



Kahramanmaraş Depremlerinin Adıyaman-Gölbaşı Yerleşim Alanındaki Mühendislik Yapılarına Etkisi ve Deprem-Zemin Etkileşimi

The Effect of Kahramanmaraş Earthquakes on Engineering Structures in Adıyaman-Gölbaşı Settlement Area and Earthquake-Soil Interaction

HARUN ÜNAL ¹ , ZEYNAL ABİDDİN ERGÜLER ² 

¹ GEOMEK Mühendislik Geoteknik Proje Ltd. Şti, Konutkent, Ankara, Türkiye

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Geliş (received): 13 Haziran (June) 2023 Kabul (accepted): 21 Ağustos (August) 2023

ÖZ

Gölbaşı ilçesi şehir merkezi ve yakın çevresindeki yapılaşma genel olarak Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Gölbaşı-Türkoğlu segmenti ile ilişkili bir çek-ayır havzasının alüvyal çökelleri üzerinde yer almaktadır. Söz konusu bu segmentin önceki çalışmalarda sismik boşluk olarak değerlendirilmesi ve yıkıcı büyüklüklere sahip deprem üretme potansiyeli dikkate alınarak, günümüze kadar ilçenin imar planına yönelik kapsamlı birçok mühendislik çalışması gerçekleştirilmiştir. Ancak, 6 Şubat 2023 tarihinde büyüklükleri (Mw) sırasıyla 7.8 ve 7.7 olan Kahramanmaraş-Pazarcık ve Kahramanmaraş-Elbistan depremleri, Gölbaşı yerleşim alanı için yıkıcı sonuçlar doğurmuştur. İnşaat kalitesinden kaynaklanan hasarların yanı sıra, zemin sıvılaşması ve yanal yayılma gibi yüzey deformasyonları ile dayanım azalması sonucu taşıma gücü kaybı gibi zemin davranışından kaynaklanan binaların yıkılması, yan yatması veya batması ve tren raylarındaki deformasyonlar gibi önemli hasarlar da bölgede yaygın bir şekilde gözlenmiştir. Ayrıca, dinamik yükler altında gerçekleşen yanal yayılma ile beraber göl kıyı çizgisi de değişmiştir. Bu çalışma kapsamında, Kahramanmaraş depremlerinin Adıyaman-Gölbaşı yerleşim alanındaki mühendislik yapılarına etkisi ve deprem-zemin etkileşimi, sıvılaşma, yanal yayılma ve yanal yayılma sonucu göl kıyı çizgisinin değişimi ve sıvılaşan zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır ve Gölbaşı ilçesi yerleşim alanını kapsayan detaylı yerüstü ve yeraltı araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda, sıvılaşmanın gerçekleştiği noktalarda araştırma çukurları ile sondaj kuyuları açılmış, SPT deneyleri gerçekleştirilmiş ve sıvılaşan ve sıvılaşmayan zeminlerin fiziksel ve mekanik parametrelerin tespiti için örselenmiş ve örselenmemiş örnekler derlenmiştir. Arazi gözlemleri, arazi ve laboratuvar deney sonuçları ile yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, sıvılaşan zeminler için önerilen ölçütlerin dışında kalan zeminlerin Kahramanmaraş depremleri sırasında sıvılaştığı ve dayanım kaybına uğrayarak deformasyona uğradığı belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların sıvılaşma analizlerinde kullanılan yöntemlerdeki belirsizlik ve sınırlamaların anlaşılması açısından yararlı olacağı düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deprem-zemin etkileşimi, Gölbaşı, Kahramanmaraş depremleri, sıvılaşma, yanal yayılma

ABSTRACT

The construction in Gölbaşı district city centre and its vicinity are generally located on the alluvial deposits of a pull-apart basin associated with the Gölbaşı-Türkoğlu segment of the Eastern Anatolian Fault Zone (DAFZ). Considering this segment as a seismic gap in previous studies and its potential to generate earthquakes with destructive magnitudes, many comprehensive engineering studies have been carried out for the construction plan of the district until now. However, the Kahramanmaraş-Pazarcık and Kahramanmaraş-Elbistan earthquakes of magnitudes (M_w) 7.8 and 7.7, respectively, on February 6, 2023, had devastating consequences for the Gölbaşı settlement area. In addition to damages associated with construction quality, significant damages such as collapse, tilting or sinking of buildings and deformations of train tracks caused by ground behavior such as surface deformation like soil liquefaction and lateral spreading, and loss of bearing capacity due to decrease in strength were also widely observed in the region. In addition, the shoreline of the lake has also changed with the lateral spreading realized under dynamic loads. Within the scope of this study, the effects of Kahramanmaraş earthquakes on engineering structures in the Adıyaman-Gölbaşı settlement area and earthquake-soil interaction, liquefaction, lateral spreading and change of lake shoreline as a result of lateral spreading, and evaluation of physical and mechanical properties of liquefied soils were aimed, and detailed surface and subsurface investigations covering the settlement area of Gölbaşı district were carried out. For these purposes, test pits and boreholes were drilled at the locations where liquefaction occurred, SPT tests were carried out, and both disturbed and undisturbed samples were collected to determine the physical and mechanical parameters of liquefied and non-liquefied soils. Considering the results obtained from field observations, field and laboratory test results and analyses, it is determined that soils outside the recommended criteria for liquefiable soils liquefied and deformed with loss of strength during Kahramanmaraş earthquakes. It was thought that the results obtained in this study would be useful in understanding the uncertainties and limitations of the methods used in liquefaction analysis.

