

GÖLBAŞI (ADİYAMAN) ZEMİNLERİNİN CPT VE SPT TABANLI SIVILAŞMA ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF CPT AND SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS OF GÖLBAŞI (ADİYAMAN) SOILS

H. Serkan TEZER¹, Seyhan FIRAT², Nihat Sinan IŞIK³, Berna UNUTMAZ⁴, Ayhan GÜRBÜZ⁵,
Kemal Önder ÇETİN⁶, Erhan TEKİN⁷, Nuretdin KAYMAKCI⁸, Aydın BÜYÜKSARAÇ⁹, Bora
UZEL¹⁰, Anıl YUNATÇI¹¹, H.Tolga BİLGE¹², Eray ALTINCI¹³

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. Depremlerin ardından büyüklükleri 6,7 Mw'e kadar varan çok sayıda fazla artçı sarsıntılar kaydedilmiştir. Depremlerin etkisi ile Türkiye'de birçok tarihi yapı da dâhil yıkılmış ya da kullanılamayacak derecede hasar almıştır.

¹ Jeoloji Mühendisi (İnşaat Mühendisliği YL), Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, halisserkantezer@gmail.com

² Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, sfirat@gazi.edu.tr (Sorumlu yazar)

³ Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, nihatsinan@gazi.edu.tr

⁴ Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, berna.unutmaz@hacettepe.edu.tr

⁵ Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, agurbuz@gazi.edu.tr

⁶ Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, oacetin@metu.edu.tr

⁷ Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, etekin@gazi.edu.tr

⁸ Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, kaymakci@metu.edu.tr

⁹ Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, absarac@comu.edu.tr

¹⁰ Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, bora.uzel@deu.edu.tr

¹¹ Dr., GeoDestek Zemar Zemin Araştırma Proje Müş. Yaz. Lab. Bilg. Sis. Enr. İnş. Tur. İth. İhr. Tic. ve San. Ltd. Şti., ayunatci@geodestek.com

¹² Dr., GeoDestek Zemar Zemin Araştırma Proje Müş. Yaz. Lab. Bilg. Sis. Enr. İnş. Tur. İth. İhr. Tic. ve San. Ltd. Şti., htblige@geodestek.com

¹³ İnşaat Mühendisi, GeoDestek Zemar Zemin Araştırma Proje Müş. Yaz. Lab. Bilg. Sis. Enr. İnş. Tur. İth. İhr. Tic. ve San. Ltd. Şti., ealtinci@geodestek.com



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 araştırmada Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi zeminlerinin sıvılaşma potansiyelleri CPT (koni penetrasyon testi) ve sondajlardan elde edilen SPT (standart penetrasyon testi) verileri ile değerlendirilmiştir. Tüm bu verilerin ışığında, Gölbaşı (Adıyaman) ilçe merkezinde zemin sıvılaşması kaynaklı LPI (sıvılaşma potansiyeli indeksi) ve serbest saha oturma değerlerinin Gölbaşı gölüne yaklaştıkça arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, SPT, CPT, Kahramanmaraş depremleri, Gölbaşı (Adıyaman)

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 has not produced earthquakes for a long time, and the surface fractures along a line of up to 300 km produced a left lateral displacement of up to 8 m. Numerous aftershocks with magnitudes up to 6.7 Mw were recorded after the earthquakes. Many historical buildings in Turkey were destroyed or damaged to the extent that they could not be used due to the earthquakes. In Gölbaşı district of Adıyaman province, which is one of the settlements most affected by the Kahramanmaraş-centered earthquakes, damages such as overturning, tilting, bearing capacity failure were observed in buildings due to soil liquefaction. In this study, the liquefaction potential of the soils in Gölbaşı district of Adıyaman province was evaluated using Cone Penetration Test (CPT) and Standard Penetration Test (SPT) data. 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.

Keywords: Liquefaction, SPT, CPT, Kahramanmaraş earthquakes, Gölbaşı (Adıyaman)

1. GİRİŞ

Suya doymuş gevşek zeminlerde; deprem etkisi ile önemli hasarlara neden olan faktörlerden biri zemin sıvılaşmasıdır. Drenajsız koşullarda zeminin kayma dayanımının zeminde oluşan kayma gerilmesinden önemli ölçüde daha küçük bir dayanıma ani olarak düşmesi, sıvılaşma olarak tanımlanmaktadır (Terzaghi vd., 1996). Zeminde çeşitli deformasyonlara yol açan sıvılaşma, yerleşim alanlarında meydana geldiğinde yapılar üzerinde olumsuz etkiler yaratarak ciddi hasarlara neden olabilir. Sıvılaşma ve hasarları çeşitli tarihlere meydan gelmiş depremlerde farklı coğrafyalarda çok büyük hasarlara neden olmuştur.

