

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

# 6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Zemin Davranışları: Vaka Analizi

## *Determination of Soil Behaviour of 6th February Kahramanmaraş Earthquakes: Case Study*

Aybüke Nur Tuncel Gökdoğan<sup>1\*</sup>, Nihat Sinan Işık<sup>2</sup>, Seyhan Fırat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye..

Geliş / Received: 03.05.2024

Kabul / Accepted: 09.05.2024

\*Sorumlu Yazar: Aybüke Nur Tuncel Gökdoğan [aybuknt@gmail.com](mailto:aybuknt@gmail.com)

**ÖZ:** 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen 7.7 ve 7.6 Mw büyüklüğündeki Kahramanmaraş Depremleri 11 ilde çok sayıda can kaybına ve yapısal hasara sebep olmuştur. Bu depremler sonrasında yapılan çalışmalarda yanıl yayılma, kum fıçırması ve zemin sıvılaşmasının geniş bir alanda ciddi hasarlar oluşturduğu ortaya çıkarılmıştır. Sıvılaşma sebebi ile bölgedeki yapı temellerinde diferansiyel oturma ve devrilme gibi davranışlar tespit edilmiştir. Bu çalışma, Adıyaman ilinin Gölbaşı ilçesi Gazi Caddesi üzerinde bulunan Müftülük Binasında meydana gelen hasarın sıvılaşma ile olan bağlantısının araştırılmasını amaçlamaktadır. Binanın temel altında kazıkların bulunması, depreme karşı dayanıklı olması beklentisini meydana getirmesine karşın görülen hasar, kazıkların bölge zemininin deprem durumundaki deformasyona karşı koyabilecek bir şekilde çalışmadığını kanıtlamış bulunmaktadır. Deprem sonrası bölgede yapılmış olan arazi deneylerinin ışığında zemin profili ve deney sonuçları incelenmiş, yapı temelinin kum birime oturduğu tespit edilmiştir. Gölbaşı ilçesinde yapılan araştırmaların sonuçları incelenmiş, bölgedeki kumlu zeminin sıvılaşmasına dair pek çok bulguya rastlanmıştır. Çalışma kapsamında bölgeye uygun deprem ivme kaydı seçimi yapılarak sıvılaşma analizleri yapılmış, DEEPSOIL ve LPile programları ile sıvılaşma nedeniyle kazıklarda oluşması beklenen yatay deformasyonlar belirlenmiştir. Kazık zemin etkileşiminin incelenebilmesi için LPile programı kullanılmış ve zeminin dinamik yükler altındaki davranışını incelemek için DEEPSOIL programından faydalanılmıştır. Kazıklı temellerde dinamik yükler altında meydana gelebilecek hasarları konu alan bu çalışmanın ilgili konuda yapılacak olan tasarımlar için fayda sağlayacağı ön görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kahramanmaraş depremleri, sıvılaşma, temel altı kazığı, kazık-zemin etkileşimi, DEEPSOIL

**ABSTRACT:** The Kahramanmaraş Earthquakes magnitude of 7.7 and 7.6 Mw, which occurred on February 6, 2023, caused many loss of lives and structural damage in 11 provinces. Studies conducted after these earthquakes revealed that lateral spreading, sand ejecta and soil liquefaction caused serious damage in a wide area. Due to liquefaction, differential settlement and toppling of building foundations have been detected in the region. This study aims to investigate the connection between liquefaction and the damage that occurred in the Müftülük Building on Gazi Street in Gölbaşı district of Adıyaman province. Although the presence of piles under the foundation of the building was expected to be resistant to earthquakes, the damage seen proved that the piles did not work in accordance with the deformations due to liquefaction in the region under an earthquake. The soil profile and test results were examined in the light of the field tests carried out in the region after the earthquake, and it was determined that the building foundation settled on the sand layer. The results of the researchs conducted in Gölbaşı district were examined and many findings were found regarding the liquefaction of the sandy soil in the region. Within the scope of this study, earthquake acceleration records suitable for the region were selected and liquefaction analyzes were carried out with the help of LPile program. The LPile program was used to examine the pile-soil interaction, and the DEEPSOIL program was used to examine the behavior of the soil under dynamic loads. It is anticipated that this study, which deals with the damages that may occur under dynamic loads in pile foundations, will be beneficial for the designs to be made on the relevant subject.

**Keywords:** Kahramanmaraş earthquakes, liquefaction, foundation piles, soil-pile interaction, DEEPSOIL.

## 1. GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunan aktif sismik hareketliliklere sahip bir deprem ülkesidir. Günümüze kadar pek çok yıkıcı deprem yaşanan ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Pazarcık ve Amanos segmentleri ve Çardak fayı boyunca kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinde gerçekleşen kırılmalar sonucu merkez üssü Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir.

6 Şubat 04.17'de meydana gelen 7.7 Mw büyüklüğündeki ilk depremin odak derinliği AFAD'ın sisteminde 8.6 km, 13.24'de meydana gelen 7.6 Mw büyüklüğündeki ikinci depremin ise odak derinliği 7.0 km olarak tespit edilmiştir [1]. Depremlerin ardından bölgede büyüklüğü 6.4 Mw'e kadar olan 10.000'in üstünde artçı sarsıntı kaydedilmiştir. Bu depremler Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ'da hissedilmiş ve bahsi geçen 11 ilde 50.000'in üstünde can kaybına, binlerce kişinin yaralanmasına, konutların yanısıra tarihi yapılar, hastaneler, karayolları, köprüler, altyapılar ve idari binaların da ciddi derecede hasar almasına yol açmıştır. Şekil 1'de 7.7 Mw ve 7.6 Mw depremlerin ve gerçekleşen artçı sarsıntıların bölgesel dağılımı gösterilmektedir. Gerçekleşen depremlerin yoğunluklu olduğu çizgiler faylanmayı da temsil etmektedir.

İlk depremde en büyük yer ivmesi, en fazla yıkımın olduğu Hatay ilinde 1.057 g olarak ölçülmüştür. İkinci depremde ise en büyük yer ivmesi Kahramanmaraş ilinde 0.65 g olarak ölçülmüştür [2]. Şekil 2'de 7.7 Mw Kahramanmaraş depremi için PGA konturları gösterilmektedir.