Keywords: Earthquake-soil interaction, Gölbaşı, Kahramanmaraş earthquakes, lateral spreading, liquefaction

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1313819>

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: zeynal.erguler@dpu.edu.tr

GİRİŞ

Gölbaşı ilçesinin imar planına yönelik çalışmalarında kullanılmak üzere günümüze kadar birçok kapsamlı araştırma gerçekleştirilmiştir (Şanverdi, 1992 ve 2005; Akıl, 2006; Akıl vd., 2008). Akıl vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada deprem riski açısından önemli olan bu sahanın jeolojik, jeofizik ve jeoteknik değerlendirmelerini kapsayan araştırmalara veri sağlanması amacıyla derinlikleri 15-25 m arasında değişen 21 adet sondaj çalışması gerçekleştirmiş olup, zeminlerin taşıma gücü, sıvılaşma ve oturma analizleri yaparak ilçe yerleşim alanının 1/2000 ölçekli mühendislik ve yerleşime uygunluk haritalarını imar planlamasına altlık oluşturacak şekilde hazırlamışlardır. Ayrıca,

Akıl vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Gölbaşı ilçesi sınırları içerisindeki alüvyonal zeminlerin tamamı için mühendislik önlemleri alınması zorunlu olduğu, orta dereceli bir sıvılaşma riskinin bulunduğu ve bu alanlarda yüzeyde hasar meydana getirebilecek sıvılaşmaların gerçekleşebileceği vurgulanmıştır. Ancak, Gölbaşı şehir merkezi ve yakın çevresini kapsayan ve ülkemizin ilgili kurumlarında çalışan yetkin mühendisler tarafından gerçekleştirilen bu çalışmaların çıktıklarına rağmen, son depremlerin yıkıcı etkisini ortadan kaldırılmasında dikkate alınmadığı anlaşılmıştır. Büyüklükleri (M_w) sırasıyla 7.8 ve 7.7 gibi yıkıcı değerlerde olan Kahramanmaraş Pazarcık ve Kahramanmaraş

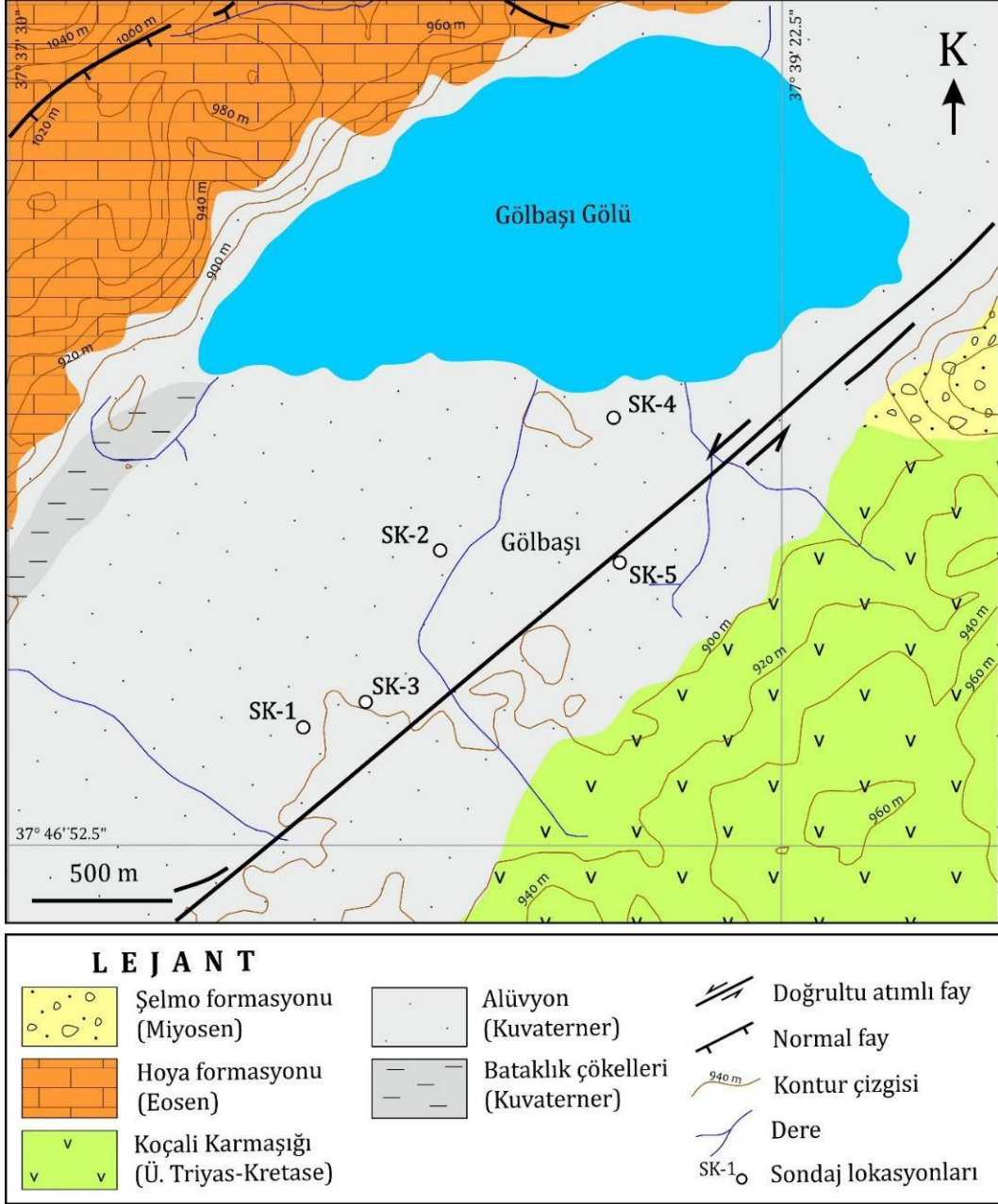
Elbistan depremleri, 6 Şubat 2023 tarihinde yaklaşık 9 saat ara ile gerçekleşmiştir. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Pazarcık ve Amanos Segmenti ve bu zonun dışında Çardak Fayı üzerinde gerçekleşmiş olan bu depremler bütün deprem bölgesinde olduğu gibi, Adıyaman Gölbaşı yerleşim alanı içerisindeki yapılaşma açısından da oldukça yıkıcı olmuştur.

