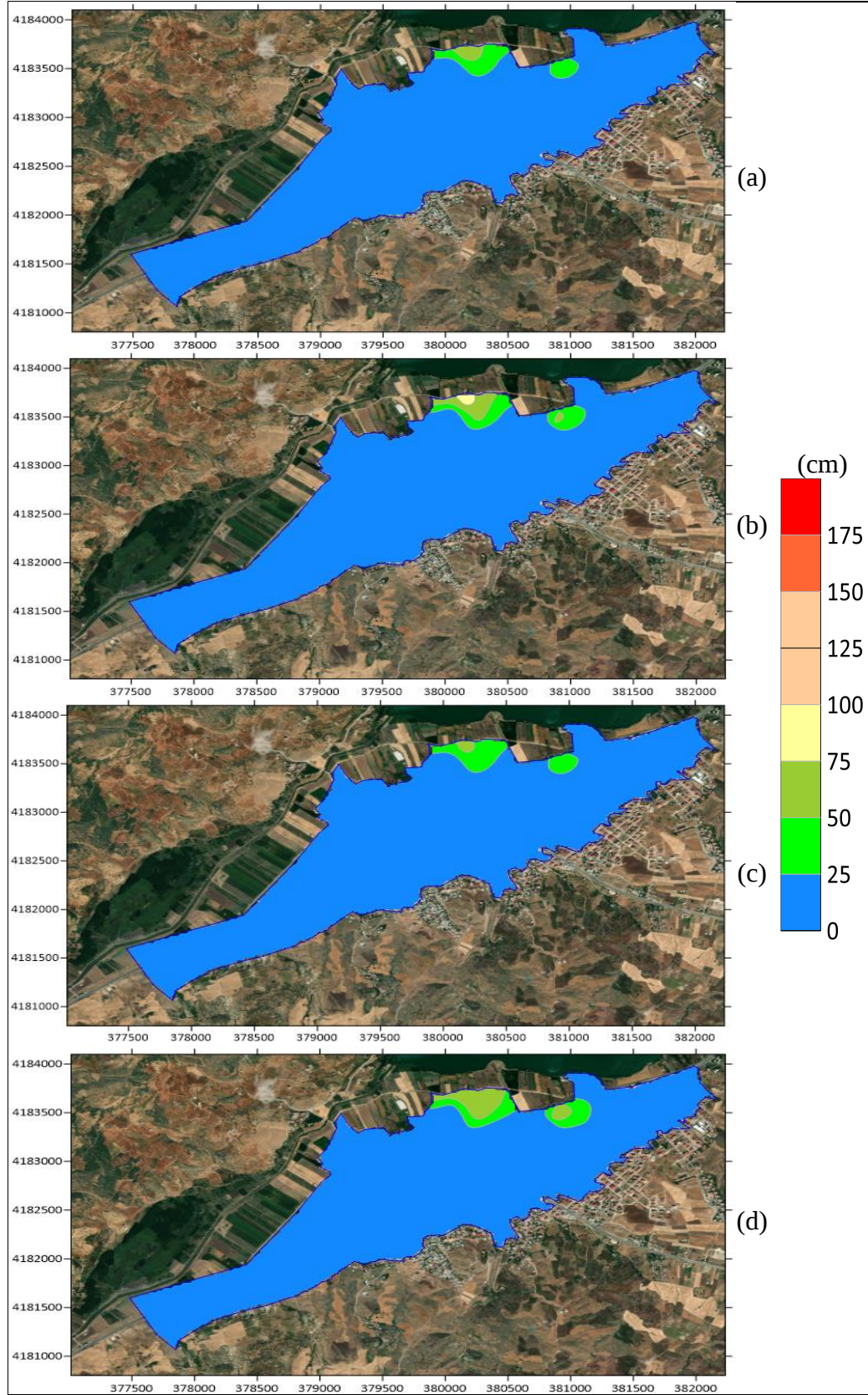
Şekil 3.31. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (0-5 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]



Şekil 3.32. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (5-10 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğeri (2006) yöntemi]



Şekil 3.33. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (10-15 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]



Şekil 3.34. İnceleme alanındaki CPT noktalarında hesaplanan serbest saha oturma değerleri ve dağılımı (15-20 m) [(a)NCEER, (b) Idriss ve Boulanger (2008), (c) Boulanger ve Idriss (2014), (d) Moss ve diğerleri (2006) yöntemi]

3.6. Zemin Türleri

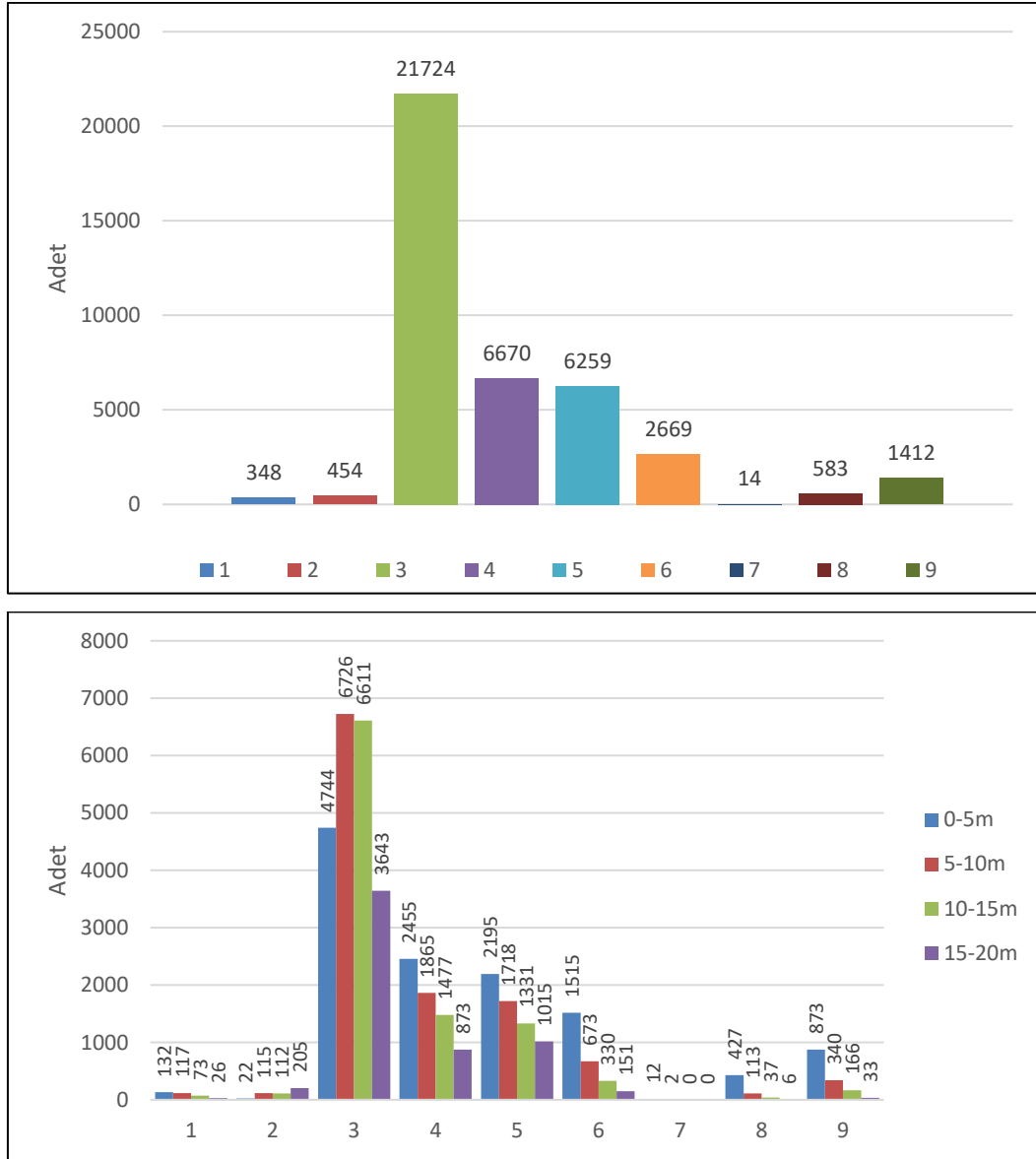
İnceleme alanındaki zemini Kuvaterner Alüvyon (Qal) birimler oluşturmaktadır. Yapılan CPT’lerde her 5 cm’de bir uç direnci, sürtünme direnci ve aşırı boşluk suyu basıncı verisi alınmıştır. Tüm CPT’ler için derinliği 20 m’yi geçen CPT’ler için 20 m’ye kadar derinliği 20 m’yi geçmeye CPT’ler için ise CPT derinliğine kadar her 5 cm için bir zemin davranış tipi indisi belirlenmiş olup toplam 40133 adet zemin davranış tipi indisi değeri tespit edilmiştir (Çizelge 3.6). Zemin tanımlamaları; bulunan zemin davranış tipi indisi değerlerine göre, Robertson (1990) tarafından verilen abak yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca zemin davranış tipi değerleri yüzeyden itibaren 5’er metrelik tabakalar halinde de incelenmiştir. Elde edilene zemin tanımlamalarına göre histogram grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 3.35).