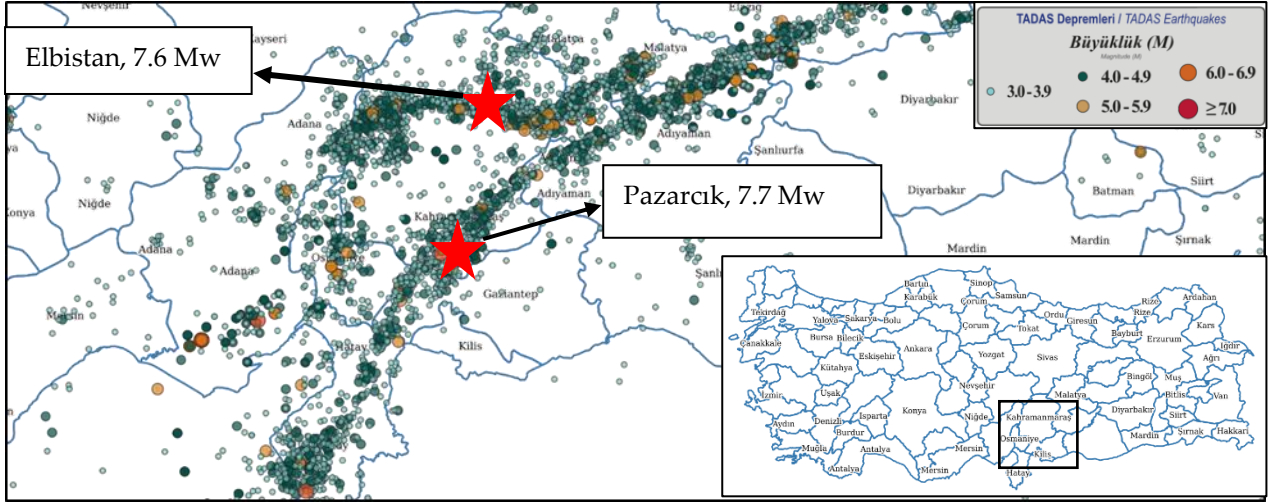
Depremlerden etkilenen bölgede yapılan araştırmalar sonucunda oluşan hasarın belirli bir kısmının sıvılaşma kaynaklı olduğu görülmüştür. Zemin sıvılaşmasının meydana geldiği bölgelerde yapısal hasara uğramayan ancak temelinde farklı oturmalar gözlemlenen ve bir bütün halinde devrilen ve oturan binalar olduğu tespit edilmiştir.

Sıvılaşma, dinamik etkiler altında boşluk suyu basıncındaki artışa bağlı olarak efektif gerilmedeki

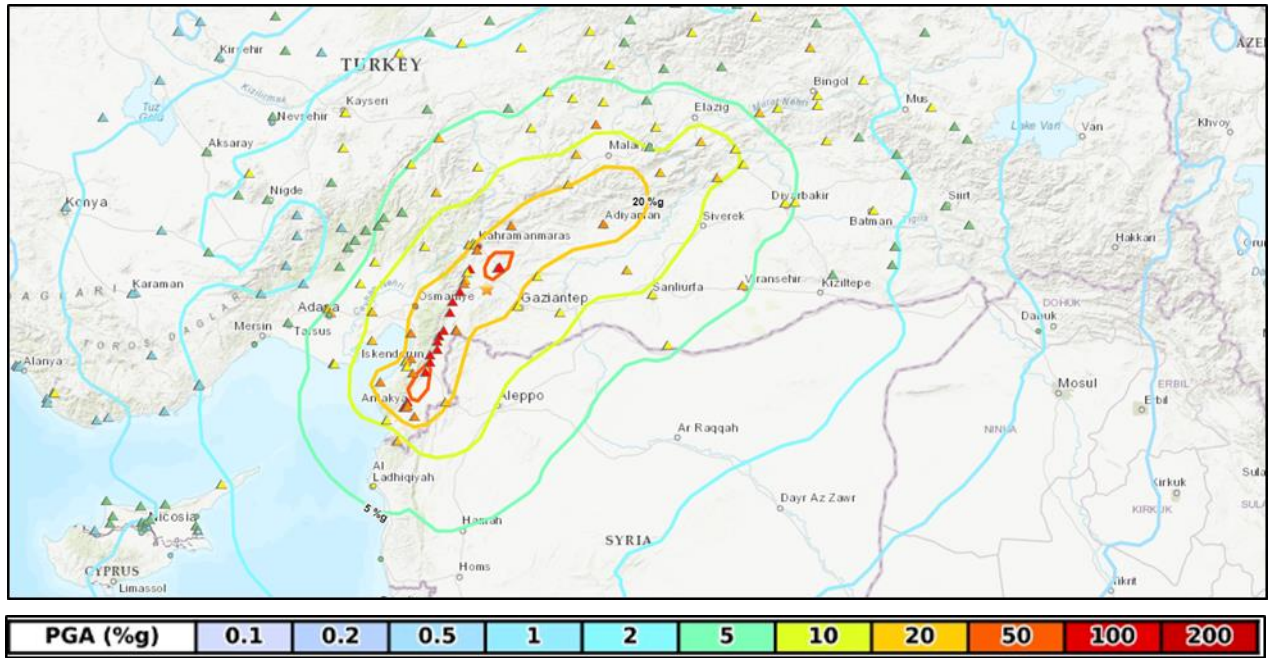
azalma sonucu zeminin katıdan sıvı duruma geçmesi olarak özetlenmektedir. Ülkemizde 1992 yılında meydana gelen Erzincan depremi bu konunun önemini göstermiş olup 1999 Kocaeli depremi sonrası çalışmalar artış göstermiştir.