Gölbaşı ilçesindeki yapılaşma genel olarak gevşek durumdaki güncel alüvyonal çökeller üzerinde gerçekleştirilmiş olup, bu birimlerdeki yeraltı su seviyesinin oldukça sığ konumda olduğu bilinmektedir. Çalışma sahasındaki sığ yer altı su seviyesi ve güncel alüvyal çökellerin varlığı, depremler sonrasında deprem-yapı etkileşimi, sıvılaşma, yanal yayılma ve yanal yayılma sonucu göl kıyı çizgisinin değişimi ve sıvılaşan zeminlerin fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesinin, gelecekte olabilecek depremlerden önce alınması gereken tedbirler açısından yararlı olacağı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, Kahramanmaraş depremleri sonrasında, bölgedeki depremin etkisinin belirlenmesi amacıyla Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi yerleşim alanını kapsayan detaylı yerüstü ve yeraltı araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar kapsamında, öncelikle deprem sonrası yapılarda meydana gelen hasar durum analizleri yapılmış ve hasarların oluş nedenleri zemin dinamiği açısından incelenmiştir. Özellikle sıvılaşma ve yanal yayılma sorunlarının gözlemlendiği beş ayrı noktada alüvyon zeminde yirmi metrelik sondajlar yapılmış olup, belirli aralıklarla standart penetrasyon deneyi uygulanmış ve örneklemeler gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu arazi çalışmaları, gözlemleri, deneyleri ve alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen

değerlendirmeler aşağıda alt bölümlerde sunulmuştur.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK VE TEKTONİK ÖZELLİKLERİ İLE DEPREMESELLİĞİ

Adıyaman ilinin Gölbaşı ilçesini oluşturan yapılaşmanın önemli bir kısmı güncel Kuvaterner çökelleri üzerinde yer almaktadır. Önceki çalışmalar (Yönlü, 2012) da dikkate alındığında, bölgede genel ölçekte Miyosen öncesi kaya birimler ile Holosen, Pliyosen ve Pleistosen'de farklı süreçler ile oluşmuş zemin birimleri yüzeylemektedir. Çalışma alanı ve yakın çevresinin temel kayalarını Üst Kretase yaşlı silisli şeyli, killi kireçtaşı, kireçtaşı ve çörtlerden oluşan Karadut karmaşığı oluşturmaktadır. Bu formasyon daha yaşlı jeolojik birimlerin üzerinde tektonik dokanak ile yerleşmiştir. Karadut Karmaşığının üst kısımlarını Germav formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Çalışma alanının kuzey batı kesiminde Alt Oligosen yaşlı ince-orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşan Hoya formasyonu bulunmaktadır. Çalışma alanının doğu bölgesinde ise orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşan Orta Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu yüzeylemektedir. Bu Miyosen öncesi birimlerin üzerine bölgenin zemin dinamiği açısından da önemli olan yamaç molozu ve alüvyal yelpazeden oluşan kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin malzemeleri bulunmaktadır (Şekil 1). Bölgede bulunan alüvyon malzemesi kırmızımsı kahverengi ince (kil, silt) ve iri (kum ve çakıl) tane boyu malzemeden oluşmaktadır. Şekil 2'de de görüldüğü gibi, çakıl ve kum tane boyu malzemeden oluşan seviyeler arasında silt ve kil tane boyu malzemeden oluşmuş ara tabakalar yer yer eşlik etmekte olup, söz konusu bu seviyeler kendi aralarında düzensiz bir şekilde ardalanmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının ve yakın çevresinin jeolojisi (Herece (2008)'den uyarlanmıştır).

Figure 1. Geology of the study area and its vicinity. (modified from Herece (2008)).



Şekil 2. Çalışma bölgesindeki alüvyal çökellerin iki farklı lokasyondaki zemin profilleri.

Figure 2. The soil profiles of the alluvial deposits in the study area at two locations.