Çizelge 3.6. CPT’lerden elde edilen zemin türleri ve yüzdeleri

Zemin Davranış Tipi İndisi	Adet	%	Zemin tanımlaması
1	348	0,87	Hassas ince taneli
2	454	1,13	Organik Zemin, turba
3	21724	54,13	Kil-Siltli kilden kile kadar
4	6670	16,62	Silt karışımları-Killi siltten siltli kile kadar
5	6259	15,60	Kum karışımları-Siltli Kumdan Kumlu silte kadar
6	2669	6,65	Kum-temiz kumdan siltli kuma kadar
7	14	0,03	Çakıllı kumdan sıkı kuma kadar
8	583	1,45	Çok sıkı kumdan killi kuma kadar
9	1412	3,52	Çok sert, ince taneli
Toplam	40133	100.0	

Çizelge 3.6. (devam) CPT’lerden elde edilen zemin türleri ve yüzdeleri

Zemin Davranış Tipi İndisi	0-5 m		5-10 m		10-15 m		15-20 m	
	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
1	132	1.07	117	1.00	73	0.72	26	0.44
2	22	0.18	115	0.99	112	1.10	205	3.44
3	4744	38.34	6726	57.64	6611	65.22	3643	61.21
4	2455	19.84	1865	15.98	1477	14.57	873	14.67
5	2195	17.74	1718	14.72	1331	13.13	1015	17.05
6	1515	12.24	673	5.77	330	3.26	151	2.54
7	12	0.09	2	0.02	0	0	0	0
8	427	3.45	113	0.97	37	0.36	6	0.1
9	873	7.05	340	2.91	166	1.64	33	0.55
Toplam	12375	100	11669	100	10137	100	5952	100



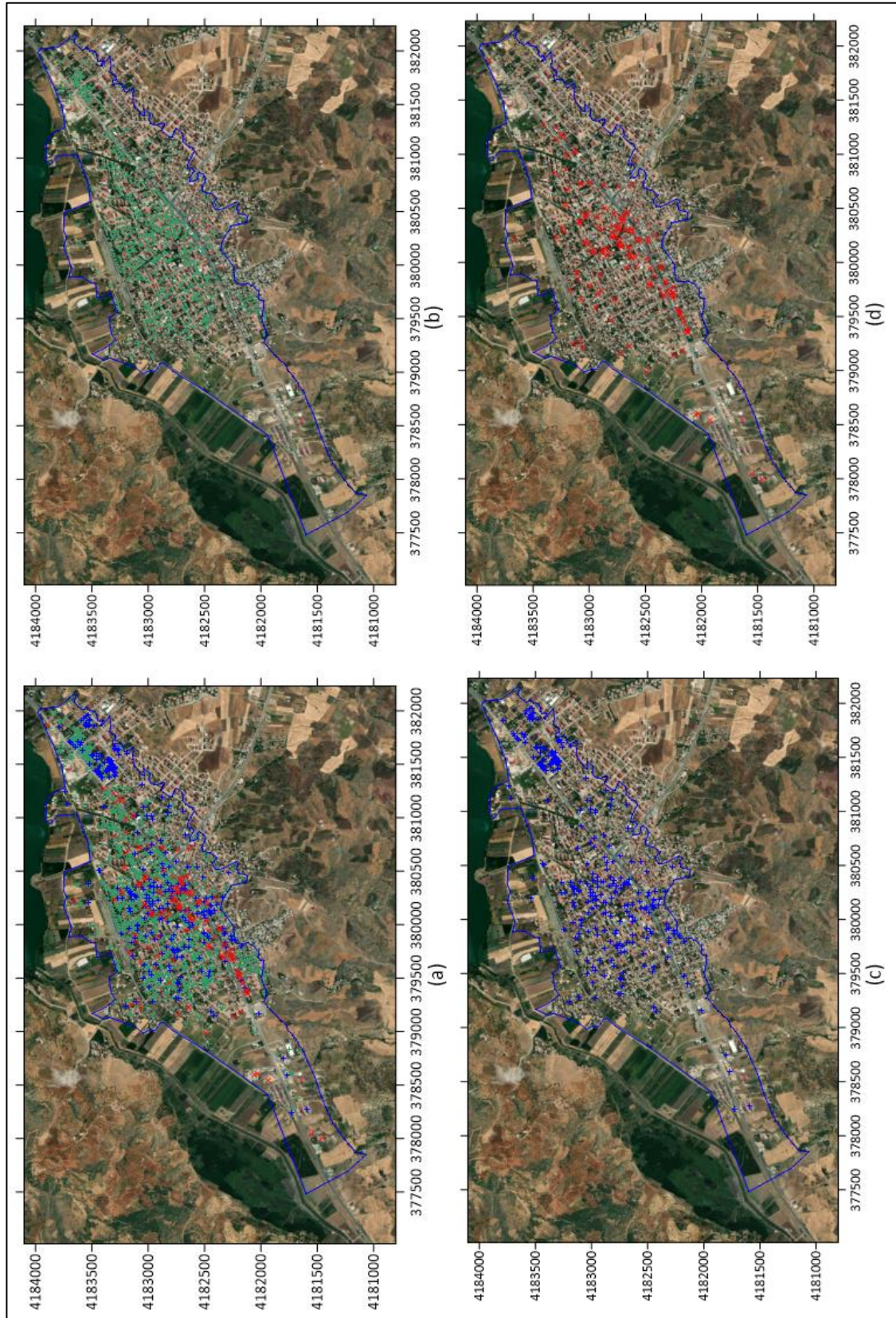
Şekil 3.35. CPT’lerden elde edilen zemin türlerinin histogram dağılımları

CPT çalışmaları sonucunda inceleme alanının ilk 20 metresinin %54,1’i siltli kil – kil aralığında değişen ince taneli malzemelerden oluştuğu belirlenmiştir. İkincil olarak ise %32,2 oranında silt karışımları (killi siltten siltli kile kadar) ile kum karışımları (siltli kumdan kumlu silte kadar) bulunmaktadır.

3.7. Hasarlı Binalar

06 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler 11 ili etkilemiş, modern yöntemlere göre inşa edilmiş olması gereken çoğunlukla betonarme yapıların çeşitli mekanizmalarla birçoğunun ağır hasar görmesine ve yıkılmasına neden olmuştur. Çevre Şehircilik ve İklim

Değişikliği Bakanlığı tarafından hasar gören binalar orta hasarlı, ağır hasarlı ve yıkık şeklinde üç ayrı grupta sınıflandırılarak tespiti yapılmıştır. Buna göre inceleme alanında 372 bağımsız bölümün orta hasarlı, 1008 bağımsız bölümün ağır hasarlı ve 141 bağımsız bölümün yıkık olduğu belirlenmiştir. Kayıt altına alınan hasarlı binalara ait hasar nedeni hakkında bir bilgiye ulaşılamamıştır. Dolayısıyla hangi binaların bu tezin de konusu olan zemin sıvılaşması nedeniyle hasar gördüğü belirlenememiştir. Bu sınıflamaya göre bağımsız bölümlerin konumları harita üzerinde incelenmiştir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Hasarlı binaların gösterimi (a- tüm hasarlı binalar, b- orta hasarlı binalar, c- ağır hasarlı binalar, d- yıkık binalar)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem, patlatma ile yer sarsıntısı gibi faktörler nedeniyle zeminde oluşan sıvılaşma ve sıvılaşmanın neden olduğu hasarlar en çok gözlenen olaylardan biridir. 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde depremlerden etkilenen alanlarda sıvılaşma emareleri ve sıvılaşma nedeniyle ortaya çıkan hasarlar oldukça yaygın olarak gözlenmiştir. Bu tez kapsamında Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinde görülen zemin sıvılaşmaları nedeniyle ilçe yerleşim alanı için CPT tabanlı sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanı olan yaklaşık 432 ha'lık alan 200 m x 200 m olmak üzere toplam 120 adet karelaja bölünmüş her bir karelajda en az bir adet CPT olmak üzere toplam 125 adet CPT yapılmıştır. CPT derinlikleri maksimum 30.00 m derinliğe veya daha fazla ilerleme kaydedilmeyen sağlam-taşıyıcı zemin tabakasına rastlanana kadar sürdürülmüştür. Ancak maksimum 20 metreye kadar olan veriler kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

CPT uygulamaları sırasında zeminin her 5 cm'si için uç direnci, sürtünme direnci ve boşluk suyu basıncı verileri kayıt altına alınmıştır. CPT ile örnek fiziksel örnek alınamadığından Robertson (1990) tarafından önerilen abak yardımıyla zemin türü belirlenmiştir. İnceleme alanını oluşturan Kuvaterner alüvyon zeminin %54,1'inin kil (siltli kilden kile kadar), %32,2'sinin ise silt karışımları (killi siltten siltli kile kadar) ile kum karışımları (siltli kumdan kumlu silte kadar) gibi malzemelerden oluştuğu belirlenmiştir. Ancak ilk 5 metrelik zemin tabakasında kil oranının azaldığı buna karşın silt ve kum karışımlarından oluşan zemin tabaka sayısının arttığı tespit edilmiştir.

Sıvılaşma analizlerinde NCEER (Robertson ve Wride (1998) ve Robertson (2009)), Idriss ve Boulanger (2008), Boulanger ve Idriss (2014) ile Moss ve diğerleri (2006) yöntemleri ayrı ayrı irdelenerek güvenlik katsayıları elde edilmiştir. Güvenlik katsayısı hesaplamalarına ilaveten, CPT yapılan noktadaki zemin deformasyonlarının ve hasarının ifade edilebilmesi amacıyla Iwasaki ve diğerleri (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma Potansiyel İndisi (LPI) ile Zhang ve diğerleri (2002) tarafından önerilen yöntemle zemin tabakalarının hacimsel birim deformasyonları - serbest saha yüzey oturması değerleri dört yöntem için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Her yöntem için LPI ve serbest saha oturma değerlerine göre dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışmayı detaylandırmak amacıyla LPI ve serbest saha oturumları 5'er metrelik zemin tabakaları halinde ayrıca haritalandırılmıştır. Dağılım haritalarına göre LPI ve serbest saha oturma değerlerinin Gölbaşı Gölü'ne yaklaştıkça artış gösterdiği belirlenmiştir.