Zeminlerin sıvılaşabilirliğini belirleyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlar arasında tane boyutu, tane dağılımı ve zemin tabakasının jeolojik öyküsü gibi özelliklerin yanı sıra başlangıç sıklık derecesi ve hacim değişim potansiyeli gibi faktörler de bulunmaktadır. Ayrıca, su geçirgenliği de sıvılaşma potansiyelini etkileyen önemli bir faktördür. Bunların ötesinde, depremin büyüklüğü, süresi ve uzaklığı gibi sismik faktörler de zeminlerin sıvılaşabilirliğini etkilemektedir. Bu faktörlerin bir araya gelmesi, bir zeminin sıvılaşma riskini belirlemede kritik öneme sahiptir [3]. Geçmişte sıvılaşmanın sadece kohezyonsuz zeminlerde gerçekleşeceğinin düşünülmesine karşın, son yıllarda yapılan çalışmalar plastisite indisi düşük olan kohezyonlu zeminlerde de sıvılaşma benzeri davranışların gözlemlenebileceğini ortaya çıkarmıştır.

Kahramanmaraş depremleri sırasında meydana gelen zemin sıvılaşması konusunda çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Depremin etkilediği şehirlerde sıvılaşmanın gözlemlendiği bölgelerin incelenmiş olduğu çalışmada sıvılaşma tipi davranış gözlemlenen zeminlerin çoğunluğunun değişken ince tane içeriğine sahip kumlardan oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca, yüksek ince tane içeriğine sahip ve sıvılaşabilen zeminler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları, düşük plastisiteye sahip killi zeminlerin (CL) sıkça bulunduğunu göstermiştir. CL tipi zemin örneklerinin çoğunun Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinden alındığı belirtilmiştir [4]. Başka bir çalışma sahada gözlemlenen kum konilerinin yüzeye fışkırması, yanal yayılma, çökme ve oturmaların sıvılaşma eğiliminde olan zeminlerde meydana geldiğini göstermiştir. [5]. Kahramanmaraş depremleri öncesinde ve sonrasında yürütülen çalışmalar sıvılaşma potansiyeli belirlendiği durumlarda sahaya özel çalışmaların ve analiz sonuçlarına uygun olarak gerçekleştirilecek zemin iyileştirme çalışmalarının gerekliliğini göstermektedir.



Şekil 1: Ana deprem ve artçı sarsıntılarının bölgesel dağılımı (tadas.afad.gov.tr [1])



Şekil 2: Mw=7.7 Kahramanmaraş deprem PGA konturları (earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage [6]).

Bu araştırmanın amacı, Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi Gazi Caddesi üzerinde bulunan Gölbaşı Müftülüğü'ne ait binada meydana gelen hasarın kaynağının incelenmesidir.

Çalışma kapsamında incelenecek olan bölgenin zemini Kuvaterner yaşlı alüvyonal çökellerden oluşmakta ve yer altı su seviyesi sığdır. Çalışma alanı sınırlarından geçtiği belirtilen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), sol yönlü doğrultu atımlı bir fay özelliği taşımaktadır [7]. İnceleme alanı olan Adıyaman ili Gölbaşı ilçesindeki PGA değerinin Şekil 2 incelendiğinde 0.2 g ile 0.3 g arasında olduğu görülmektedir [6].

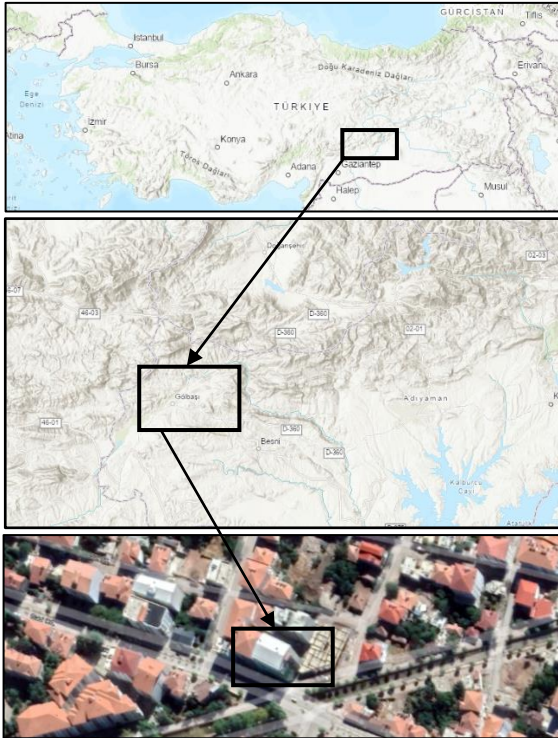
Gölbaşı ilçesinde ölçülmüş olan bir deprem kaydı mevcut değildir.

Depremin zemindeki etkisinin belirlenebilmesi için bölgede meydana gelen hasar tespiti amacıyla Gölbaşı ilçesinde derinlikleri 30.0 metreye varan sondajlar yapılmış, SPT, CPT çalışmaları ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Gölbaşı Müftülüğü'ne ait binanın çevresinde deprem sonrası yapılmış olan arazi ve laboratuvar deneyleri, bina temelini kum birime oturduğunu göstermektedir. Bölgede deprem sonrası yapılan sondaj ve CPT sonuçları NCEER tarafından önerilen yöntem kullanılarak sivilaşma potansiyeli

değerlendirmesi yapılmıştır. DEEPSOIL yazılımı ile ise kohezyonsuz tabakalardaki boşluk suyu basıncı artışları ve yatay deformasyonlar modellenmiştir. Temel altı kazıkların sıvılaşma öncesi ve sonrası yapısal davranışları L-Pile programı yardımı ile irdelenmiş ve depremde meydana gelen hasarın sebebinin tespiti amaçlanmıştır. Bu çalışmalar takip eden bölümlerde detaylandırılmaktadır.

## 2. VAKA ANALİZİ

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi Yeni Mahalle Gazi Caddesi üzerinde bulunan, koordinatları 37°47'15.19"K, 37°38'32.12"D olan Gölbaşı Müftülüğü'ne ait bina zemin ve 6 normal kattan oluşmaktadır. Boyutları yaklaşık 17.0 m x 20.0 m olan betonarme radye temelli binanın temel derinliği 1.30 m'dir. Bina temelinin altında 80 cm çapında, 10.0 m boyunda 35 adet donatılı fore kazık bulunmaktadır. Fore kazıklarda bulunan donatı adeti 5 olarak tespit edilmiş olup kazık imalatı sırasında bazı kazıklarda donatı filizi bırakılmadığı (temel ile bağlantısı olmadığı) gözlemlenmiştir. Gölbaşı Müftülüğü'ne ait yer bulduru haritası Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3: Yer bulduru haritası (AFAD ve Google Earth ([tadas.afad.gov.tr/](https://tadas.afad.gov.tr/) & [earth.google.com/web/](https://earth.google.com/web/))).