Deprem üretme açısından önemli olan ve doğuda Karlıova yakınlarında başlayıp güneybatıya doğru Akdeniz'e uzanan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) çalışma alanının merkezinden geçmesi açısından önemlidir. Yönlü (2012) tarafından da vurgulandığı gibi, DAFZ, fay doğrultusundaki değişimler ve sıçrama yaptığı yerler temel alınarak birçok araştırmacı tarafından farklı segmentlere ayrılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma alanının jeolojik birimlerinin tektonizmasını ve dolayısıyla bölgenin depremselliğini Şaroğlu vd. (1987) tarafından ayrılan Gölbaşı-Türkoğlu segmenti etkilemektedir. Genel olarak K55D uzanımlı bu segment 90 km uzunluğunda doğrudan atımın yanında sıkışma bileşeni de içermektedir (Yönlü, 2012). Gölbaşı ilçesi DAFZ'na paralel olarak kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı bir vadi boyunca uzanmaktadır. Havza, Gölbaşı-Türkoğlu segmenti arasında sola sıçramalı bir yapıda "çek-ayır (pull-apart)" şeklinde bir havza olarak açılmıştır (Akıl vd.,

2008). İlçenin üzerinde bulunduğu dar vadi güncel oluşmuş birikinti düzlükleri ve diğer kısımları ise küçük dağlar ve engebeli arazilerle kaplıdır. Çalışma alanının ve özellikle depremde hasara uğrayan bölgenin önemli bir kısmının eğim değerleri % 0 ile %10 arasında değişim göstermektedir.

Çalışma bölgesinin de bulunduğu DAFZ etkisindeki bölgede tarih boyunca birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Ancak söz konusu bu depremlerin çok geniş alanda hissedilmeleri nedeniyle deprem merkez üssü konusunda belirsizlikler söz konusudur. Akıl vd. (2008) tarafından 15 yıl önce gerçekleştirilen mühendislik çalışmasında tarihsel deprem kayıtları temel alınarak bu fay zonunun farklı segmentleri üzerinde son yüzyılda büyük ve yıkıcı depremin gelişmediğini, dolayısıyla fay zonunun gelecekte yıkıcı depremlerin riski altında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Demirtaş ve Yılmaz (1996) Gölbaşı-Türkoğlu

arasında kalan kesimi sistem içerisinde yer alan önemli sismik boşluklardan bir tanesini oluşturduğunu da vurgulamıştır. Bölgede aletsel dönemde kaydedilen önemli depremler ise 1905 Malatya (M=6.8), 1964 Malatya (MS=6.0), 1971 Bingöl (M=6.8), 1977 Palu (M=5.1), 1986 Malatya (MS=5.8), 1986 Malatya (MS=5.6), 2003 Pülümür (MS=5.8), 2003 Bingöl (MS=6.4), 2010 Elazığ (Mw = 6.0), 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.8) ve 2023 Kahramanmaraş-Elbistan (Mw=7.7) şeklinde sıralanmaktadır.

ARAZİ GÖZLEMLERİ VE ÇALIŞMALARI

2023 Kahramanmaraş depremlerinin Gölbaşı yerleşim alanındaki yapılaşma üzerindeki etkileri

6 Şubat 2023 tarihinde yaklaşık 9 saat ara ile 04.17'de ve 13.24'te merkez üssü Kahramanmaraş Pazarcık ve Kahramanmaraş Elbistan olan iki ayrı yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri (Mw) sırasıyla 7.8 ve 7.7 olarak kaydedilmiştir. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Pazarcık ve Amanos Segment ve bu zonun dışında Çardak Fayı üzerinde gerçekleşmiş olan bu depremlerde KD-GB uzanımlı Gölbaşı-Türkoğlu segmentinin de kırıldığı değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesinde yapılan arazi gözlemlerinde, deprem sonrası Gölbaşı-Türkoğlu segmentinde oluşan yüzey kırıklarındaki atım değerlerinin yaklaşık 4 metre civarında olduğu saptanmıştır (Şekil 3). Bu denli yüksek atımlarda deformasyonların gözlemlendiği yerde, kaya birimlerin üzerinde doğrudan inşa edilen ve çoğunlukla az katlı binalarda genellikle herhangi bir hasar tespit edilmemiştir. Ancak, pekişmemiş alüvyonal zemin üzerinde inşa edilen yapılarda önemli oranda hasarlar meydana gelmiştir. Bu depremler sonucu Gölbaşı ilçesinde hasar görmeyen ve tamamen yıkılan binaların

yerleşim alanı içerisindeki genel dağılımı Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 4'te sunulan ve tamamen yıkılan binaların konumları uygu görüntüleri kullanılarak tespit edilmiş olup, bu hasarların dışında binanın düşeyden sapsması, sivilaşma nedeniyle ani oturma, yan yatma ve eğilme gibi hasarlar uydu görüntülerinden tespit edilemediğinden bu şekilde sunulmamıştır. Bölgedeki en yoğun hasar göl kıyı şeridinin güneyi ile ilçe merkezinde geçen Balkar-Erkenek karayolu arasında gerçekleşmiştir. Söz konusu bu hasarlı yapıların olduğu bölgede yapılan detaylı çalışmalarda, yapılarda gözlenen hasarların önemli bir kısmının zemin sivilaşması sonrası taşıma gücü kaybı ve sonrasında oluşan yanal yayılmadan kaynaklandığı saptanmıştır. Bölgedeki zemin sivilaşma olgusu genel olarak kum kaynaması ve deprem sonrası oluşan çatlaklardan zeminin yukarı doğru çıkarak sığ derinliklerde kalmasından kaynaklanan zemin deformasyonları şeklinde gözlenmiştir (Şekil 5). Bu yüzey deformasyonlarına bağlı olarak birçok binada düşeyden sapma ve yan yatma gibi sorunlar da tespit edilmiştir (Şekil 6). Bodrum katı bulunmayan bu yapıların batan kısımlarının gerek yeraltısuyu gerekse şebeke suyunda meydana gelen hasarlar nedeniyle suyla dolu olduğu saptanmıştır. Sivilaşma sırasında ağır mühendislik yapılarında meydana gelen bu hasarların yanı sıra, gömülü kanalizasyon yapıları gibi hafif alt yapı elemanları da zemin yüzeyine yükselerek hasarlara maruz kalmışlardır.