Silt ve kil içeren kumların da sıvılaşma potansiyelinin irdelenmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Seed vd. (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.



Çetin vd. (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.

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

Tüm bu çalışmalara, deprem sonrası arazi gözlemlerine ve sonrasındaki laboratuvar verilerine göre Seed vd. (2003) Çin kriterindeki kil yüzdesi yerine Plastisite indisi (PI) ve LL değerini kullanarak bir abak geliştirmişlerdir. Bu abağa göre A bölgesine düşen ($PI < 12$ ve $LL < 37$) ve $\omega_n \geq 0,8LL$ şartını sağlayan zeminler sıvılaşma tetiklemesine potansiyel olarak duyarlı kabul edilir. B bölgesine ($12 < PI < 20$ ve $37 < LL < 47$) 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.

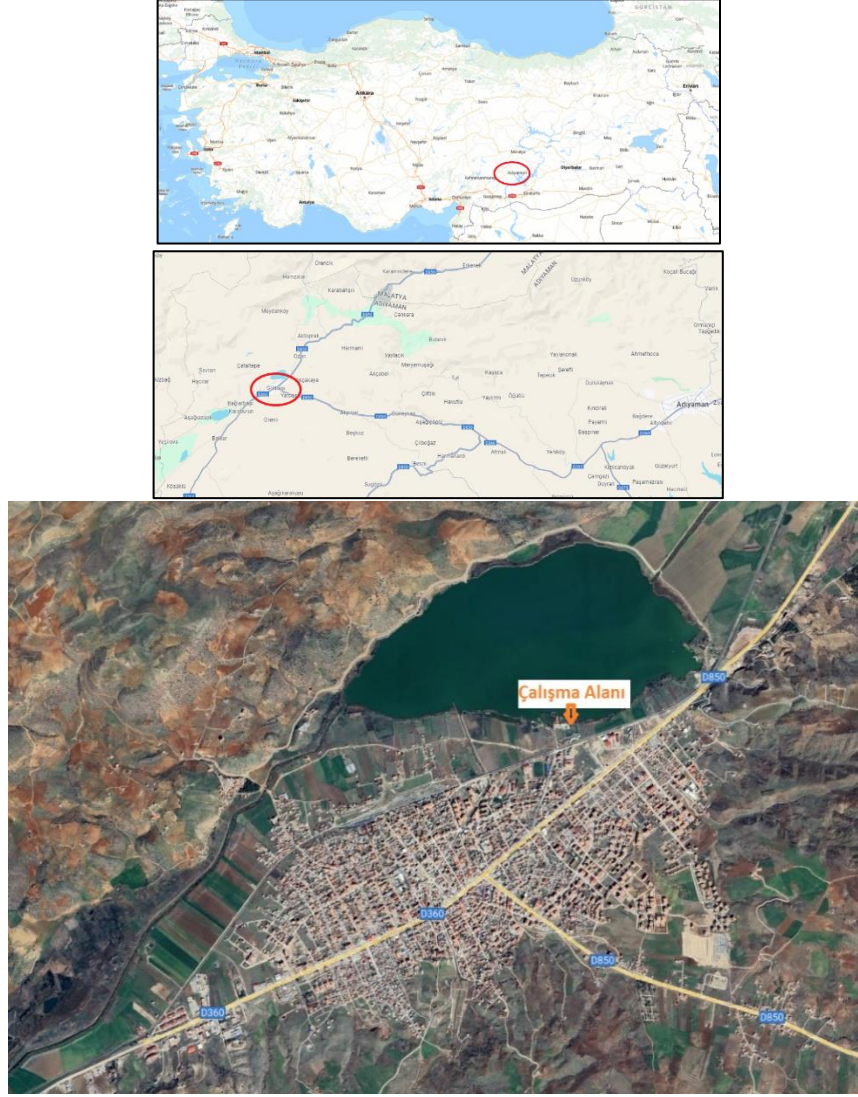
Gölbaşı zeminlerinin detaylı araştırılması kapsamında ilçe yerleşim alanının büyük bir çoğunluğunu içine alan yaklaşık 432 ha'lık bir alan için sıvılaşma analizleri yapılmıştır. İnceleme alanı 200 m x 200 m olmak üzere toplam 120 adet karelaja bölünmüş her bir karelajda en az bir adet CPT olmak üzere 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. Bu çalışma kapsamında yapılan sıvılaşma analizleri göle yakın eski meslek yüksekokulu bahçesinde yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Saha deneyleri ve gözlemleri her iki yöntemde de birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Gölbaşı ilçesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Kuzey ucu ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneyinden kesiştiği yerde bir vadi içerisinde yer almaktadır. İlçe kuzey ve güney etraftan yükseklikleri 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.