Kahramanmaraş depremlerinde binanın temelinde ciddi miktarda diferansiyel oturma meydana gelmiştir. Şekil 4'de Binanın deprem sonrasında çekilen fotoğrafları gösterilmektedir.



Şekil 4: Müftülük binasının deprem sonrası çekilen fotoğrafları.

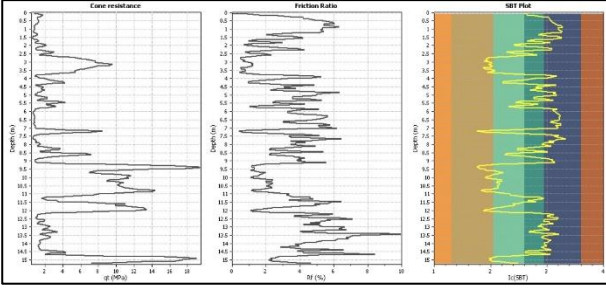
## 3. SAHA ÇALIŞMALARI

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde bulunan Müftülük binası çevresinde yapılmış olan zemin etütleri çalışmada kullanılabilirliği açısından incelenmiştir. İlgili binaya en yakın saha çalışmalarının SK-22 sondajı ve CPT-72 olduğu tespit edilmiştir. Deneylerin özellikleri ve yöntemleri aşağıdaki başlıklarda özetlenmektedir.

### 3.1 CPT (Konik Penetrasyon Deneyi)

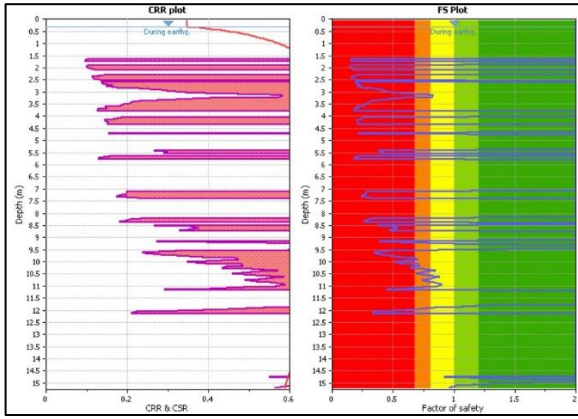
Konik penetrasyon deneyi (CPT), aynı zamanda "statik penetrasyon deneyi" olarak da tanımlanmakta olup konik geometriye sahip bir ucun metal çubuklara monte edilerek kuyu açmaya gerek kalmaksızın hidrolik baskı ile zemine sabit bir hızla itilmesi için gerekli kuvvetin sürekli olarak ölçümünü kapsamaktadır [8].

Konik penetrasyon deneyi, zemin profilinin incelenmesi, mekanik özelliklerinin belirlenmesi, yer altı su seviyesinin izlenmesi ve boşluk suyu basıncının ölçülmesi gibi alanlarda kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 5'de, CPT deneyinden elde edilen uç direnci, sürtünme oranı ve zemin türünün derinliğe bağlı değişim grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 5: CPT-72 uç direnci, sürtünme oranı ve zemin türü grafikleri.

Şekil 6'da hesaplanan devirsel gerilme oranının derinliğe bağlı değişim grafiği ve sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı grafiği gösterilmektedir. 0.0-8.0 m aralığında elde edilen sonuçlar zeminin bu aralıktaki sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 6: Sıvılaşma analizi sonucu özet grafiği.

### 3.2 SPT (Standart Penetrasyon Deneyi)

SPT en genel anlamda sondaj kuyusunun içerisinde yapılan, en uçta 'boyuna yarık tüp' olarak bilinen standart örnek alıcısının bağlı olduğu tijlerin üzerine, 63.5 kg ağırlığındaki bir şahmerdanın 76.2 cm yükseklikten tekrarlı bir şekilde bırakılarak kuyu tabanından toplamda 45 cm'lik penetrasyon sağlanana kadar çakılması ve bunun için gerekli olan darbe sayısı (SPT-N) değerlerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Deneyde elde edilen örnek, zeminin sağlıklı bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır. Literatürde SPT sonuçları ile kohezyonsuz zeminlerin göreceli sıklığı, kohezyonlu zeminlerin kıvam durumu, zeminlerin kayma dayanımı ve sıkışabilirlik parametreleri, sıvılaşma potansiyeli arasında çok sayıda korelasyon mevcuttur [8].

Tablo 1'de SK-22 sondajına ait SPT vuruş sayısı ve zemin birimi tanımlaması verileri sunulmaktadır.

Tablo 1: SK-22 Sondajına ait SPT sonuçları.

Sondaj No.	Numune No.	Derinlik (m)	Zemin Tanımlaması	SPT-N
SK-22	SPT-1	1.50-1.95	Alüvyon (Kum)	6.00
	SPT-2	3.00-3.45	Alüvyon (Kum)	6.00
	SPT-3	4.50-4.95	Alüvyon (Kum)	5.00
	SPT-4	6.00-6.45	Alüvyon (Kum)	6.00
	SPT-5	7.50-7.95	Alüvyon (Kum)	5.00
	SPT-6	9.00-9.45	Alüvyon (Siltli Kil)	2.00
	SPT-7	10.50-10.95	Alüvyon (Siltli Kil)	2.00
	SPT-8	12.00-12.45	Killi Kum	10.00
	SPT-9	13.50-13.95	Killi Kum	17.00
	SPT-10	15.00-15.45	Alüvyon (Kumlu Silt)	7.00
	SPT-11	16.50-16.95	Alüvyon (Kumlu Silt)	7.00
	SPT-12	18.00-18.45	Alüvyon (Kumlu Silt)	5.00
	SPT-13	19.50-19.95	Alüvyon (Siltli Kum)	22.00
	SPT-14	21.00-21.45	Alüvyon (Siltli Kum)	37.00
	SPT-15	22.50-22.95	Alüvyon (Siltli Kum)	26.00
	SPT-16	24.00-24.45	Alüvyon (Siltli Kum)	14.00
	SPT-17	25.50-25.95	Alüvyon (Siltli Kum)	37.00
	SPT-18	27.00-27.45	Alüvyon (Siltli Kum)	41.00
	SPT-19	28.50-28.95	Alüvyon (Siltli Kum)	56.00
	SPT-20	30.00-30.45	Alüvyon (Siltli Kum)	30.00