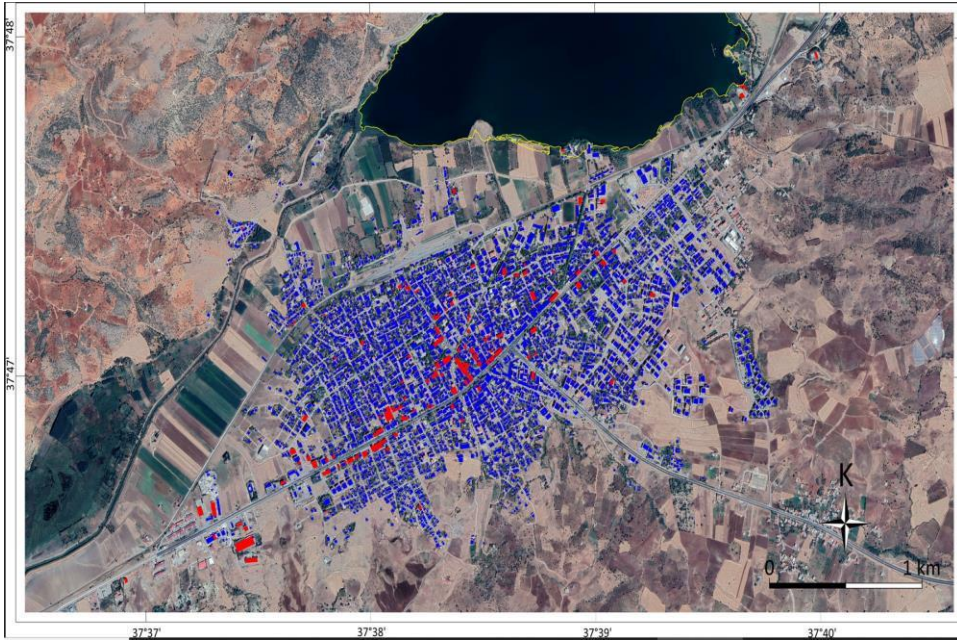
Yanal yayılma ve göl kıyı çizgisinin değişimi

Yanal yayılma tekrarlı yükleme koşullarında güncel gevşek kumlu ve siltli çökellerden oluşan az eğimli (% 0.3 - %5) alanlarda veya deniz, göl ve nehir gibi serbest yüzeylere doğru gelişen yaygın bir sivilaşma kaynaklı zemin yenilmesi türüdür. Yanal yayılmaya maruz kalan zeminlerde deformasyon miktarı birkaç



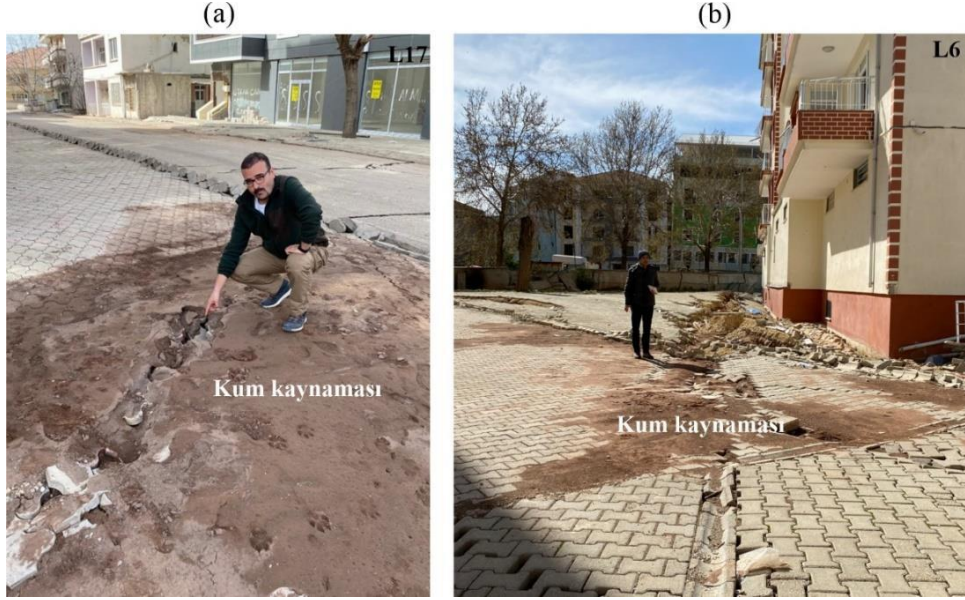
Şekil 3. Gölbaşı-Türkoğlu segmentinde tespit edilen 4 metreye ulaşan atım değerleri ve hasarsız yapılar.

Figure 3. Displacements up to 4 meters and undamaged structures detected on the Gölbaşı-Türkoğlu segment.



Şekil 4. Kahramanmaraş depremleri sonucu genellikle alüvyonal zemin üzerinde bulunan Gölbaşı yerleşim alanında meydana gelen yapı hasarlarının uygu görüntülerinde belirlenen genel dağılımı (mavi rengi hasarsız binaları kırmızı rengi ise tamamen yıkılmış hasara uğrayan yapıları göstermektedir (Görüntü: Google, 2023 CNESS / Airbus).