Adıyaman Üniversitesi Gölbaşı Meslek Yüksekokulu binası ilçe merkezinin kuzeyinde Gölbaşı Gölü'nün hemen yanı başında yer almaktadır (Şekil 1).



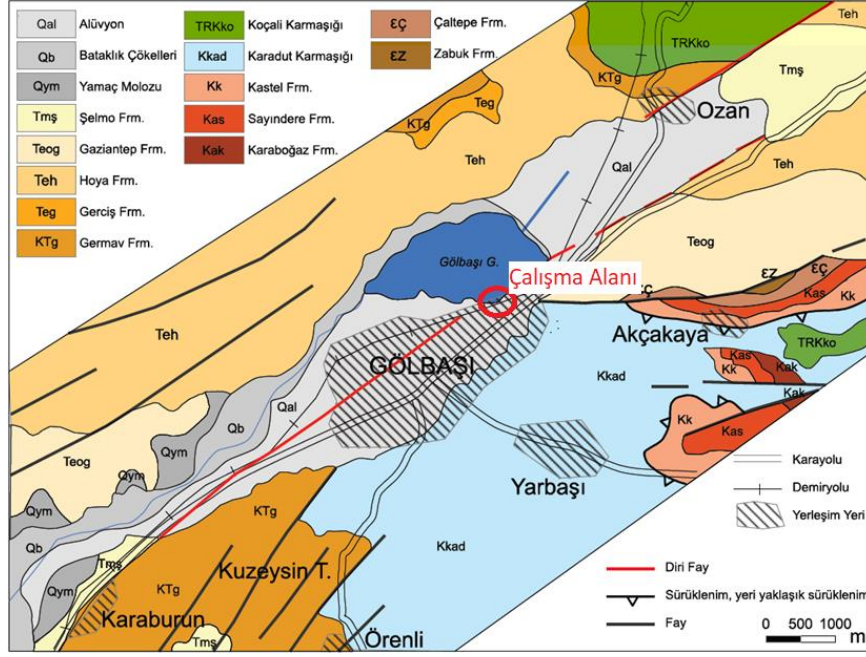


Şekil 1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı MTA Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi'nin Şanlıurfa – M39 paftası içerisinde kalmaktadır. Buna göre Gölbaşı (Adıyaman) ilçesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı kesiminde ve yerleşim alanının büyük bir kesimi Kuvaterner yaşlı alüvyonel ve suya doygun birimler üzerinde yer almaktadır. İlçenin doğu-güneydoğu kesiminde Triyas-Jura yaşlı Karadut Karmaşığı yüzeylenmektedir (Şekil 2). Karmaşık 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 ardalanmasından oluşan filliş benzeri bir istifdir.





Şekil 2. Çalışma alanı genel jeoloji haritası (Çoban ve Dalkılıç, 2018)

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

2.1. Depremsellik

Türkiye'nin aktif ve etkin olan başlıca ana fay kuşakları sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Ege-Kıbrıs Arkı'dır.

Güneydoğu Anadolu'nun tümü gibi Adıyaman ilinin bulunduğu alanda da egemen faz Üst Kampaniyen-Alt Mestiristiyen döneminde etkisini gösteren ve Allokton birimlerin Kastel havzasına yerleşmesi ile sonuçlanan ve Arap levhasının Anadolu levhasının altına dalması nedeniyle oluşan sıkışma rejimidir (Anonim, 2003).

Anadolu levhası, kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve doğuda Doğu Anadolu Fayı (DAF) ile sınırlandırılmıştır. Arap levhasının kuzeye, nispeten sabit olan Avrasya Levhası'na doğru hareketi sonucunda, Anadolu Levhası bu fay sınırları boyunca yıllık 20 mm hızla batıya doğru hareket etmektedir (Bozkurt, 2001). Türkiye'nin başlıca neotektonik unsurları Şekil 3'de gösterilmektedir.