Güvenlik faktörünün 1'den küçük olduğu en fazla tabaka sayısı Idriss ve Boulanger (2008) yöntemiyle elde edilirken, en az tabaka sayısı NCEER yöntemiyle elde edilmiştir. CPT sonuçlarına göre güvenlik faktörü incelendiğinde; Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre yapılan hesaplamalar, 70 adet CPT'de güvenlik faktörünün 1'den küçük olduğu tabaka sayısının diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Buna karşın, NCEER yöntemine göre yapılan hesaplamalar, 73 adet CPT'de güvenlik faktörünün 1'den küçük olduğu tabaka sayısı diğer yöntemlere göre daha olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre Idriss ve Boulanger (2008) yöntemi verilerini kullanarak yapılacak mühendislik hesaplamaları diğer yöntemlere göre daha tutucu (konservatif) tarafta kalacaktır. NCEER yönteminde ise sınılaşabilir tabaka sayısı daha az olduğu için yapılacak mühendislik hesaplamaları daha iyimser olacaktır.

LPI değerlerinin CPT düzeyinde dağılımında güvenlik katsayısına paralel olarak Idriss ve Boulanger (2008) yönteminde daha yüksek LPI değerleri elde edilirken NCEER yönteminde daha düşük LPI değerleri elde edilmiştir.

Çalışma alanının CPT bazında yapılan LPI değerleri incelemesinde, değerlerin baskın olarak 5-15 aralığında kaldığı ve sınılaşma kaynaklı yüzey deformasyonlarının muhtemel olduğu, ikincil olarak ise LPI değerinin >15 olduğu ve sınılaşma kaynaklı yüzey deformasyonu oluşumunun kesin olacağı sonucu çıkartılmıştır.

LPI değerlerinin yaklaşık % 77-85'lik kısmının zeminin ilk 10 metrelik kesiminde olduğu belirlenmiştir. Bu durum; hesaplama yöntemi gereği, LPI değerinin derinlikle azalacağı şeklinde açıklanabilir. Ancak, 10-20 metre aralığında (özellikle 15-20 m aralığı), Boulanger ve Idriss (2014) yöntemi diğer yöntemlere göre daha fazla LPI'ya katkı sağlamaktadır. Bu durum; yöntemin, derin kesimlerde diğer yöntemlere göre düşük güvenlik katsayısı vermesi olarak açıklanabilir.

Moss ve diğerkleri (2006) yöntemi 114 adet CPT’de en yüksek oturma değerkleri verirken 115 adet CPT’de ise NCEER yöntemi en düşük oturma değerkini vermektedir. NCEER yöntemi, diğerk yöntemlere göre güvenlik katsayısı açısından daha yüksek buna paralel olarak LPI ve serbest saha oturma değerkleri açısından daha düşük değerk vermektedir.

Idriss ve Boulanger (2008) diğerk yöntemlere göre güvenlik katsayısı açısından nispeten daha düşük, LPI değerkleri açısından ise daha yüksek değerk vermektedir.

Moss ve diğerkleri (2006) yöntemi diğerklerinden ayrılarak en yüksek oturma değerklerinin hesaplandığı yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ancak oturma miktarlarının 80 cm’yi aştığı CPT noktalarında Idriss ve Boulanger (2008) yöntemi daha yüksek oturma değerkleri vermektedir.

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hasar gören binalar orta hasarlı, ağır hasarlı ve yıkık şeklinde üç ayrı grupta sınıflandırılarak tespiti yapılmıştır. Kayıt altına alınan hasarlı binalara ait hasar nedeni hakkında bir bilgiye ulaşılammıştır. Oluşturulan hasarlı bina dağılım haritası ile sınılaşma haritası arasında bir uyum görülememiştir. Dolayısıyla hangi binaların bu tezin de konusu olan zemin sınılaşması nedeniyle hasar gördüğü belirlenememiştir.

Sınılaşma nedeniyle hasar gören yer ve yapıların arazi ölçümleri ile deformasyonlarının belirlenerek ve bu tez kapsamında yapılan hesaplamalar ile karşılaştırılması sonucu saha için en uygun hesaplama yöntemi belirlenebilir. Uygun yöntemin belirlenmesi gelecekte yapılacak projeler için fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AFAD. (2023). *06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (Mw:7.7-Mw:7.6) Depremleri Raporu*. Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı.
- Aksoy, E., Akgün, E., Softa, M., Kocbulut, F., SÖZBİLİR, H., Tatar, O. ve Erol, S. C. (2023). 6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu Erkenek ve Pazarcık Segmentleri Üzerindeki Etkisi: Çelikhane-Gölbaşı (Adıyaman) Arasından Gözlemler. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 5(1), 85-104.
- Ambraseys, N. N. (1988). Engineering Seismology. *Earthquake engineering and Structural Dynamics*, 17, 1-105.
- Andrews, D. C. ve Martin, G. R. (2000). *Criteria for liquefaction of silty soils*. Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering,
- Andrus, R. D. (1994). *In situ characterization of gravelly soils that liquefied in the 1983 Borah Peak earthquake*. The University of Texas at Austin ProQuest Dissertations & Theses.
- Anonim. (2003). *Adıyaman İl Çevre Durum Raporu*. Adıyaman Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü.
- Arango, I. (1996). Magnitude scaling factors for soil liquefaction evaluations. *Journal of geotechnical engineering*, 122(11), 929-936.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 78(78), 44-50.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18(1), 91-101.
- Begemann, H. (1965). *The friction Jacket Cone as an Aid in determining the soil profiles*. 6 Congrès International de Mécaniques des sols. In: Montréal.
- Boulanger, R. W. ve Idriss, I. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. *Report No. UCD/CGM.-14*, 1, 134.
- Boulanger, R. W. ve Idriss, I. M. (2004). Evaluating the potential for liquefaction or cyclic failure of silts and clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica acta*, 14(1-3), 3-30.
- Bray, J., Stewart, J. ve Çetin, K. Ö. (2000). Damage patterns and foundation performance in Adapazarı. *Earthquake Spectra*, 16, 163-189.
- Bray, J. D. ve Sancio, R. B. (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165-1177.

- Campanella, R. G., Gillespie, D. ve PK, R. (1982). *Pore pressures during cone penetration testing*. 2nd European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, Hollanda.
- Çetin, K. O. ve Bilge, H. T. (2012). Performance-based assessment of magnitude (duration) scaling factors. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(3), 324-334.
- Çetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen, R. E. ve Moss, R. E. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314-1340.
- Çoban, M. ve Dalkılıç, H. (2018). *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*. MTA.
- Douglas, B. J. ve Olsen, R. S. (1981). *Soil classification using electric cone penetrometer*. Symposium on Cone Penetration Testing and Experience, Geo-technical Engineering Division, ASCE, St. Louis, Oct.
- Fırat, S., Işık, N. S., Unutmaz, B., Gürbüz, A., Çetin, K. Ö., Tekin, E. ve Tezer, H. S. (2024). *Gölbaşı Zeminlerinin CPT Tabanlı Sıvılaşma Analizleri*, 2023 Kahramanmaraş-Türkiye Depremleri Uluslararası Anma Konferansı, Gölbaşı, Adıyaman.
- G.Ü. (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş - Pazarcık ($M_w=7.7$) ve Elbistan ($M_w=7.6$) Depremi Ön Değerlendirme Raporu. D. M. U. v. A. M. Gazi Üniversitesi.
- Golesorkhi, R. (1989). *Factors influencing the computational determination of earthquake-induced shear stresses in sandy soils*. Thesis of PHD, University of California, Berkeley.
- Güneşli, H. ve Yüksel, Ö. (2006). *Doğu Anadolu fay sistemi, Gölbaşı-Türkoğlu segmenti'nin paleosismisitesi: ön sonuçlar [konferans sunum özeti]*. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Harder, L. F. J. ve Boulanger, R. (1997). Application of K_σ and K_α Correction Factors. In NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, 195-218.
- Houlsby, G. (1988). Discussion session contribution. *Penetration Testing in U.K.* Birmingham.
- Hynes, M. E. ve Olsen, R. S. (1999). Influence of confining stress on liquefaction resistance. *In Physics and mechanics of soil liquefaction*, 145-151. Routledge.
- Idriss, I. (1999). An update to the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential. *Proc., TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction*, Federal Highway Administration, Washington.
- Idriss, I. M. ve Boulanger, R. W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- İmamoğlu, M. (1993). *Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı (K. Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi*, Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