Figure 4. General distribution of building damages in Gölbaşı settlement area, generally located on alluvial soil, as a result of Kahramanmaraş earthquakes (blue colour shows undamaged buildings and red colour shows completely destroyed and damaged buildings (Map data: Google, 2023 CNESS / Airbus).



Şekil 5. Sıvılaşma sonrası bölgede gözlenen kum kaynamalarının tipik örnekleri: a) SK-1 sondajın yapıldığı Balkan Otel'i yanı, b) SK-2 sondajın yapıldığı yer (Yeşilay sitesi).

Figure 5. Typical examples of sand boils observed in the region after liquefaction: a) next to the Balkan Hotel, where the SK-1 borehole was drilled, b) the location of the SK-2 borehole (Yeşilay site).

santimetreden birkaç metreye kadar ulaşabilmekte olup, bu zemin yenilmesi binalara, köprülere, boru hatlarına ve diğer altyapı unsurlarına önemli zararlar verebilmektedir (Kramer, 2013). Bu yenilme sonucu zeminlerde yatay yer değiştirme yekpare veya bloklar halinde gerçekleşir.

Athanasopoulos vd. (2020) 2014 Kefalonya (Cephalonia) depremleri ($M_w=6.1$ ve 6.0) sonucunda en büyük kümülatif yatay yer değiştirmelerin, kesit konumuna ve serbest yüzün yüksekliğine bağlı olarak 3 cm ile 152 cm arasında değiştiğini, kıydan iç kesimlere doğru azaldığını ve yanal yer hareketinden etkilenen kısımların iç kesimlerde lokasyonlara bağlı olarak 10 m ile 90 m arasında değiştiğini vurgulamıştır. Bir önceki bölümde verilen sıvılaşma sonucu zeminlerde oluşan taşıma gücü kaybı bağlı olarak yapılarda saptanan batma, oturma, yan yatma veya devrilme gibi

yaygın hasarların yanı sıra, göl kıyı çizgisine yakın olan yerlerdeki mühendislik yapılarında yanal yayılma kaynaklı önemli hasar ve deformasyonlar da tespit edilmiştir. Hamada vd. (1986), Japonya'da gerçekleşen 1964 Niigata ve 1983 Nihonkai-Chubu depremleri sonucu meydana genel yatay yer değiştirmelerini haritalamak için bu depremlerin öncesi ve sonrası hava fotoğraflarını kullanmıştır. Benzer yöntem bu araştırmada da kullanılarak, çalışma sahasında yanal yayılmanın olduğu yerlerde deprem öncesi ve deprem sonrası uydu görüntüleri karşılaştırmış olup, yatay yanal yer değiştirmenin yaklaşık 7.4 m. ortalama bir değer ile 2.8 ile 12.6 m. arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. Söz konusu bu yanal yayılma sonucu göl kıyı çizgisinde önemli oranda değişim meydana gelmiştir. Göl kıyı çizgisinde meydana gelen bu değişim ve yanal yayılma



Şekil 6. Kahramanmaraş depremleri sonrası binaların ani oturması ve yan yatmasına ilişkin örnekler.

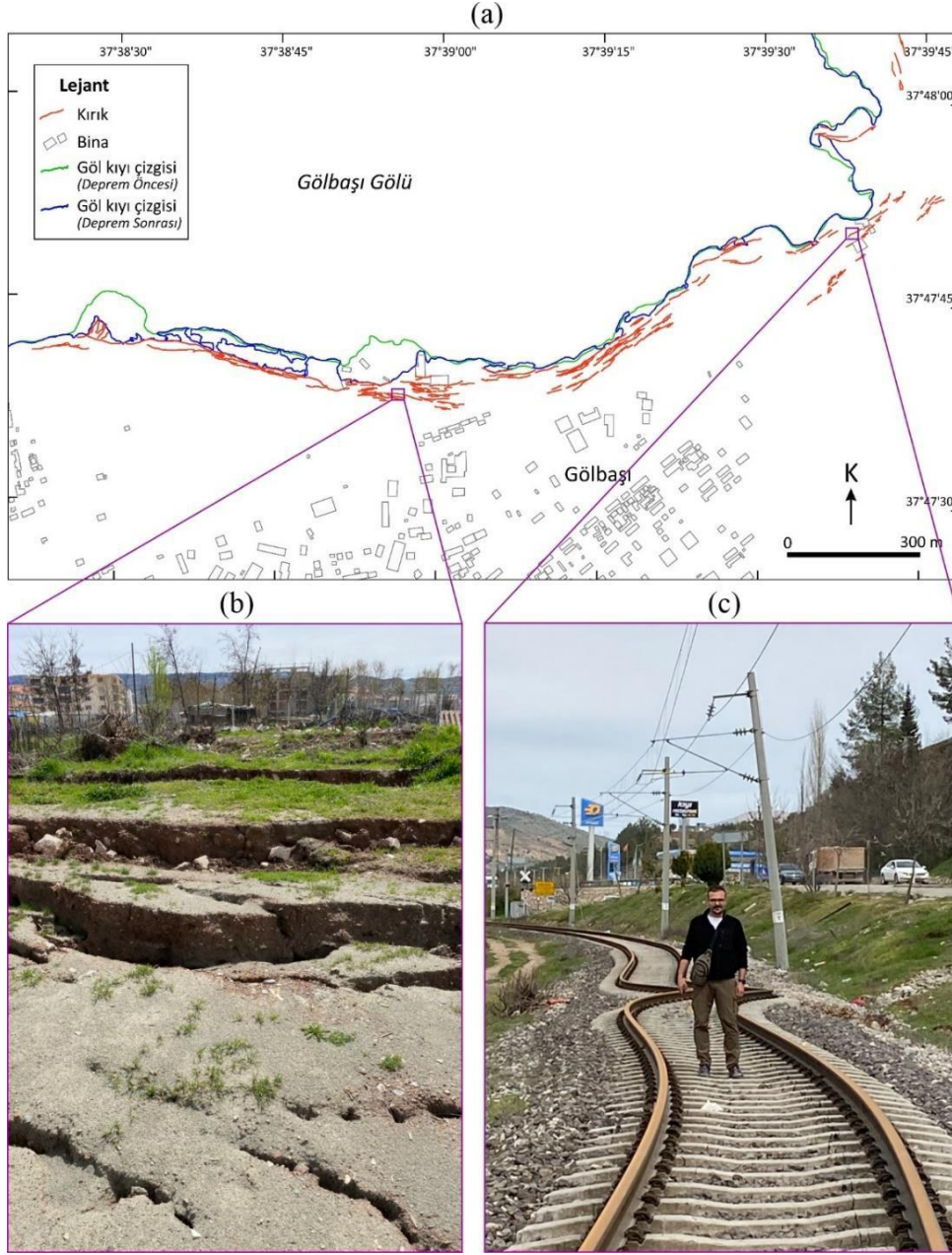
Figure 6. Examples of sudden settlement and tilting of buildings after Kahramanmaraş earthquakes.