3. ZEMİN SIVILAŞMASI

Kahramanmaraş depremleri sırasında suya doymun gevşek zeminlerde sıvılaşma emareleri gözlenmiştir. Özellikle Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinin Gölbaşı Gölü'ne yakın kesimlerinde daha yoğun zemin sıvılaşması hasarları gözlenmiştir. Zemin sıvılaşmasıyla binalarda oturmaların olduğu ve yapısal hasarların meydana geldiği belirlenmiştir.

Çalışma alanına ait deprem öncesi ve deprem sonrası durumu karşılaştırmak amacıyla, hasarları gösteren uydu fotoğrafları verilmiştir (Şekil 5). Deprem sonrası görüntülerde zemin sıvılaşmasının etkileri ve yanal yayılma sonucunda meydana gelen hasarlar net bir şekilde görülmektedir (Şekil 6). Bu görsel karşılaştırma, depremin bölgedeki yapısal etkilerini ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Çalışma alanı uydu görüntüsü, (a) deprem öncesi görüntü, (b) deprem sonrası görüntü (Google Earth, 2024)



Şekil 6. Çalışma alanında gözlenen yatay düşey zemin deformasyonları

Bu çerçevede, bölgede 1 adet sondaj ve 2 adet CPT (Konik Penetrasyon Testi) çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Sondajlarda yapılan Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonuçları, arazi gözlemleri ve laboratuvar verileri bir arada değerlendirilmiş, SPT tabanlı sıvılaşma analizi ve Sıvılaşma Potansiyel İndeksi (LPI) hesaplamaları yapılmıştır. Aynı zamanda, CPT verilerine dayalı sıvılaşma analizi ve LPI değerlendirmesi gerçekleştirilmiş ve her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamlı değerlendirme, farklı zemin inceleme yöntemlerinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesindeki tutarlılığını ve güvenilirliğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.





Şekil 7. Sondaj ve CPT lokasyonları

Sondaj 30 metre derinliğe kadar açılmış ve her 1,50 metrede bir TSE EN ISO 22476-3 standardına uygun SPT deneyi yapılmıştır. Zeminin uygun olduğu kesimlerde de Shelby tüpü ile örselenmemiş (UD) örnek alınmıştır. SPT örnekleri üzerinde atterberg limitleri, su içeriği deneyleri ve zemin sınıflaması yapılmıştır. UD örneklerinde ise bu deneylere ilaveten doğal birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır.

SPT N_{30} düzeltmeleri Tablo 1'deki veriler dikkate alınarak;

$$N_{60} = N(C_R C_S C_B C_E)$$

$$N_{1,60} = N(C_R C_S C_B C_E C_N)$$

eşitliklerine göre yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 1. SPT düzeltme katsayıları

C_N	$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{0.5} \leq 2.0$ (örtü yükü düzeltmesi) (σ'_v ile atmosferik basınç, P_a , aynı birim olmalıdır.)
C_R	$C_R = 0.48 + 0.225 \cdot \ln(d)$; $d \leq 10$ m $C_R = 1.0$; $10\text{m} < d < 30\text{m}$ (d = tij uzunluğu)
C_S	Numune alıcıda membran boşluğu öngörülen ancak membran kullanılmayan durumlarda yapılacaktır. $C_S = 1 + \frac{N_{1,60}}{100}$ $1.10 \leq C_S \leq 1.30$
C_B	<u>Sondaj delgi çapı düzeltmesi (C_B)</u> 65 to 115 mm 1.0 (sondajda kullanılan ekipmana göre delgi çapı 89 mm'dir) 150 mm 1.05 200 mm 1.15
C_E	$C_E = \frac{ER}{60}$ ER (enerji oranı), SPT şahmerdanından numune alıcıya iletilen enerjinin yüzde cinsinden oranı Ekipman Yaklaşık ER C_E -Emniyet Şahmerdanı 0.4 - 0.75 0.7 - 1.2 -Donut Şahmerdanı 0.3 - 0.6 0.5 - 1.0 -Donut Şahmerdanı 0.7 - 0.85 1.1 - 1.4 -Otomatik-Trip Şahmerdan 0.5 - 0.8 0.8 - 1.4