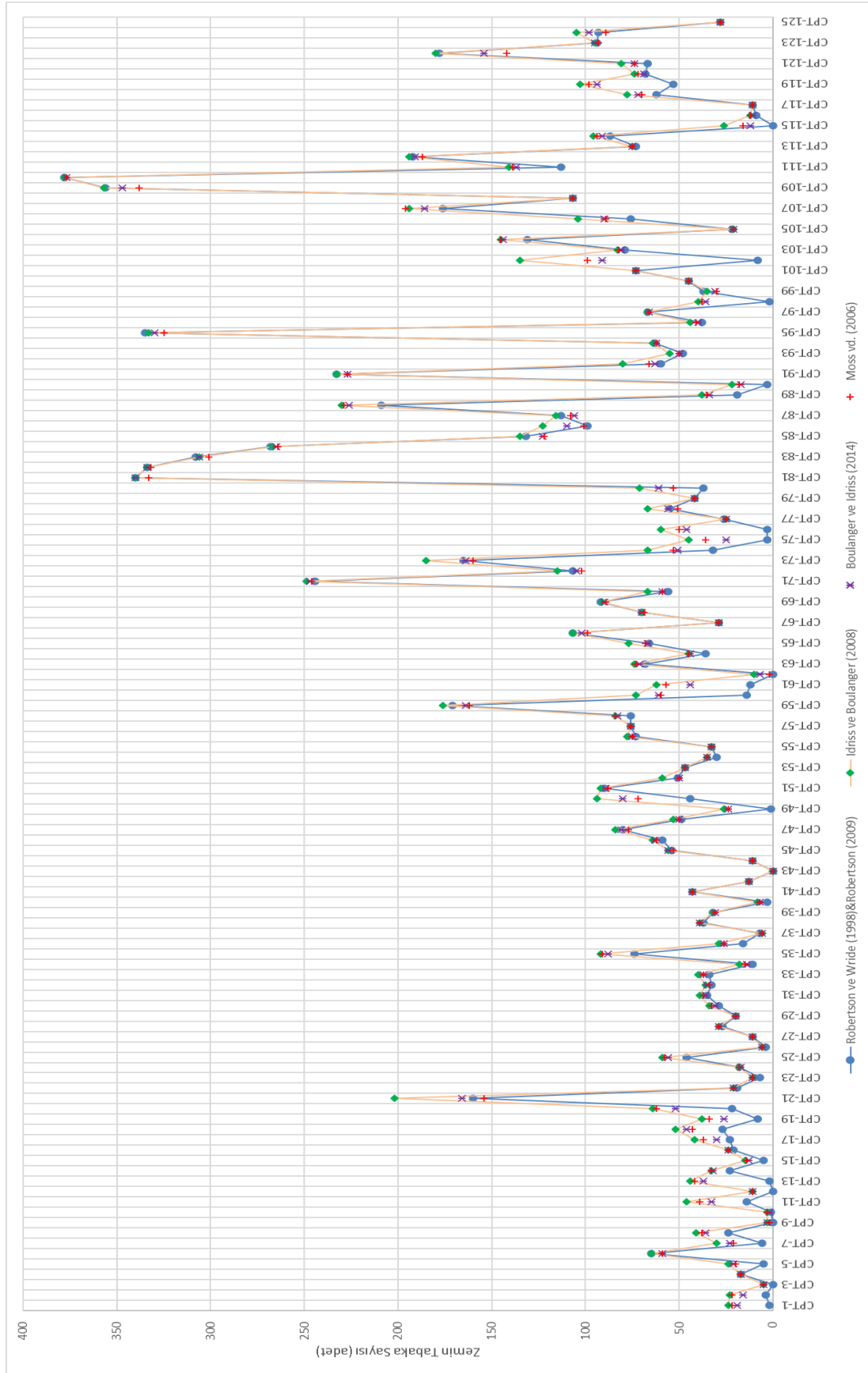
- İmamoğlu, M. ve Gökten, E. (1996). Doğu Anadolu fay zonu Gölbaşı kesimi neotektonik özellikleri ve Gölbaşı-Saray fay kaması havzası. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 11, 176-184.
- Ishihara, K. ve Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. *Soils and Foundations*, 32(1), 173-188.
- Işık, N. S., Fırat, S., Unutmaz, B., Gürbüz, A., Çetin, K. Ö. ve Tekin, E. (2024). *Gölbaşı Basen Yapısı ve Basenlerin Deprem Yer Hareketi Üzerindeki Etkileri*, 2023 Kahramanmaraş-Türkiye Depremleri Uluslararası Anma Konferansı, Gölbaşı-Adıyaman.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. ve Sato, H. (1982). *Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods*. Proceedings of the 3rd international conference on microzonation, Seattle,
- İnternet: TDTH. (2024). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. URL: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, Son Erişim Tarihi: 12.03.2024.
- İnternet: TRTHaber. (2023). TRT Hader. URL: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/depremle-zemini-yaklasik-15-metre-coken-tesisler-golun-icinde-kaldi-753866.html>, Son Erişim Tarihi: 17.02.2023
- Karabacak, V., Akyüz, H., Kıyak, N., Altunel, E., Meghraoui, M. ve Yönlü, Ö. (2012). Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç Kuvaterner aktivitesi. *Tübitak Project, 109Y043*.
- Kayen, R. E., Mitchell, J. K., Seed, R., Lodge, A., Nishio, S. y. ve Coutinho, R. (1992). *Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data*. Proceedings of the 4th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Hamada, M. and O'Rourke, TD, eds,
- Ketin, İ. (1966). Tectonic units of Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 66, 23-34.
- Liao, S. S. ve Whitman, R. V. (1986). A catalog of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes. *Department of Civil Engineering*, MIT.
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.
- Mogami, T. ve Kubu, K. (1953). *The behavior of soil during vibration*. 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich.
- Moss, R., Seed, R. B., Kayen, R. E., Stewart, J. P., Der Kiureghian, A. ve Cetin, K. O. (2006). CPT-based probabilistic and deterministic assessment of in situ seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(8), 1032-1051.
- MTA. (2012). *Türkiye Diri Fay Haritası Serisi*. Ankara, MTA.

- NCEER. (1997). *Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils (Technical report NCEER 97-0022)*. T. L. Edited by Youd, Idriss, I. M.
- ODTÜ. (2023). *6 Şubat 2023, Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) Depremleri Ön Değerlendirme Raporu (METU/EERC 2023-01)*. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, ODTÜ.
- Oğlakçı, O., Demirkol, C. ve Sevimli, U. İ. (2016). Kahramanmaraş (Türkoğlu-Narlı) yakın dolayının jeolojisi ve tektonik evrimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, 209-227.
- Robertson, P. (2009). Evaluation of flow liquefaction and liquefied strength using the cone penetration test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(6), 842-853.
- Robertson, P. (2016). Suggested QC criteria for deep compaction using the CPT. *Geotechnical and Geophysical Site Characterisation*, 5, 5-9.
- Robertson, P. ve Fear, C. E. (1995). *Liquefaction of sands and its evaluation*. IS-TOKYO'95/The 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Japonya.
- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. *Canadian geotechnical journal*, 27(1), 151-158.
- Robertson, P. K. ve Campanella, R. G. (1985). Liquefaction potential of sands using the CPT. *Journal of geotechnical engineering*, 111(3), 384-403.
- Robertson, P. K. ve Wride, C. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian geotechnical journal*, 35(3), 442-459.
- Sancio, R., Bray, J., Stewart, J., Youd, T., Durgunoğlu, H., Önalp, A., Seed, R., Christensen, C., Baturay, M. ve Karadayılar, T. (2002). Correlation between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 1093-1102.
- Schmertmann, J. H. (1978). *Guidelines for cone penetration test: performance and design*. Federal Highway Administration, Washington.
- Seed, H. B. (1983). *Earthquake-resistant design of earth dams*. 1st International Conference on Recent Advances in Geotechnical Dynamics, St. Louis, Missouri.
- Seed, H. B. ve De Alba, P. (1986). *Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands*. Use of in situ tests in geotechnical engineering, Processus In Situ, ASCE, 281-302.
- Seed, H. B. ve Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations division*, 97(9), 1249-1273.