## 4. DEEPSOIL ANALİZİ

Zeminlerin dinamik kuvvetler altındaki davranışını incelemek için DEEPSOIL programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Seçilen bölgenin DEEPSOIL programı yardımıyla hem frekans alanında eşdeğer lineer hem de doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yapılmış ve bu analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların Kahramanmaraş depremlerinde incelenen bölgenin zemininde meydana gelen davranışın ortaya çıkarılmasına yardımcı olması beklenmektedir. Programda kullanılmış olan idealize zemin profili ve zemin parametreleri Tablo 2'de özetlenmektedir. Bu parametreler ve zemin profili SK 22, CPT 72 ve laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Şekil 7'de ise DEEPSOIL programında oluşturulan zemin tabakaları gösterilmektedir. DEEPSOIL programında tanımlanan zemin katmanları daha küçük katmanlara bölünerek analizin hassasiyeti artırılmaktadır.

Tablo 2: DEEPSOIL'de kullanılan parametreler.

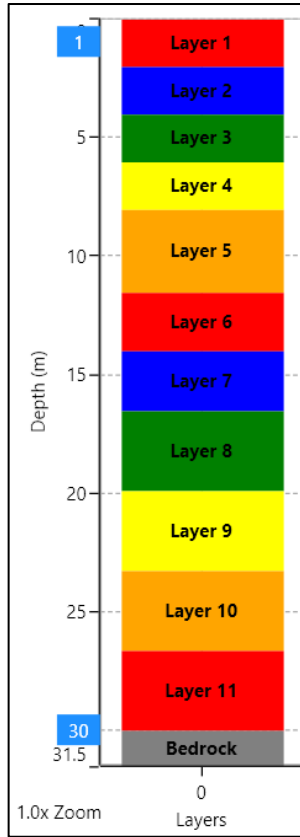
Derinlik (m)	Zemin Birimi	V <sub>s</sub> (m/s)	C <sub>u</sub> (kPa)	PI (%)	γ <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
(0.0)-(8.00)	Siltli Kum	160.0	-	16.0	17.0
(8.00)-(11.50)	Yumuşak Kil	150.0	40.0	20.0	17.0
(11.50)-(16.50)	Kumlu Silt	170.0	-	16.0	17.0
(16.50)-(30.00)	Katı Kil	260.0	150.0	-	18.0

Siltli kum ve kumlu silt tabakalarının sıvılaşabilir tabakalar olduğu ve yer altı su seviyesinin zemin

yüzeyinde olduğu kabul edilmiştir. Kayma dalgası hızları incelendiğinde bölgenin yerel zemin sınıfı ZD olarak kabul edilmiştir. DEEPSOIL ile iki farklı durum değerlendirilmiştir.

İlk durumda boşluk suyu basıncı artışı yani sıvılaşma dikkate alınmamıştır. Zemin modeli tüm tabakalar için Darendeli (2001) seçilerek modelde tabakaların kayma dayanımı ve plastisite indisleri dikkate alınmıştır [9].

İkinci durumda siltli kum ve kumlu silt tabakalarında boşluk suyu basıncı artışı dikkate alınmıştır. Bu amaçla DEEPSOIL bünyesinde bulunan Dobry/Matasovic modeli seçilmiştir ve model parametreleri Tablo 3'de gösterilmektedir [10].



Şekil 7: DEEPSOIL'de tanımlanan zemin tabakaları.

Tablo 3: Dobry/Matasovic model parametreleri [10].

VARIABLE	DESCRIPTION
$u_N$	Normalized excess pore pressure ( $u_N$ ).
$N_{eq}$	Equivalent number of cycles.
$\gamma_c$	The current reversal shear strain.
$\gamma_{tp}$	Threshold shear strain value.
$p$	Curve fitting parameter.
$s$	Curve fitting parameter.
$F$	Curve fitting parameter.
$f$	Dimensionality factor.
$v$	Degradation parameter

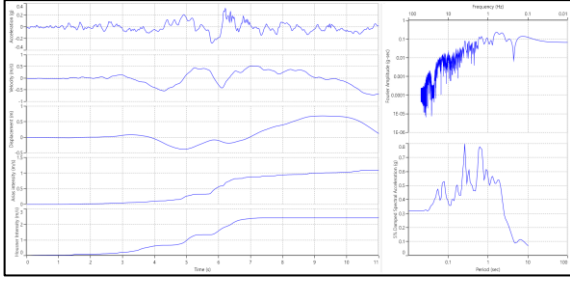
Kohezyonsuz tabakaların Dobry/Matasovic model parametreleri, çalışma sahasında bulunan kum birimlerin benzer olduğu Heber Road Site kum parametreleri olarak seçilmiştir [11].

Tablo 4'de Heber Road Site Kum boşluk suyu basıncı model parametreleri gösterilmektedir.

Tablo 4: Heber Road Site Kum boşluk suyu basıncı model parametreleri [11].

Material	Reference	k (ft/sec)	Pore Water Pressure Model Parameters					
			v	f	p	F	s	$\gamma_{tr}$ (%)
Heber Road Site Sand PB; void ratio 0.7; 15% fines; $V_s \approx 500$ to 600 ft/s	Vucetic and Dobry (1989)	$1.4 \times 10^{-4}$	1	2	1.05	1.706	1.09	0.024

Analizde Kahramanmaraş'daki 4615 numaralı istasyonda ölçülen 7.7 Mw büyüklüğündeki depremin ivme kaydı kullanılmıştır [12]. İvme kaydında çok düşük ivme değerlerinin olduğu kısımlar dikkate alınmamış ve 10 saniyelik süre modele tanımlanmıştır. Şekil 8'de analizlerde kullanılan deprem kaydı gösterilmektedir.