Tablo 2. SK sondajına ait SPT düzetmeleri

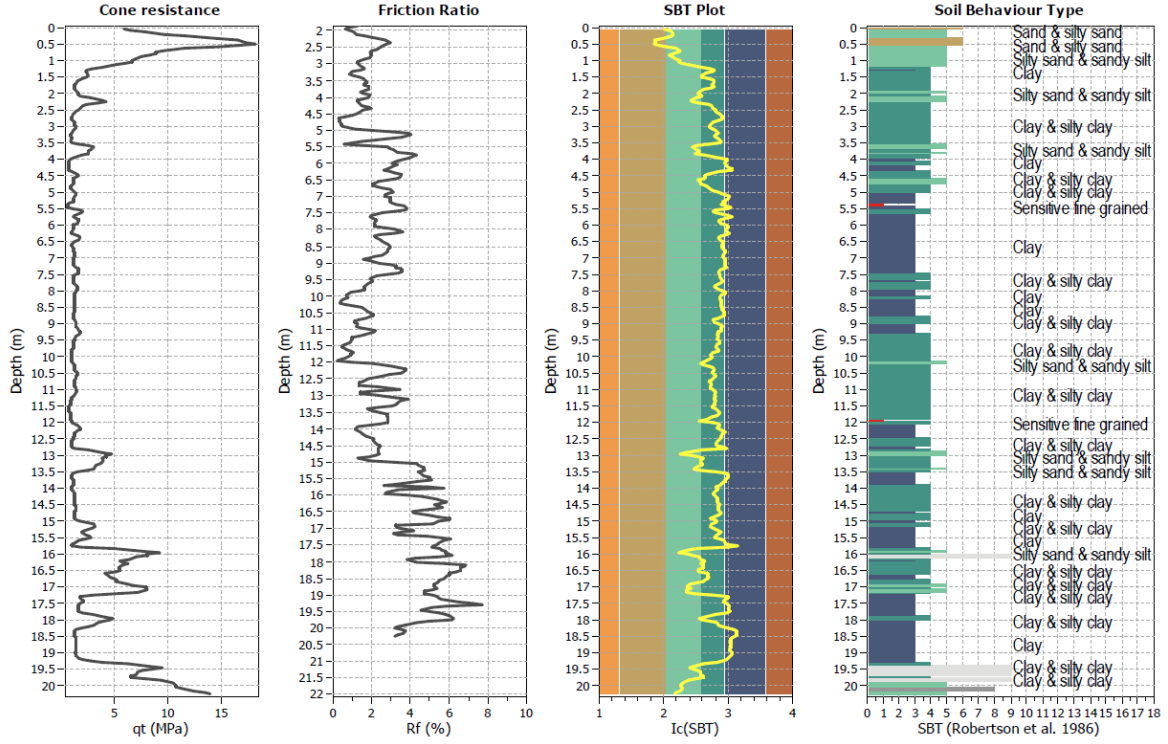
Örnek No	Zemin Tipi	Derinlik (m)	Kalınlık (m)	N ₃₀	N ₆₀	Birim Hacim Ağırlık γ/γ_{sat} (kN/m ³)	σ (kPa)	σ' (kPa)	C _N	N _{1,60}
SPT-1	Siltli Kum	1.50	1.50	6	5	17.00	25.5	20.1	2	9
SPT-2	Siltli Kum	3.00	1.50	6	5	17.00	51.0	30.9	1.95	10
SPT-3	Siltli Kum	4.50	1.50	5	4	17.00	76.5	41.7	1.64	8
SPT-4	Siltli Kum	6.00	1.50	6	6	17.00	102.0	52.5	1.45	8
SPT-5	Siltli Kum	7.50	1.50	5	5	17.00	127.5	63.2	1.31	6
SPT-6	Siltli Kil	9.00	1.50	2	2	16.50	152.3	73.3	1.24	2
SPT-7	Siltli Kil	10.50	1.50	2	2	16.50	177.0	83.3	1.16	2
SPT-8	Killi Kum	12.00	1.50	10	10	17.50	203.3	94.8	1.02	10
SPT-9	Killi Kum	13.50	1.50	17	17	18.00	230.3	107.1	0.93	16
SPT-10	Kumlu Silt	15.00	1.50	7	7	17.00	255.8	117.9	0.94	7
SPT-11	Kumlu Silt	16.50	1.50	7	7	17.00	281.3	128.7	0.9	6
SPT-12	Kumlu Silt	18.00	1.50	5	5	17.00	306.8	139.5	0.86	4
SPT-13	Siltli Kum	19.50	1.50	22	22	18.50	334.5	152.5	0.76	17
SPT-14	Siltli Kum	21.00	1.50	37	37	19.00	363.0	166.3	0.71	26
SPT-15	Siltli Kum	22.50	1.50	26	26	19.00	391.5	180.1	0.69	18
SPT-16	Siltli Kum	24.00	1.50	14	14	17.50	417.8	191.6	0.73	10
SPT-17	Siltli Kum	25.50	1.50	37	37	19.00	446.3	205.4	0.65	24
SPT-18	Siltli Kum	27.00	1.50	41	41	19.00	474.8	219.2	0.63	26
SPT-19	Siltli Kum	28.50	1.50	56	50	19.00	503.3	233.0	0.61	34
SPT-20	Siltli Kum	30.00	1.50	30	30	19.00	531.8	246.8	0.60	18