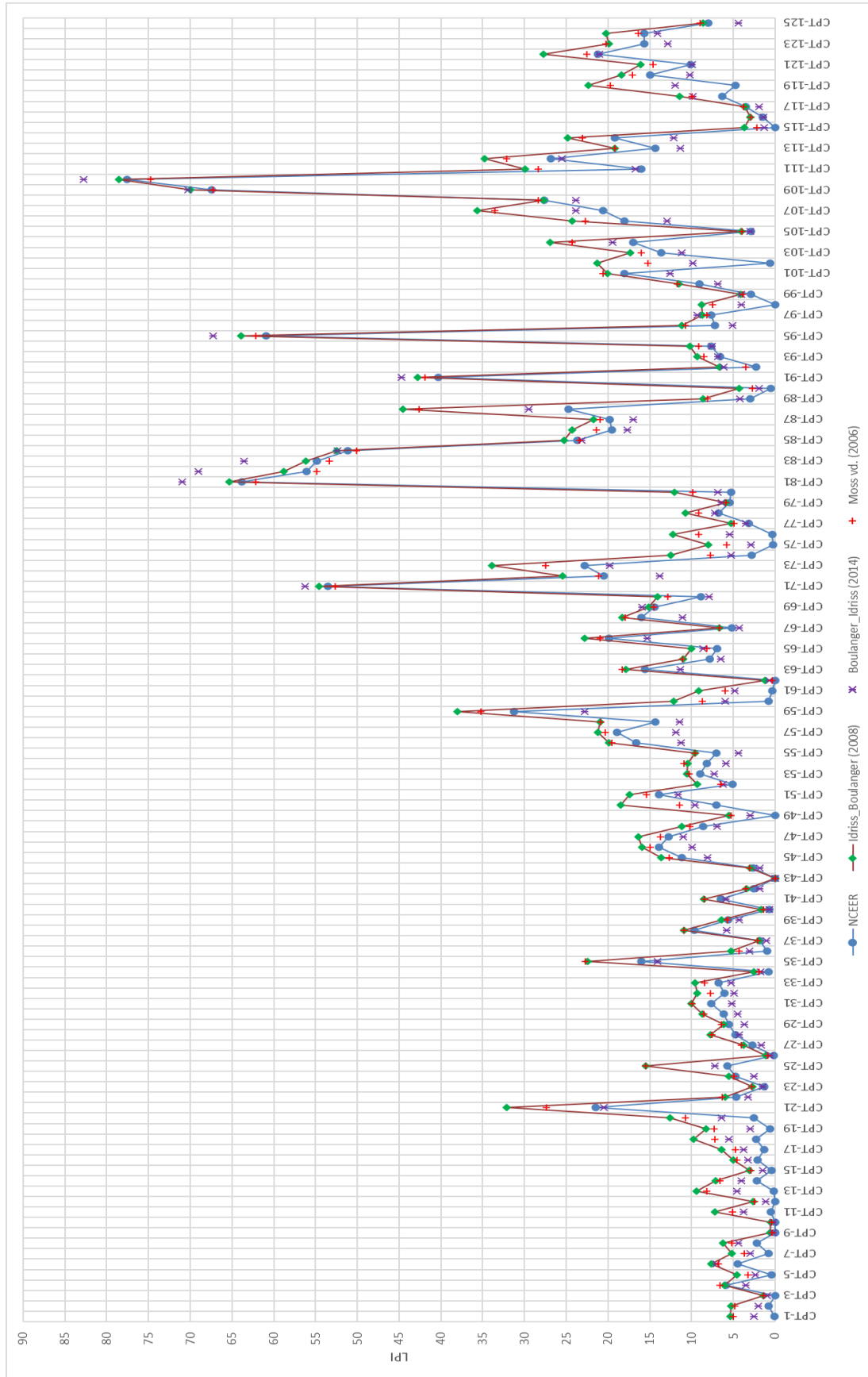
- Seed, H. B. ve Idriss, I. M. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake engineering research insitutue, 5, 134.
- Seed, H. B., Idriss, I. M. ve Arango, I. (1983). Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *Journal of geotechnical engineering*, 109(3), 458-482.
- Seed, R. ve Harder, L. (1990). *SPT-based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength*". Proceedings HB Seed Memorial Symposium, Vol. 2. In: BiTech Publishing, Vancouver, BC, Canada.
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M. F., Sancio, R. B., Bray, J. D. ve Kayen, R. E. (2003). *Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework*. Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA,
- Shibata, T. ve Teparaksa, W. (1988). Evaluation of liquefaction potentials of soils using cone penetration tests. *Soils and Foundations*, 28(2), 49-60.
- Sönmez, H. ve Gökçeoğlu, C. (2005). A liquefaction severity index suggested for engineering practice. *Environmental Geology*, 48(1), 81-91.
- Stark, T. D. ve Olson, S. M. (1995). Liquefaction resistance using CPT and field case histories. *Journal of geotechnical engineering*, 121(12), 856-869.
- Stokoe, K. H., Roesset, J., Bierschwale, J. G. ve Aouad, M. (1988). *Liquefaction potential of sands from shear wave velocity*. Proceedings, 9nd World Conference on Earthquake, Japonya.
- Şaroglu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992). *The east Anatolian fault zone of Turkey*. Annales Tectonicae (Special Issue, VI), 99-125.
- Tanrıverdi, B., Orhan, O. ve Tekin, S. (2021). Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Adıyaman Gölbaşı-Adıyaman Merkez Arasının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(3), 701-708.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. ve Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John wiley & sons inc., New York, 193-208.
- Vaid, Y. P. ve Finn, W. L. (1979). Static shear and liquefaction potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 105(10), 1233-1246.
- Vreugdenhil, R., Davis, R. ve Berrill, J. (1994). Interpretation of cone penetration results in multilayered soils. *International Journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 18(9), 585-599.
- Wang, W. (1979). *Some findings in soil liquefaction*. Earthquake Engineering Department, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Resezach Institute, Chinia.
- Wroth, C. (1984). The interpretation of in situ soil tests. *Geotechnique*, 34(4), 449-489.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, L. W. D., Harder, L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S., Marcuson,

- W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P., Seed, B. S. ve Stokke, K. H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), 297-313.
- Yönlü, Ö., Altunel, E., Karabacak, V. ve Akyüz, H. S. (2013). Evolution of the Gölbaşı basin and its implications for the long-term offset on the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 272-281.
- Zhang, G., Robertson, P. ve Brachman, R. W. (2002). Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground. *Canadian geotechnical journal*, 39(5), 1168-1180.

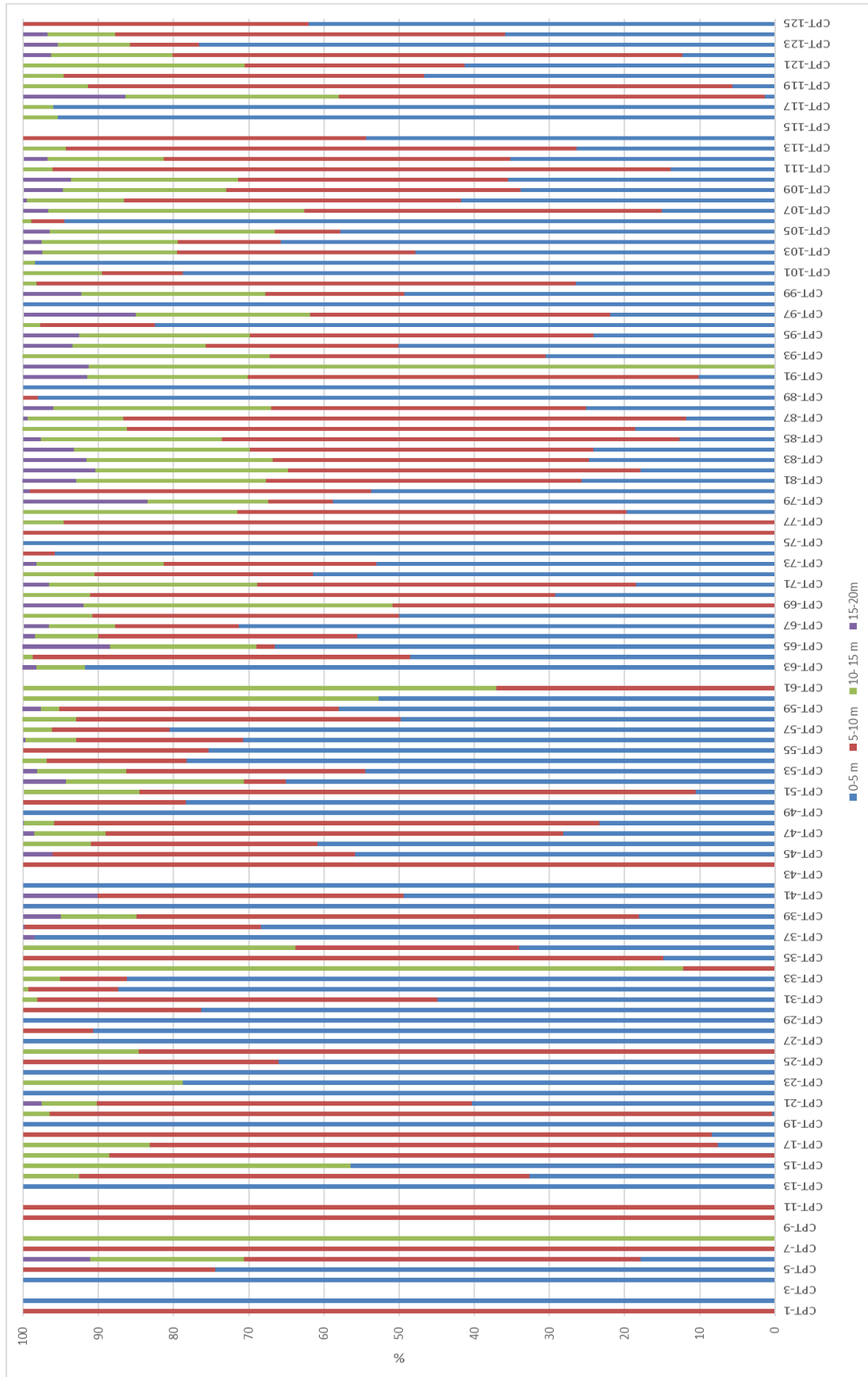
EKLER

EK - 1. $F_{SL} < 1$ olan 5 cm kalınlığındaki zemin tabaka sayıları (CPT özelinde)