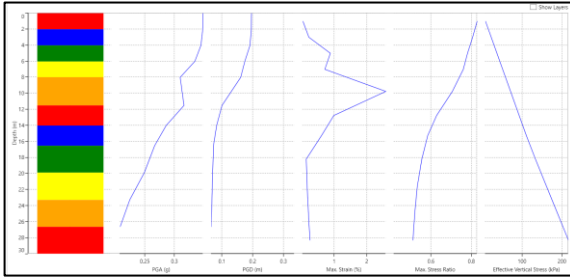


Şekil 8: DEEPSOIL’de kullanılan deprem kaydı.

Boşluk suyu basıncı artışının dikkate alınmadığı durumda analizler hem frekans alanında eşdeğer lineer hem de doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılmıştır.

#### 4.1 Frekans Alanında Yapılan Doğrusal Analiz

Frekans alanında yapılan eşdeğer doğrusal analiz çıktısı Şekil 9’da sunulmaktadır.

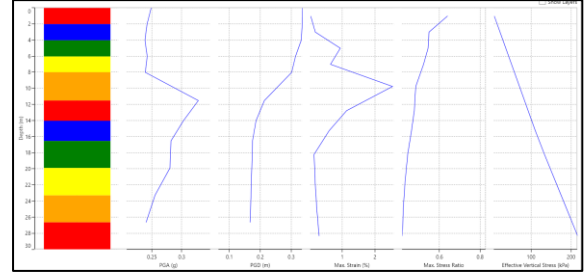


Şekil 9: Frekans alanında yapılan eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.

Bu durumda elde edilen maksimum kayma birim deformasyonu %2 mertebesinin üzerinde çıktığından zeminlerin önemli ölçüde plastik deformasyon davranışı gösterecekleri anlaşılmaktadır. Bu nedenle zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler değerlendirilmiştir.

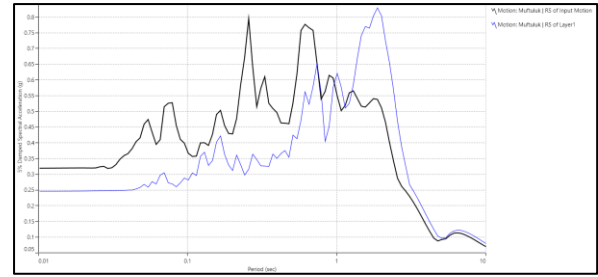
#### 4.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz çıktısı Şekil 10’da verilmiştir. Bu durumda yatayda elde edilen maksimum zemin deformasyonu 334 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 10: Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları.

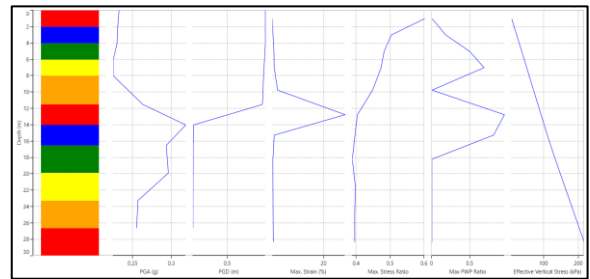
Şekil 11’de deprem kaydı ve analizde zeminde oluşan tepki spektrumları gösterilmektedir.



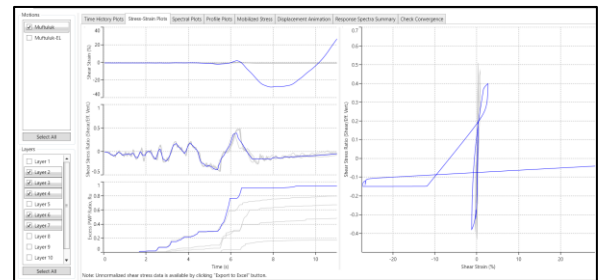
Şekil 11: %5 sönüm oranında tepki spektrumu

Boşluk suyu basıncı artışının dikkate alındığı analizlerde ise maksimum yatay zemin deformasyonu 865 mm olarak elde edilmiştir.

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları Şekil 12’de sunulmaktadır.



Şekil 12: Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları.



Şekil 13: Gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri.

Aşırı boşluk suyu basıncı oranı ( $R_u$ ) 1.0 değerine yaklaştığında zemin sıvılaşma potansiyeli yüksek olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 13'de gösterilen analiz sonuçları incelendiğinde özellikle 6 ve 7 numaralı tabakalarda aşırı boşluk suyu basıncı katsayısının ( $r_u$ ) 0.8–0.9 mertebesine kadar yükseldiği görülmektedir. Bu tabakalarda sıvılaşmanın gerçekleştiği ön görülmektedir.

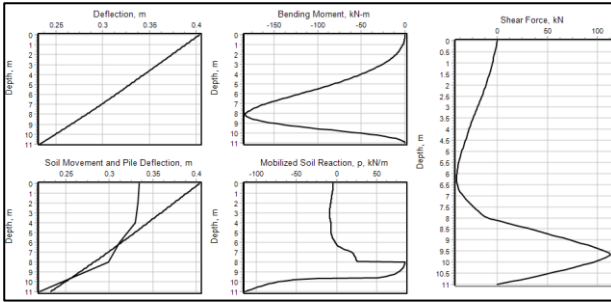
## 5. LPILE ANALİZİ

LPILE programı, zeminin dinamik yükler altında zemin-kazık etkileşimini incelemek için kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Müftülük Binası temel altı kazıkları incelenmesi amacı ile bir kazığın modeli kurulmuş olup sıvılaşmalı ve sıvılaşmasız durumlarda kazıkta oluşan moment, kesme kuvveti ve deplasman zemin hareketi göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

Kazıkların temel ile bağlantısı tespit edilmediği için analizde kazık üst ucu serbest bırakılmıştır.