CPT çalışmaları 20 ton baskı kapasiteli, kamyon üzerine monteli Vertek Hogentogler marka hidrolik ekipmanlarıyla, 60°'lik uç açısı olan 10 cm² konik uç kullanılarak 2±0,5 cm/sn sabit hızla iletecek şekilde TS EN ISO 22476-1 standardına uygun şekilde yapılmıştır. CPT-1 20 metre CPT-2 ise 30 metre derinliğe kadar yapılmış her 5 cm'de bir uç direnci, sürtünme direnci ve boşluk suyu basıncı kaydı alınarak yüksek çözünürlükte veri elde edilmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9).

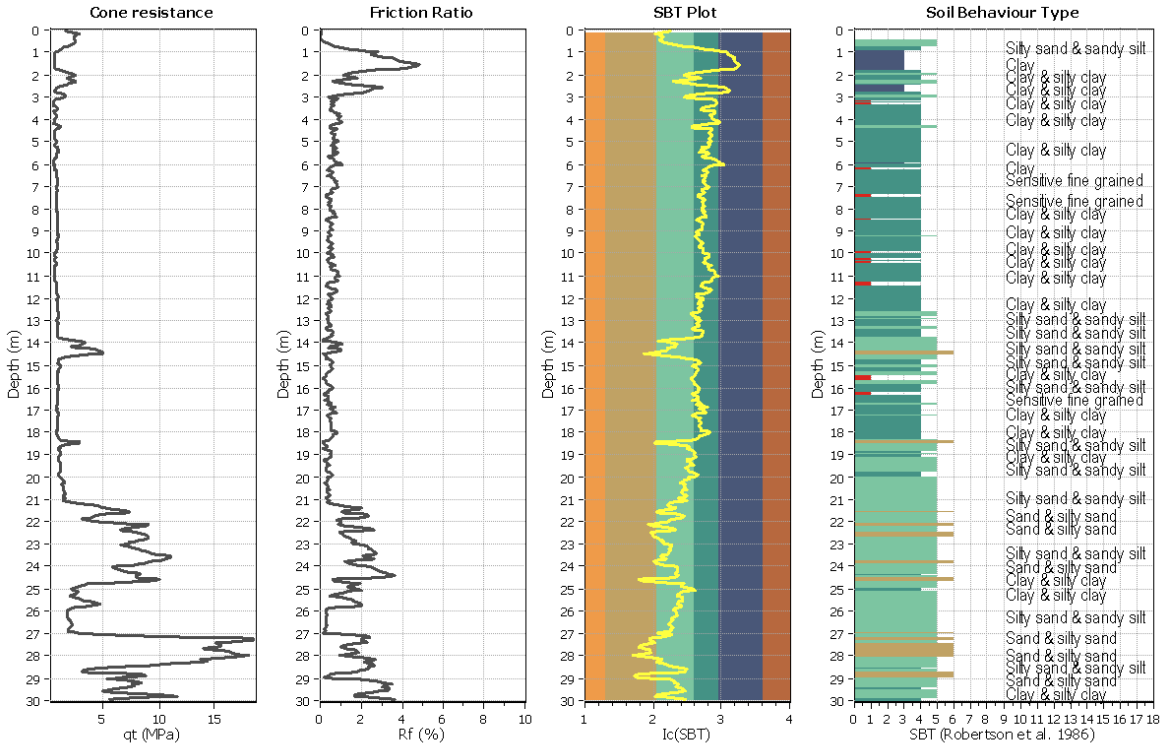
CPT ile fiziksel örnek alınamadığından zemin türünün belirlenmesi için Robertson (1990) tarafından önerilen zemin davranış tipi katsayısına göre her 5 cm zemin tabakası için zemin sınıfları belirlenmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9).



Gölbasi (Adiyaman) Zeminlerinin CPT ve SPT Tabanlı Sıvılaşma Analizlerinin Değerlendirilmesi



Şekil 8. CPT-1'e ait ölçüm sonuçları



Şekil 9. CPT-2'ye ait ölçüm sonuçları



4. BULGULAR

Yapılan analizlerde senaryo depremi olarak moment büyüklüğü $M_w=7.7$, maksimum yer ivmesi değeri ise $PGA=0.50$ g olarak alınmıştır.