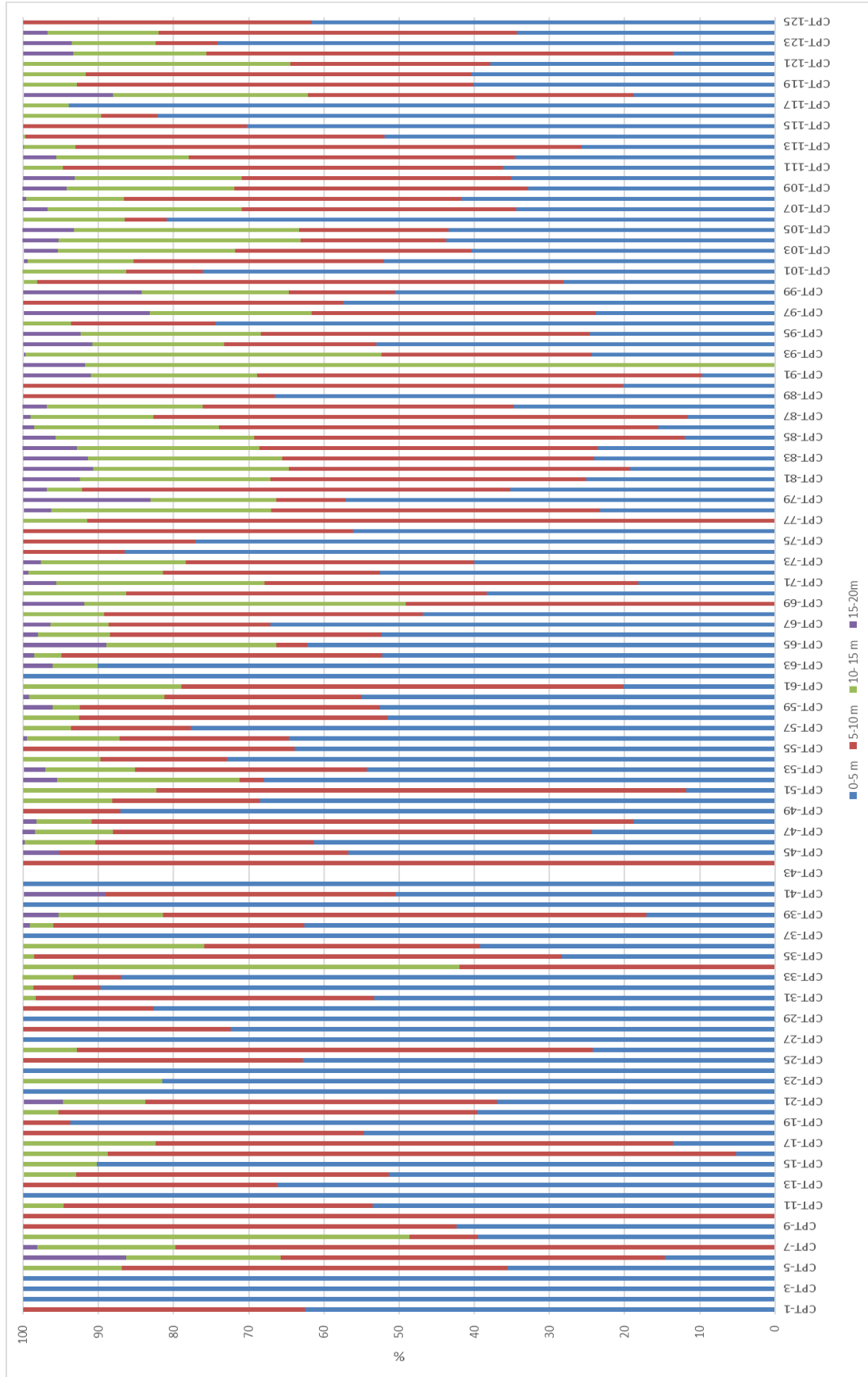
EK - 2. CPT özelinde LPI değerleri



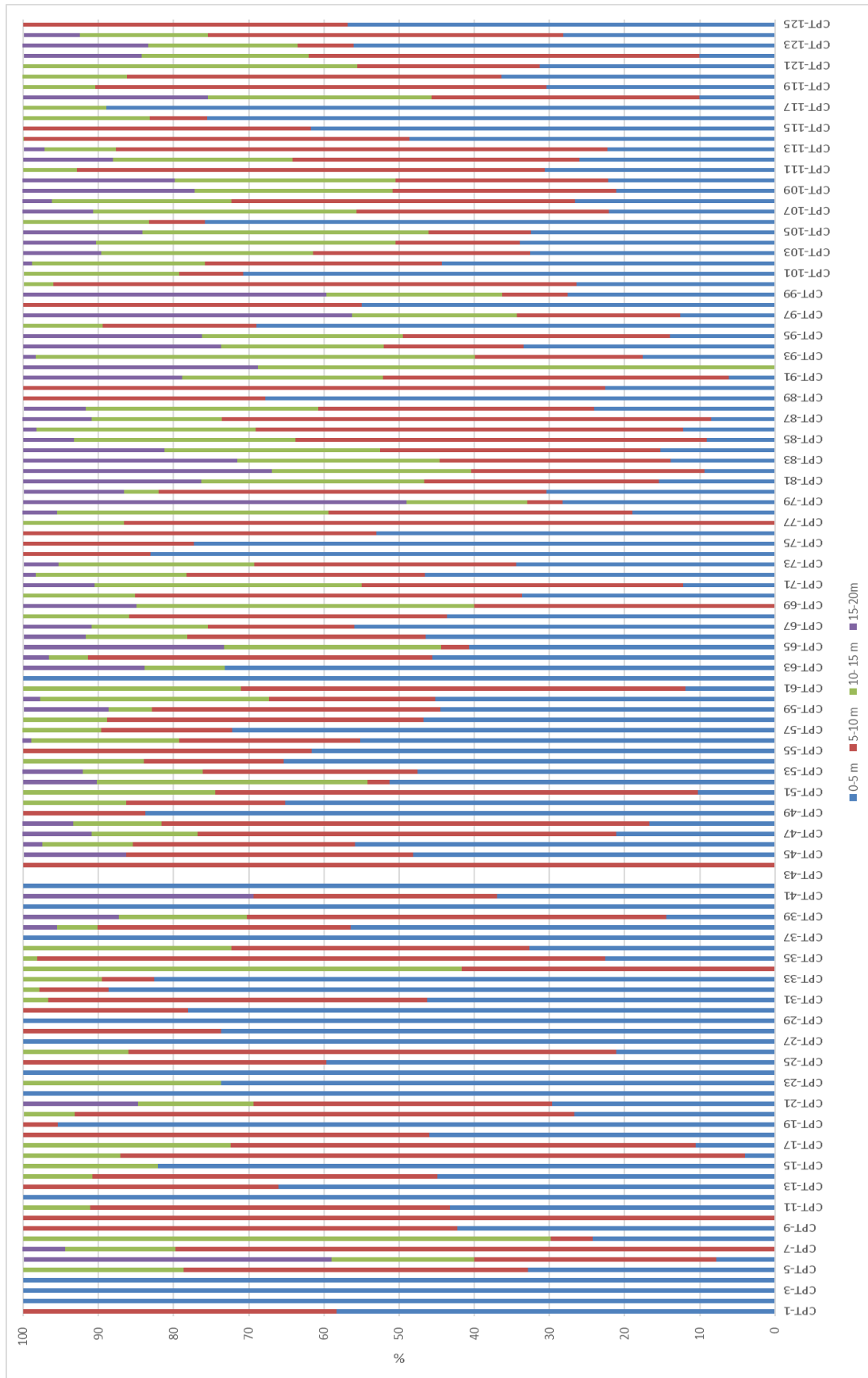
EK - 3. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (NCEER)



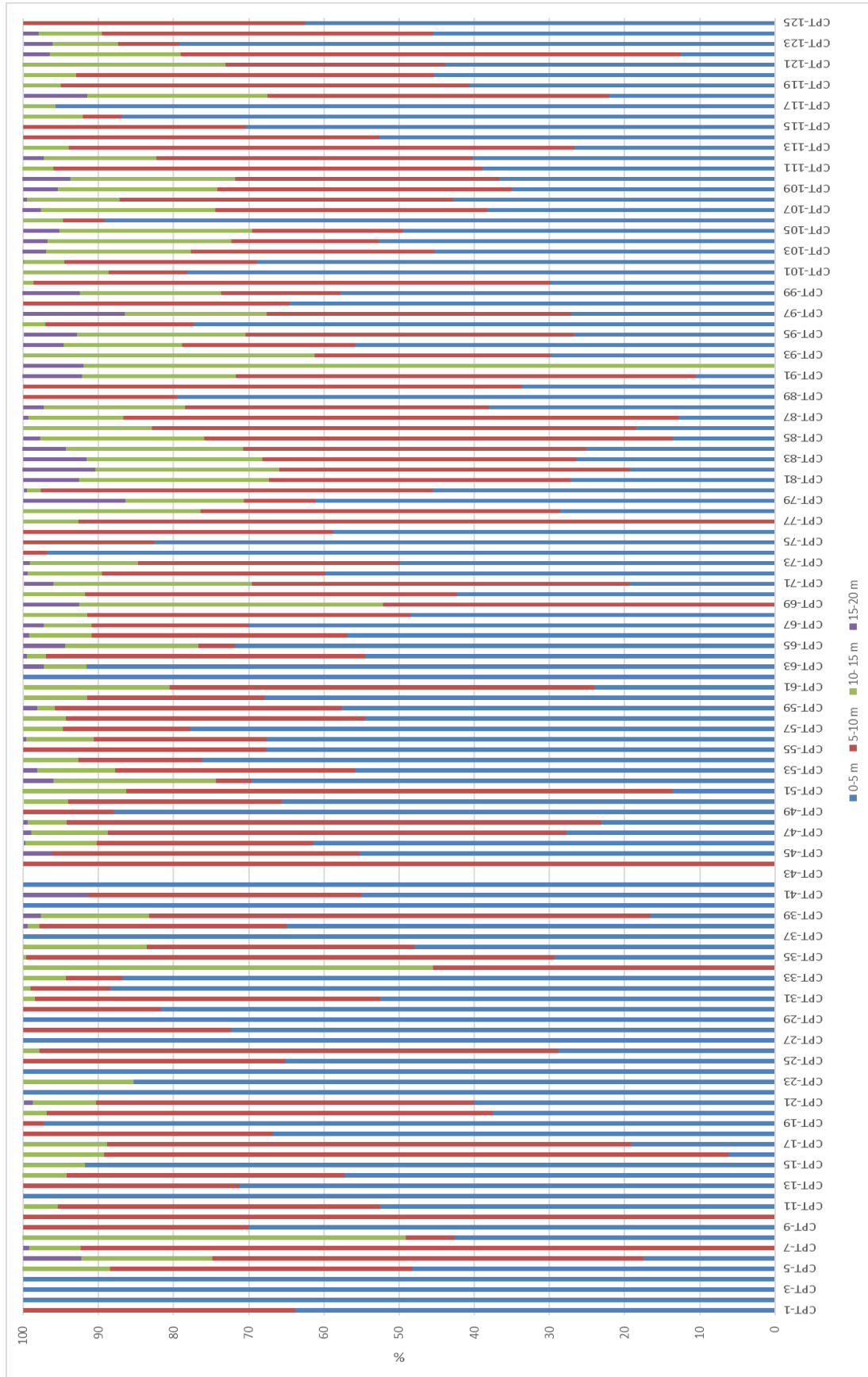
EK - 4. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Idriss ve Boulanger (2008))