sonucu oluşan çatlakların konumları Şekil 7a'da verilmiştir. Uydu görüntülerinden de gözlenebilen bu çatlaklardan tipik bir görüntü Şekil 7b'de sunulmuştur. Göle yakın inşa edilen Adıyaman Üniversitesi Gölbaşı MYO binalarında, parklarda, dinlenme tesislerinde ve göle yakın geçen tren raylarında önemi oranda hasar ve deformasyonlar kaydedilmiştir (Şekil 7c). Şekil 7c'de tren raylarında gözlenen deformasyonların daha yakın görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir. Tren raylarında deprem sırasında oluşan bu deformasyonun oluşmasında, yanıl yayılmanın yanı sıra ilgili

noktada geçen fay segmentinin (Reitman vd., 2023) de etkili olduğu değerlendirilmiştir

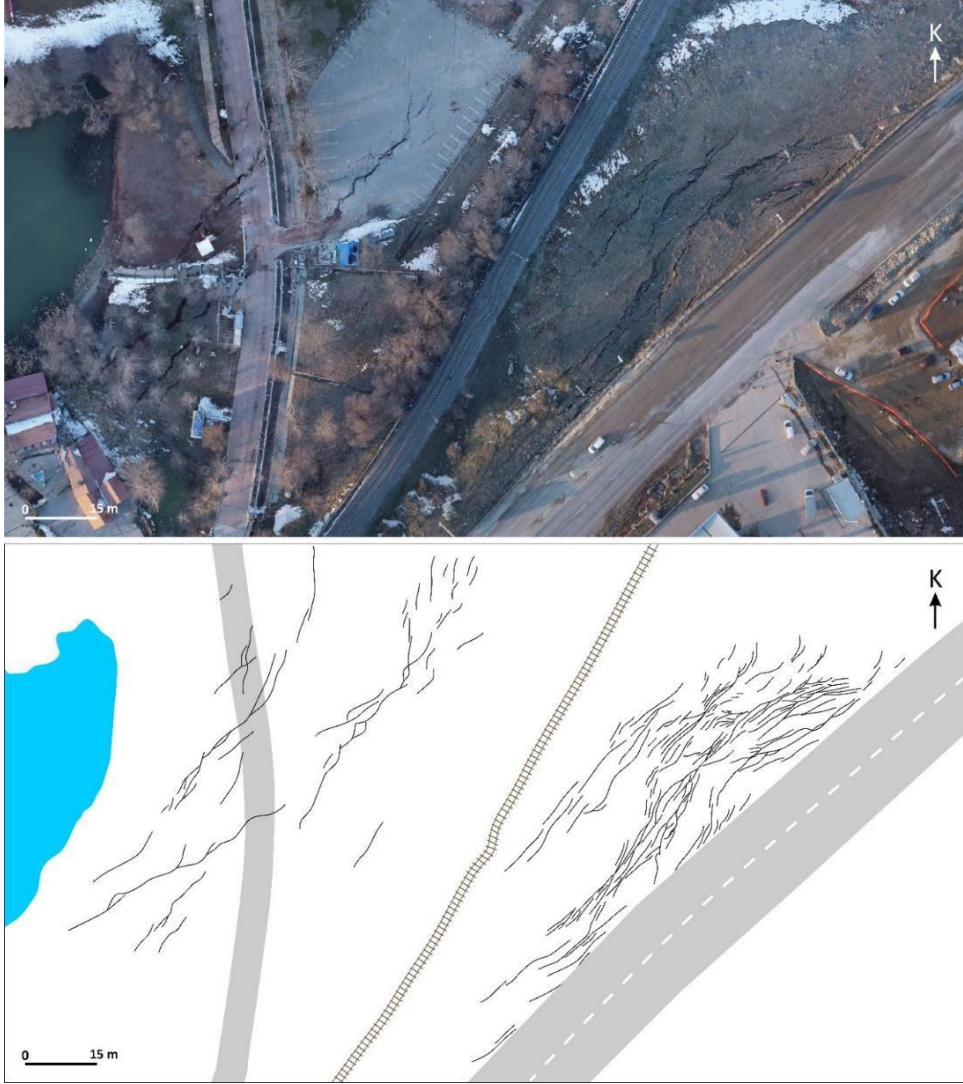
Bölgede sıvılaştıran zeminlerin fizikomekanik özellikleri