LPI değerleri Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. Buna göre her 5 cm için güvenlik katsayısı belirlenmiş, güvenlik katsayısının 1'den küçük olduğu durumlar için LPI değerleri hesaplanmıştır. 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.

SPT'ye dayalı sıvılaşma analizlerinde, zeminin boş, düz ya da düze yakın olduğu kabul edilerek Çetin vd. (2018) tarafından belirlenen esaslara uyulmuştur (Tablo 3). SPT verileri N_{30} değerlerinin yanı sıra laboratuvar ve arazi tanımlamaları ile birlikte değerlendirilmiştir. Arazi gözlemlerinde ince tane oranının fazla olduğu ve nispeten yüksek plastisite indisi değerlerine sahip (>12) zeminlerin sıvılaştığı/yumuşadığı belirlenmiş olup bu seviyeler için de basitleştirilmiş sıvılaşma analizi yapılmıştır.

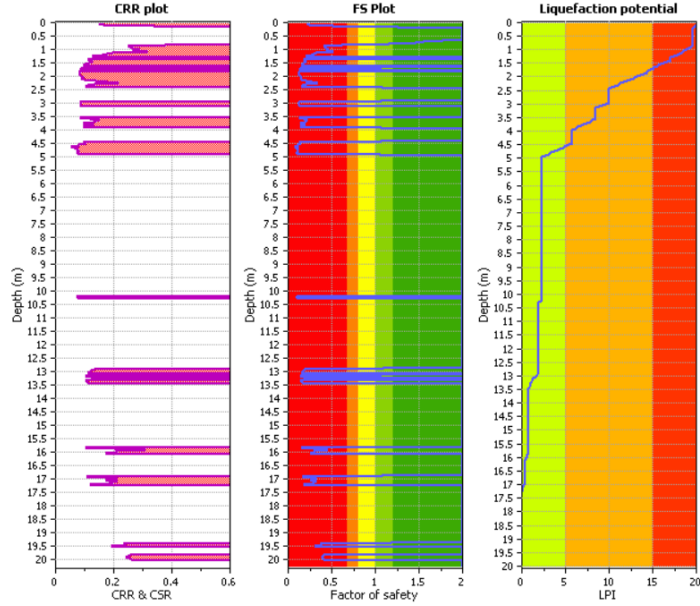
Analizler 20 metreye kadar olan her SPT seviyesi için ayrı ayrı yapılarak her SPT seviyesi için güvenlik katsayısı (GK) hesaplanmıştır. Buna göre toplam LPI değerleri 46,6 (sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonu oluşumu kesin) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. SK sondajı sıvılaşma analizi