### 5.1 Sıvılaşmasız Durum

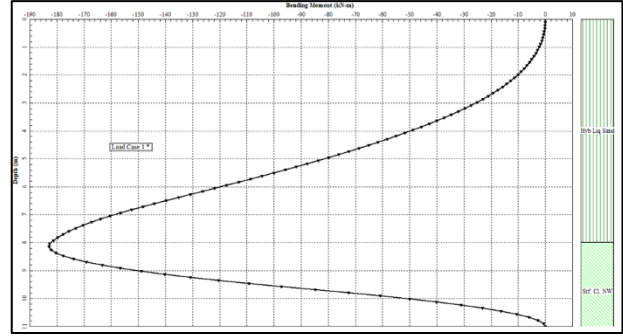
LPILE programı yardımı ile gerçekleştirilmiş olan sıvılaşma durumu dikkate alınmayan analizin sonuçları grafikler halinde Şekil 14'de gösterilmektedir.



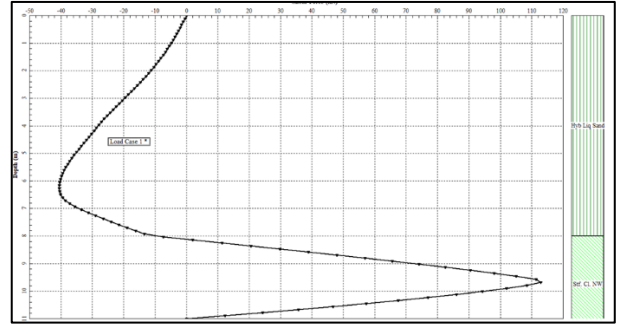
Şekil 14: Sıvılaşmasız durum analiz sonuçları.

Kazıkta meydana gelen maksimum yatay yer değiştirmenin zemin yüzeyine doğru doğrusal bir artış gösterdiği, okunan en büyük değer yaklaşık 40 cm olduğu ve kazık alt kotunda bu değerın sıfıra düştüğü görülmektedir. Kazıkta okunan maksimum moment değeri 183 kN.m ve maksimum kesme kuvveti değeri 112.7 kN'dur. Moment-derinlik ve kesme kuvveti-derinlik eğrileri

detaylı olarak Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmektedir.



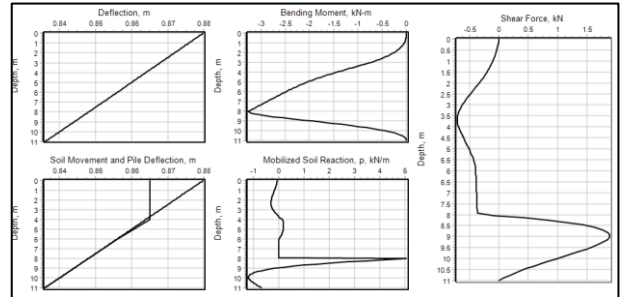
Şekil 15: Sıvılaşmasız durumda moment.



Şekil 16: Sıvılaşmasız durumda kesme kuvveti.

### 5.2 Sıvılaşma Durumu

LPILE programı yardımı ile gerçekleştirilmiş olan sıvılaşma durumu dikkate alınan analizin sonuçları grafikler halinde Şekil 17'de gösterilmektedir.



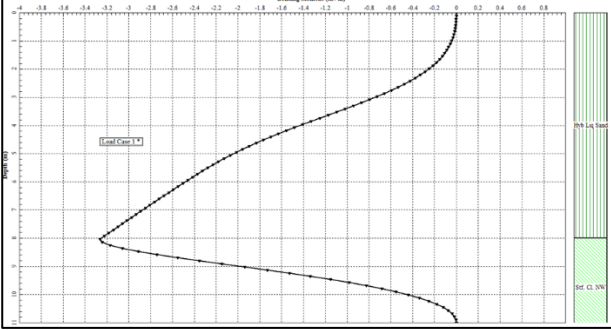
Şekil 17: Sıvılaşmalı durum analiz sonuçları.

Kazıkta ortaya çıkan maksimum deplasmanın zemin yüzeyine doğru doğrusal bir artış gösterdiği ve okunan en büyük değer yaklaşık 88 cm olduğu ve kazık alt kotunda bu değerın 83 cm'ye düştüğü görülmektedir. Kazıklar neredeyse tamamen sıvılaşan zemin içinde kaldığından soket boyu ve kazık rijitliği yetersiz kalmaktadır. Kazıkta okunan maksimum moment değeri 3.27 kN.m ve maksimum kesme kuvveti değeri 1.9 kN'dur. Maksimum moment, sıvılaşma görülen ve

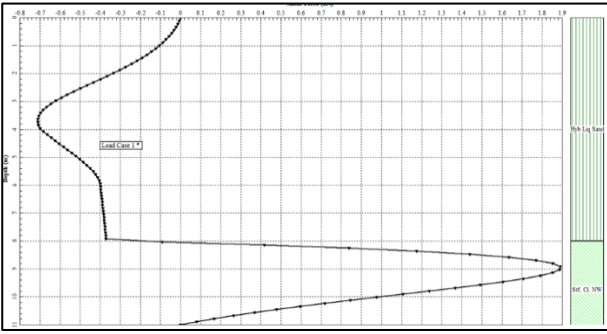


sıvılaşma görülmeyen zemin tabakaları arasındaki bölgede ortaya çıkmaktadır.

Moment-derinlik ve kesme kuvveti-derinlik eğrileri detaylı olarak Şekil 18 ve Şekil 19'da gösterilmektedir



Şekil 18: Sıvılaşmalı durumda moment.



Şekil 19: Sıvılaşmalı durumda kesme kuvveti.

Zemin hareketi ve kazık sapmasının derinliğe bağlı grafiğinde görülen davranış, kazıkların tamamen sıvılaşan zemin içinde kaldığını bu nedenle yüksek yatay deformasyonlara maruz kaldığını göstermektedir.

Sıvılaşmalı durumda kazıkta oluşan moment ve kesme kuvvetinin sıvılaşmasız durumda meydana gelen kuvvetlerin yaklaşık %1'i kadar olduğu görülmektedir. Deplasman değeri ise sıvılaşmasız durumda hesaplanan değer iki katından fazlasına çıkmaktadır. Sıvılaşma durumunda beklenen bu davranışın sebebinin zeminde meydana gelen sıvılaşma sonucu yer değiştirmenin kazıkların hareketini tetiklemesi ile birlikte kazıkların üzerindeki bina yükünü taşımayıp dinamik yükler altındaki zemin deformasyonuna karşı direnç gösterememesi şeklinde yorumlanmıştır.