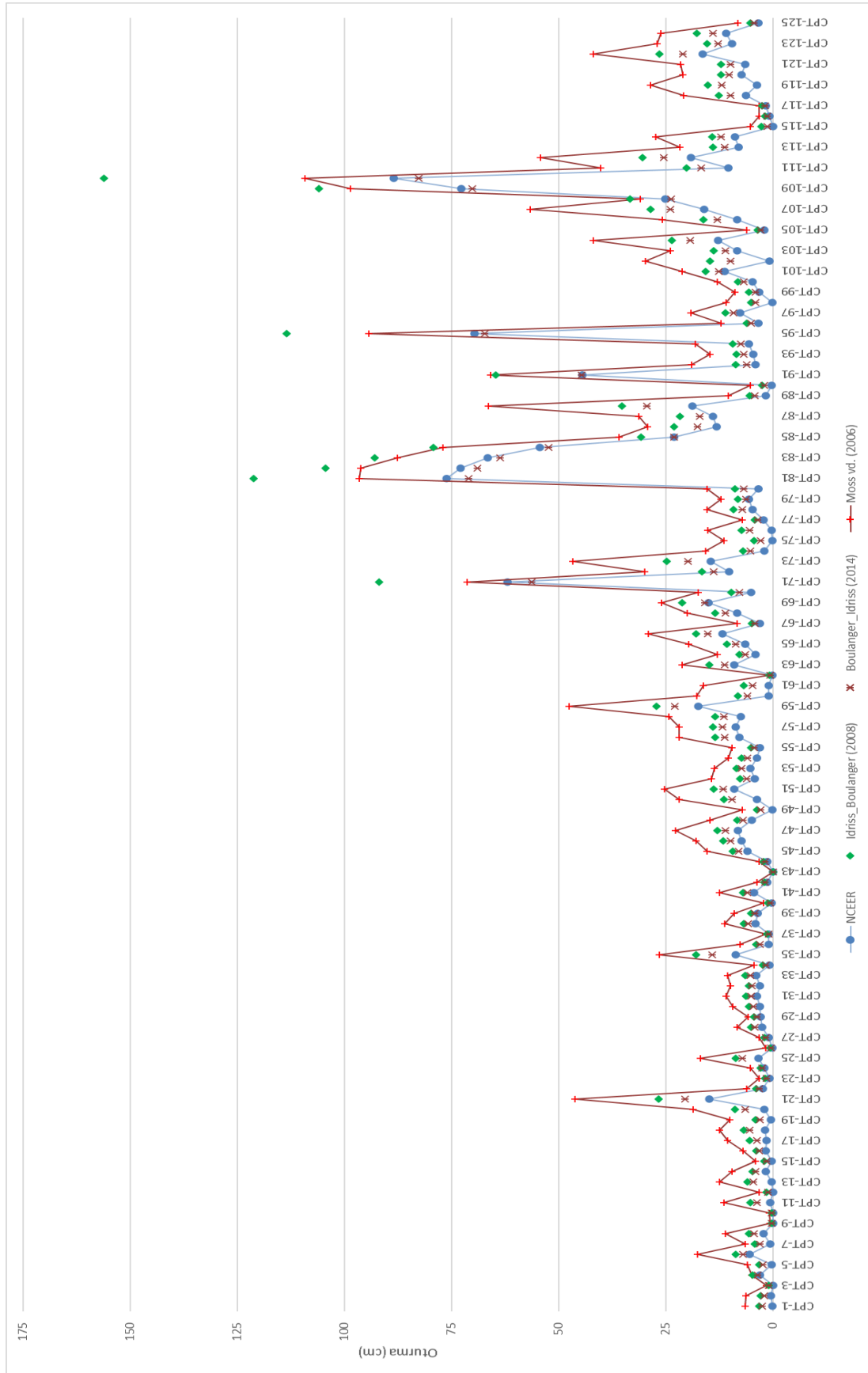
EK - 5. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Boulanger ve Idriss (2014))



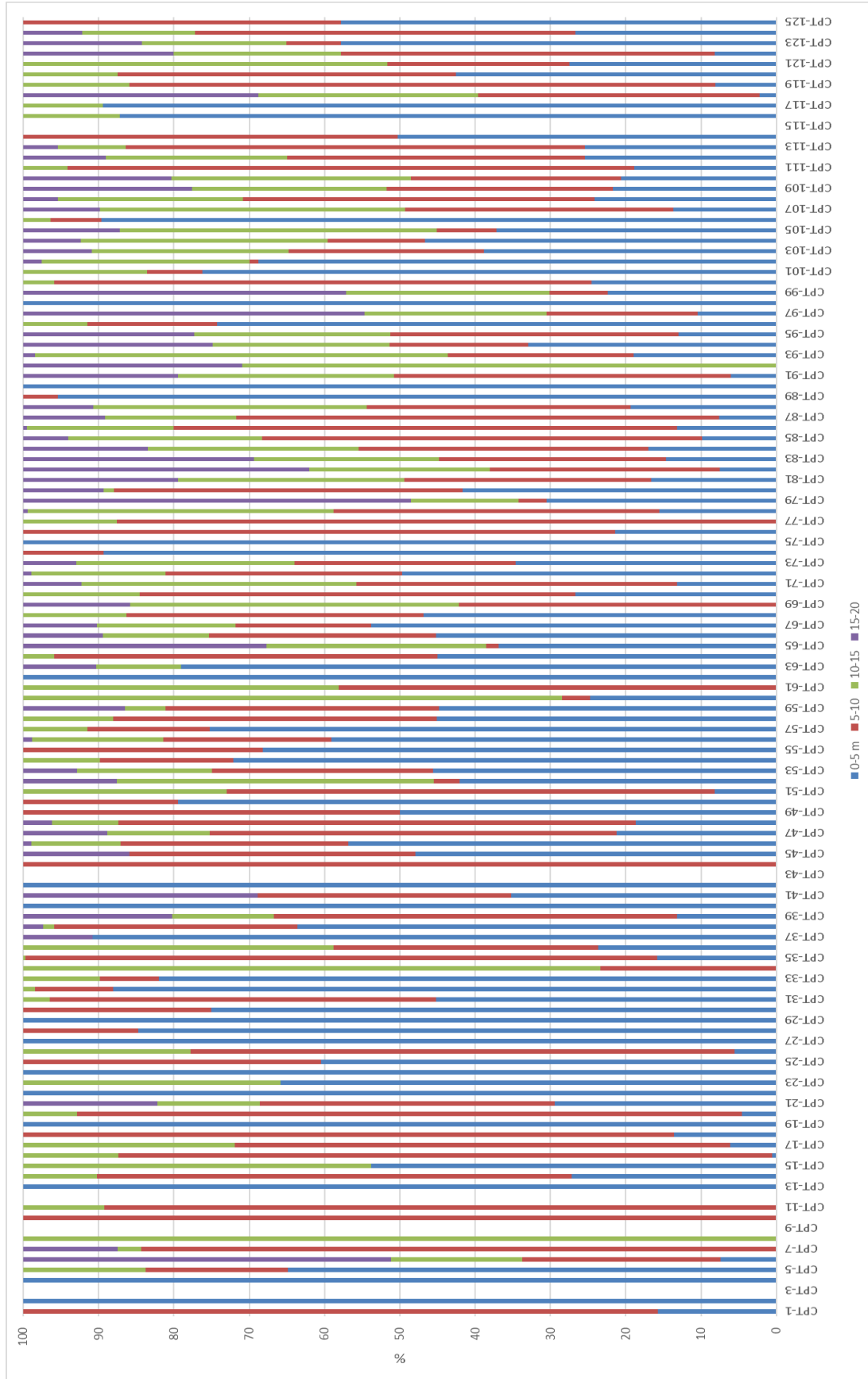
EK - 6. LPI'nın 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Moss ve diğerleri (2006))