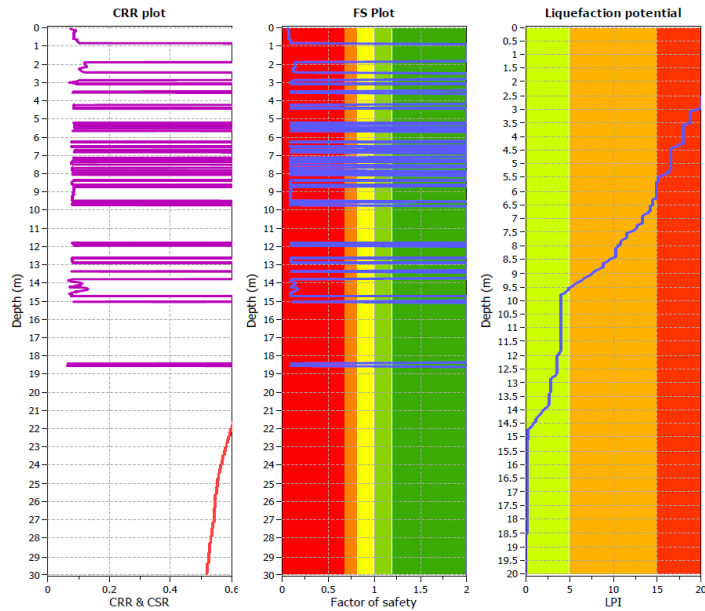
Örnek No	Zemin Tipi	FC	Derinlik (m)	Kalınlık (m)	$N_{1,60}$	$N_{1,60f}$	rd	CSR	PL	CRR	GK	$W_{(z)}$	F	Sıvılaşma Potansiyel, İndeksi (LPI)
SPT-1	Siltli Kum	88	1.5	1.5	9	9	0.97	0.51	0.5	0.187	0.36	9.3	0.64	6.0
SPT-2	Siltli Kum	61	3.0	1.5	10	10	0.92	0.58	0.5	0.171	0.30	8.5	0.70	6.0
SPT-3	Siltli Kum	92	4.5	1.5	8	8	0.86	0.58	0.5	0.125	0.22	7.8	0.78	6.1
SPT-4	Siltli Kum	92	6.0	1.5	8	8	0.79	0.54	0.5	0.12	0.22	7.0	0.78	5.5
SPT-5	Siltli Kum	97	7.5	1.5	6	6	0.71	0.5	0.5	0.093	0.18	6.3	0.82	5.2
SPT-6	Siltli Kil	97	9.0	1.5	2	2	0.65	0.48	0.5	0.064	0.13	5.5	0.87	4.8
SPT-7	Siltli Kil	91	10.5	1.5	2	2	0.59	0.44	0.5	0.03	0.14	4.8	0.86	4.1
SPT-8	Killi Kum	91	12.0	1.5	10	10	0.55	0.39	0.5	0.112	0.29	4.0	0.71	2.8
SPT-9	Killi Kum	34	13.5	1.5	16	16	0.52	0.36	0.5	0.175	0.49	3.3	0.51	1.7
SPT-10	Kumlu Silt	34	15.0	1.5	7	7	0.5	0.37	0.5	0.077	0.21	2.5	0.79	2.0
SPT-11	Kumlu Silt	34	16.5	1.5	6	6	0.49	0.36	0.5	0.073	0.2	1.8	0.80	1.4
SPT-12	Kumlu Silt	31	18.0	1.5	4	4	0.49	0.36	0.5	0.058	0.16	1.0	0.84	0.8
SPT-13	Siltli Kum	31	19.5	1.5	17	17	0.48	0.32	0.5	0.16	0.49	0.3	0.51	0.2



CPT'ye dayalı sıvılaşma analizleri Robertson ve Wride (1998)'e göre yapılmış her 5 cm'de güvenlik katsayısı ve LPI değerleri hesaplanmıştır. Toplam LPI değerleri CPT-1 sondajında 20,58 (sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonu oluşumu kesin) CPT-2 sondajında ise 32,77 (sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonu oluşumu kesin) olarak belirlenmiştir (Şekil 10 ve Şekil 11).



Şekil 10. CPT-1'e ait sıvılaşma analizi



Şekil 11. CPT-2'ye ait sıvılaşma analizi



5. SONUÇLAR

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 doygun gevşek zeminlerde sıvılaşma emareleri gözlenmiştir. Özellikle Hatay ili ve ilçeleri ile bu çalışmanın alanı olan Gölbaşı (Adıyaman) bölgelerinde zemin sıvılaşması hasarları gözlenmiştir. Zemin sıvılaşmasıyla binalarda oturmaların olduğu ve yapısal hasarların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum inşaat öncesi zemin yapısının belirlenmesinin ve projelendirmenin önemini ortaya koymaktadır.

Saha çalışmaları ile depremlerden hemen sonra yerinde yapılan incelemeler bu çalışma ile birbirlerini desteklemektedirler. Deneysel çalışmalar Gölbaşı ilçesinin zeminlerinin özellikle göl taraflarına doğru gidildikçe sıvılaşma potansiyellerinin arttığını göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Sondaj ve CPT çalışmalarının 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. ihr. Tic. ve San. Ltd. Şti.'ye teşekkür ederiz.

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.
- Andrews, D. C. ve Martin, G. R. (2000). Criteria for liquefaction of silty soils. Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering,
- Anonim. (2003). Adıyaman İl Çevre Durum Raporu. Adıyaman Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü.
- 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 Adapazari.
- 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.
- Çetin, K. Ö., Seed, R. B., Kayen, R. E., Moss, R. E., Bilge, H. T., İlgaç, M. ve Chowdhury, K. (2018). SPT-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction triggering hazard. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 115, 698-709.
- Çoban, M. ve Dalkılıç, H. (2018). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları.



- 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,
- MTA. (2012). Türkiye Diri Fay Haritası Serisi.
- 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.
- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian geotechnical journal, 27(1), 151-158.
- 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.
- 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. 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,
- Terzaghi, K., Peck, R. B. ve Mesri, G. (1996). Soil mechanics in engineering practice. John wiley & sons.
- Wang, W. (1979). Some findings in soil liquefaction. Earthquake Engineering Department, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute.