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, dinamik yükler altında genellikle kumlu zeminlerde karşılaşılan sıvılaşma davranışı Kahramanmaraş depremlerinde Adıyaman ilinin

Gölbaşı ilçesinde bulunan Müftülük binasında meydana gelen hasar özelinde incelenmiştir.

Depremlerden hemen sonra sahada yapılan teknik araştırmalar ve deneylerin yardımıyla zemin profili ve parametreleri ortaya çıkarılmıştır. Oluşturulan zemin profili sıvılaşmadan kaynaklı olduğu düşünülen yapı hasarının incelenmesi için zemin davranışını irdelemek amacı ile DEEPSOIL programı, kazık-zemin etkileşiminin irdelenmesi amacı ile LPile programı yardımı ile analiz edilmiştir.

DEEPSOIL programı ile frekans alanında eşdeğer lineer ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yapılmış ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde aşırı boşluk suyu basıncı katsayısındaki artışın 1.0'e yaklaşması, ilgili kotlarda sıvılaşmanın gerçekleştiğine işaret etmektedir. CPT sonuçları kullanılarak NCEER tarafından önerilen yöntem ile yapılan sıvılaşma analizi sonuçları ise sıvılaşan tabakaların derinliğinin yaklaşık 12.5 metre derinliğe kadar devam ettiğini göstermektedir.

LPile programında elde edilen sonuçlarda kazıkta oluşan moment ve kesme kuvveti değerlerinde sıvılaşmasız duruma kıyasla ciddi bir azalma meydana geldiği görülmüş ve aynı durumda kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme değerinin yaklaşık iki katında çıktığı tespit edilmiştir. Kazıkların sıvılaşan zemin içerisinde kaldıklarından dolayı zeminin sıvılaşmasıyla birlikte zemine paralel bir hareket göstermiş olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum inceleme alanında meydana gelen sıvılaşmayı kanıtlar niteliktedir. Sıvılaşabilir tabaka olarak tanımlanan kumlu zemin katmanlarında sıvılaşma davranışının gerçekleştiği görülmekle birlikte sıvılaşabilir olarak tanımlanmayan katmanların da dinamik kuvvetlere maruziyeti ve üst ya da alt kotundaki zeminde gerçekleşen sıvılaşma davranışında kazığın zemin ile etkileşimdeki hareketine karşı direnç sağlamadığı görülmektedir.

Güvenli bir tasarım için yapı temelinin oturacağı zeminin yeterli sayıda saha ve laboratuvar deneyiyle incelenmesi, statik ve dinamik yükler altında bölgede meydana gelebilecek zemin deformasyonlarının belirlenip gerekliyse uygun yöntemlerle zemin iyileştirmesi yapılması, temel

altı kazıklarının tasarımı durumunda gerçekleştirilecek analizler sonucu yapı temeli ile bağlantılı olacak şekilde yeterli donatı kullanılarak imal edilmesi önerilmektedir.

**Yazar Katkısı:** Bu makale, Prof. Dr. Seyhan FIRAT ve Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK'ın "6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Zemin Davranışları: Vaka Analizi" başlıklı Yüksek Lisans tezinin gelişmesi amaçlanarak dinamik kuvvetler etkisi altında zemin davranışının ve kazık-zemin etkileşiminin irdelenmesi için hazırlanmıştır.

**Teşekkür:** Yazarlar Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile GeoDestek Zemin Araştırma Proje Müş. Yaz. Lab. Bilg. Sis. Enr. İnş. Tur. İth. İhr. Tic. ve San. Ltd. Şti.'ne yapılan saha çalışmaları için teşekkür ederler.

**Çıkar Çatışması:** Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmekteyiz.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2023, "06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbistan) Depremleri Saha Çalışmaları Ön Değerlendirme Raporu," Ankara. [Online]. Erişim: [deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Arazi\\_Onrapor\\_28022023\\_surum1\\_revize.pdf](https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Arazi_Onrapor_28022023_surum1_revize.pdf).
- [2] AFAD, 2023, "06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.7 - Mw: 7.6 Depremleri Raporu," [Online]. Erişim: [https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu\\_02.06.2023.pdf](https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf).
- [3] K. Özaydın, "Zeminlerde sıvılaşma," Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Oct. 2007, pp. 231-255.
- [4] K. Ö. Çetin, B. Söylemez, H. Güzel, E. Çakır, "Soil liquefaction sites following the february 6, 2023, Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequence," Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 22, no. 6, pp. 1-24, Mar., 2024.
- [5] Gazi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, 2023, "6 Şubat 2023 Kahramanmaraş - Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) Depremi Ön Değerlendirme Raporu," Ankara. [Online]. Erişim: [gazi.edu.tr/view/news/291874/gazi-demar-deprem-on-degerlendirme-raporu-nu-hazirladi](https://gazi.edu.tr/view/news/291874/gazi-demar-deprem-on-degerlendirme-raporu-nu-hazirladi).
- [6] Earthquake Hazards Program, 2024, [Online]. Erişim: [earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/](https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/).
- [7] E. Arpat, ve F. Şaroğlu, "Doğu anadolu fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler," MTADergi, vol. 78, 44-50, pp. 34-39, 1972.
- [8] A. O. Erol, Z. Çekinmez, "Standart Penetrasyon Deneyi, Konik Penetrasyon Deneyi," Yüksel Proje Yayınları, Ankara, 2014.
- [9] M. B. Darendeli, "Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves," Ph.D. Dissertation, University of Texas Austin, 2001.
- [10] DEEPSOIL User Manual V 7.0, 2024, [Online]. Erişim: [DEEPSOIL.cee.illinois.edu/Files/DEEPSOIL\\_User\\_Manual\\_v7.pdf](https://cees.illinois.edu/Files/DEEPSOIL_User_Manual_v7.pdf).
- [11] R. Dobry, "Some basic aspects of soil liquefaction during earthquakes," Earthquake Hazards and the Design of Constructed Facilities in the Eastern United States, vol. 558, pp. 172-182, Jun., 1989.
- [12] Türkiye İvme ve Veri Tabanı Analiz Sistemi, 2024, [Online]. Erişim: [tadas.afad.gov.tr/list-event](https://tadas.afad.gov.tr/list-event).