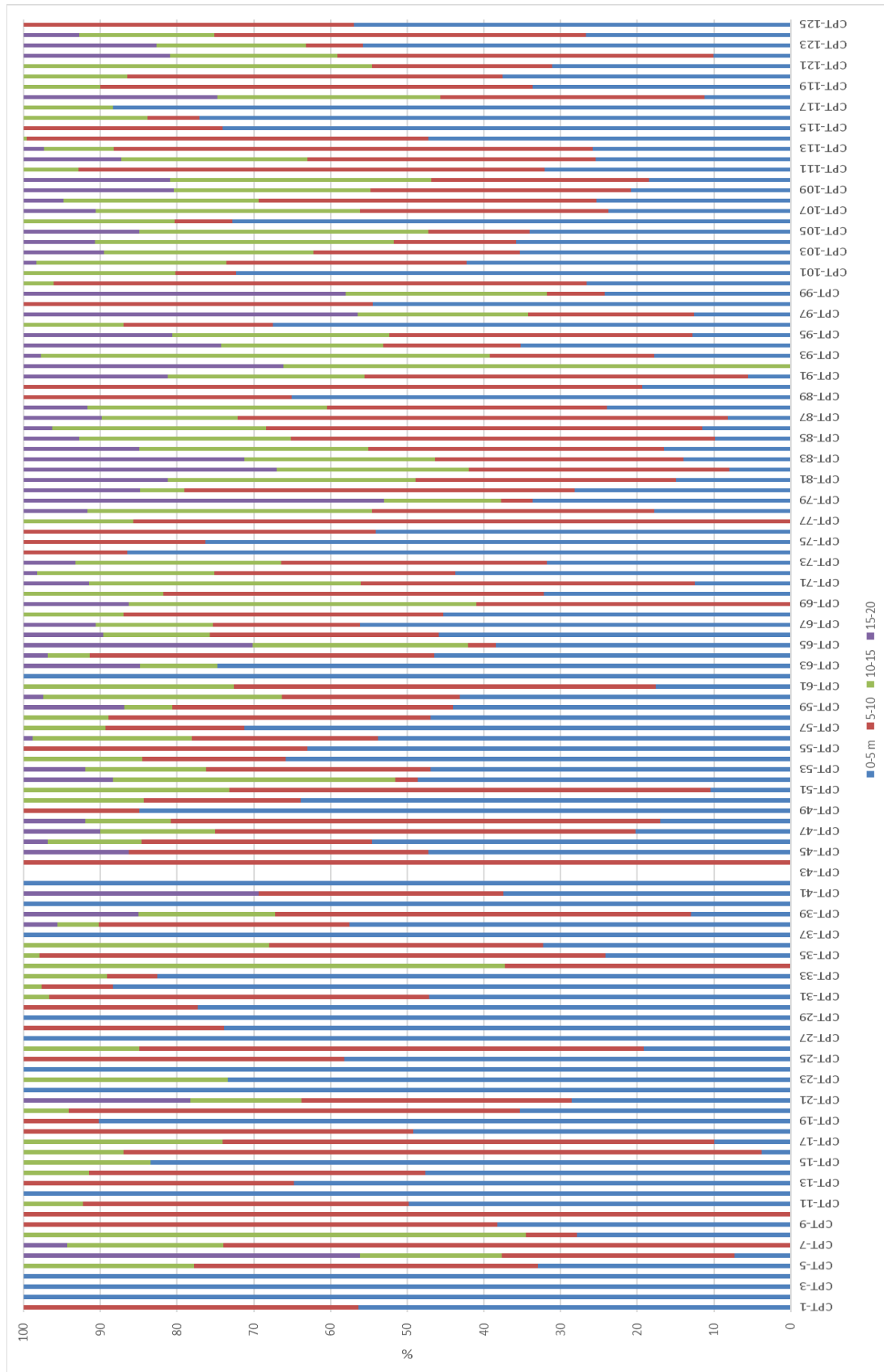
EK - 7. CPT özelinde oturma değerleri



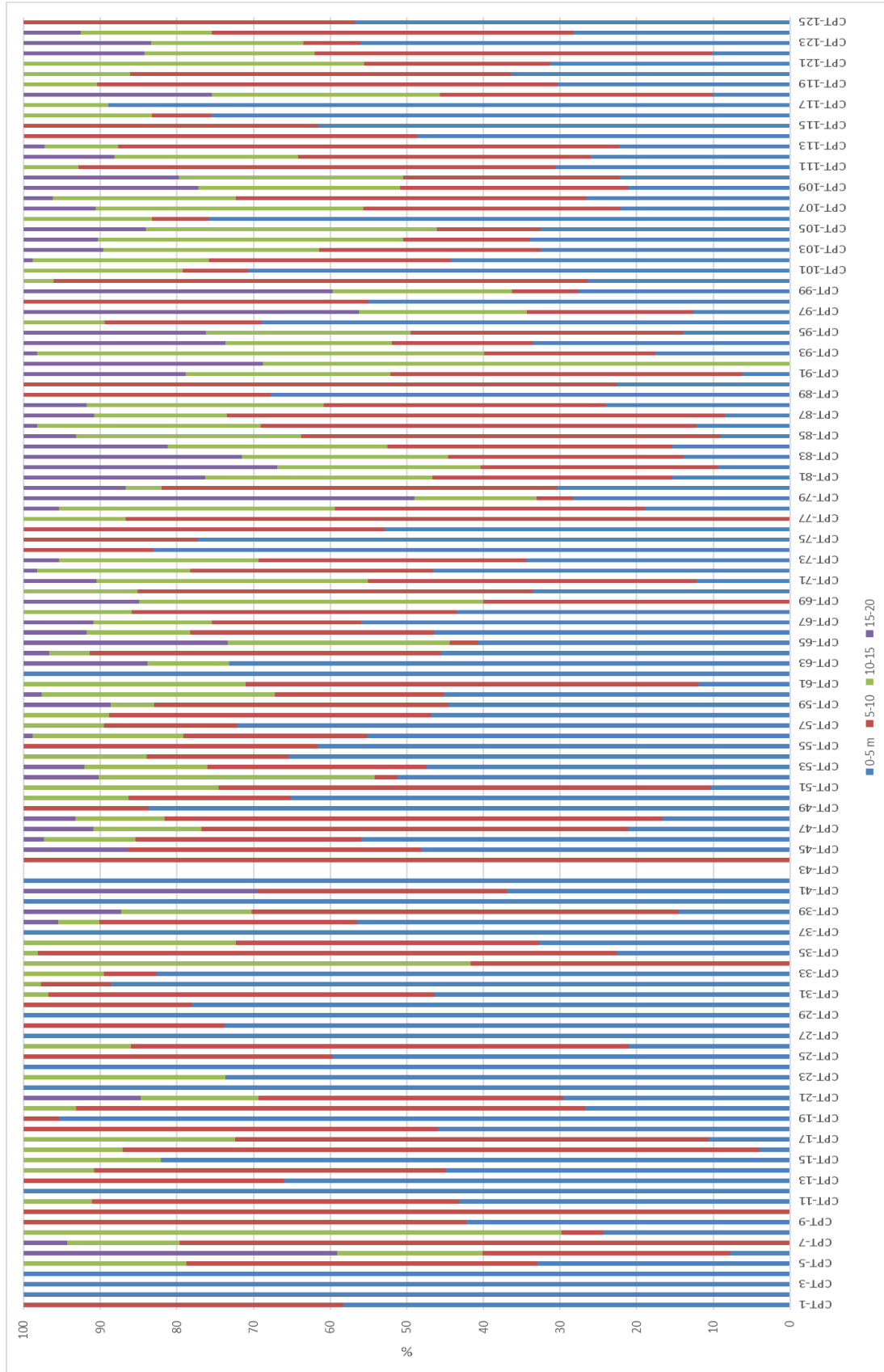
EK - 8. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (NCEER)



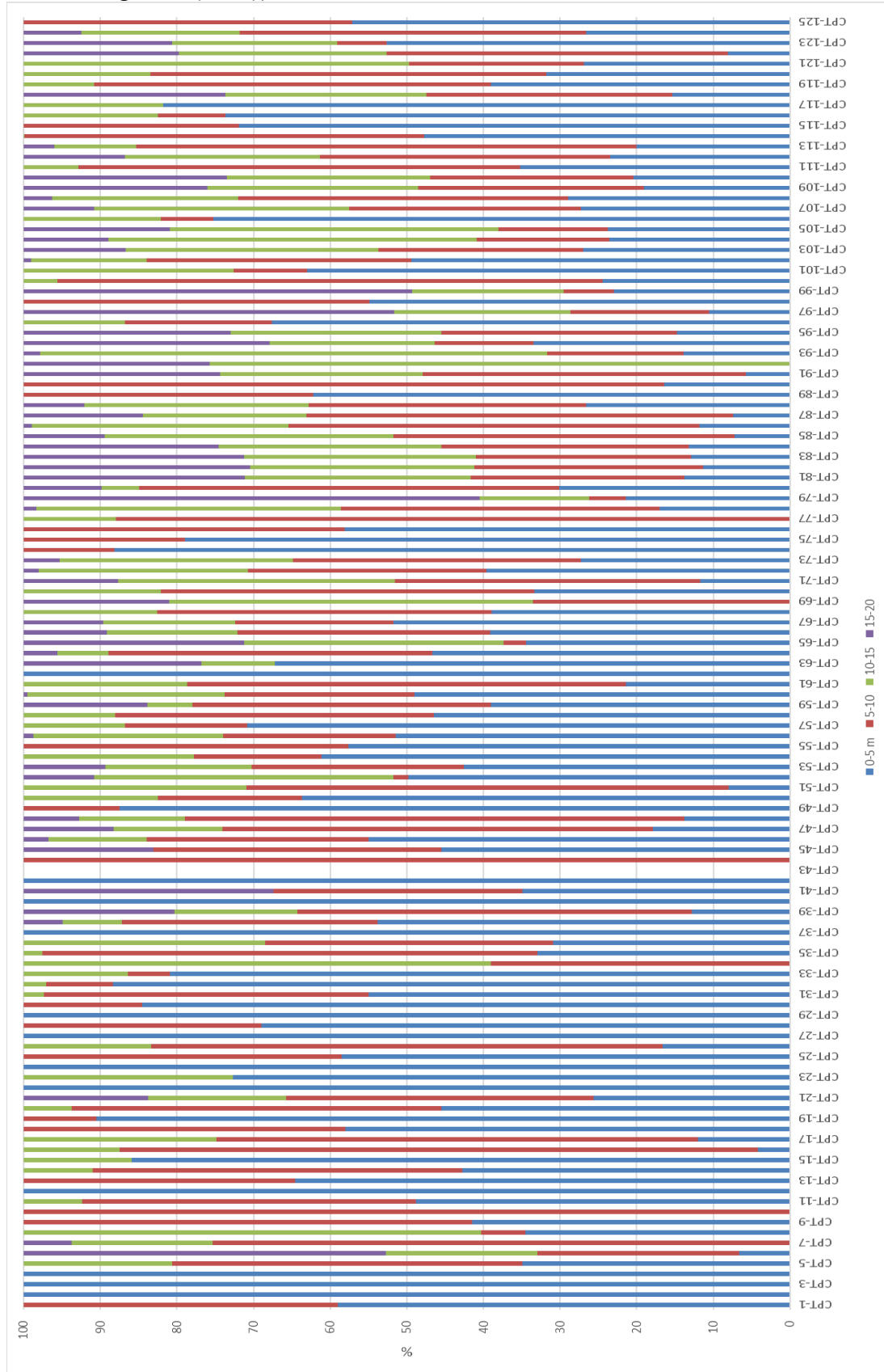
EK - 9. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Idriss ve Boulanger (2008))



EK - 10. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Boulanger ve Idriss (2014))



EK - 11. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların 5'er metre aralıklardaki dağılımı (Moss ve diğerleri (2006))





Gazili olmak ayrıcalıktır