Jeolojik ölçütler, yoğunluk ve gerilim ile hidrojeolojik koşullarının yanı sıra, zemin sıvılaşması değerlendirmesinde zemin bileşimiyle ilgili ölçütler dikkate alınmaktadır. Seed (1968) tarafından da belirtildiği üzere, sıvılaşma davranışı en yaygın olarak doymuş siltli kumlarda ve ince kumlarda meydana gelir. Zeminlerin tane boyu arttıkça sıvılaşmaya karşı



Şekil 7. a) Yanal yayılma sonucu göl kıyı çizgisinde meydana gelen değişim ve oluşan çatlakların konumları, b) yanıl yayılma sonucu zeminde bloklar halinde gerçekleşen yenilme ve c) tren raylarında yanıl yayılma ve fay segmenti kaynaklı deformasyonlar.

Figure 7. a) Changes in the lake's shoreline due to lateral spreading and locations of the cracks, b) lateral spreading induced failure of the soil in blocks and c) lateral spreading and fault segment-induced deformations in the train rails.

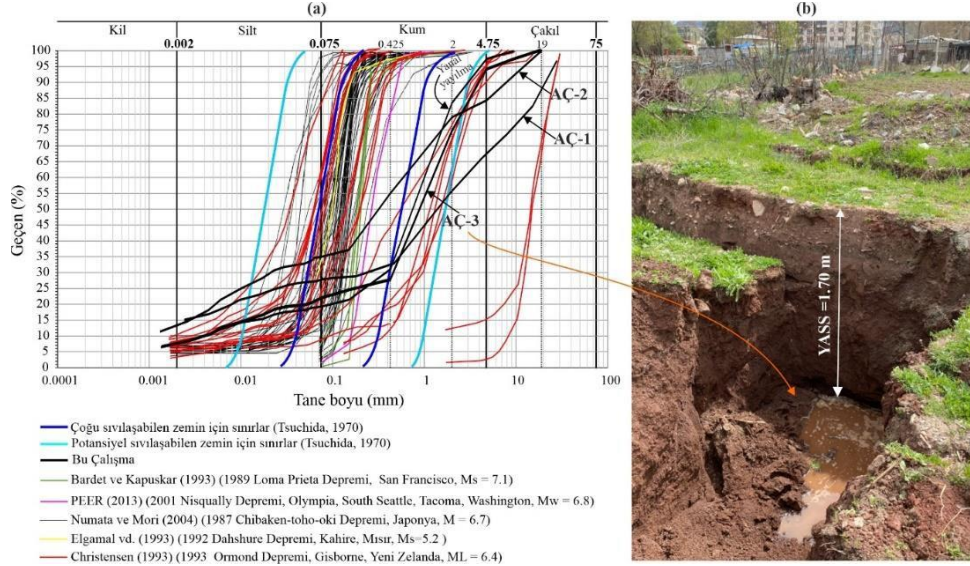


Şekil 8. Tren rayları yakın çevresinde deprem sırasında gelişen deformasyonlar.

Figure 8. The earthquake-induced deformations developed near the train rails.

direnci drenajın artması nedeniyle artar ve benzer şekilde ince taneli zeminlerde kohezyonun artmasına bağlı olarak sıvılaşmaya karşı direnç de artar (Numata ve Mori 2004). Tsuchida (1970) tane boyutu dağılım eğrilerinin zeminlerin sıvılaşma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek için Japonya'da gerçekleşen önceki depremde

sıvılaşabilen zeminler üzerinde kapsamlı bir araştırma yürütmüş olup, Şekil 9a'de gösterilen "çoğu sıvılaşabilen" ve "potansiyel sıvılaşabilen" zeminler için tane boyutu dağılım sınırlarını önermiştir. Dünya genelinde meydana gelen depremlerde sıvılaşan bazı zeminlerde alınan örneklerin tane boyu dağılım grafikleri Şekil 9a'de verilmiştir.



Şekil 9. a) Kahramanmaraş ve diğer farklı depremlerdeki kum kaynamalarından alınan örneklerin tane boyu dağılım eğrileri ile sıvılaşabilen ve sıvılaşamayan zeminleri ayırt etmek için kullanılan sınırlar, b) zemin profili ve örnekleme için araştırma çukurunun açılması ve bu araştırma çukurunda gözlenen yeraltı suyu seviyesi.

Figure 9. a) The grain size distribution curves of samples taken from sand boils in Kahramanmaraş and other different earthquakes and the boundaries used to distinguish liquefiable and non-liquefiable soils, b) the soil profile and the opening of the investigation pit for sampling and the groundwater level observed in this investigation pit.

Kahramanmaraş depremleri sonucu Gölbaşı yerleşim yerinde sıvılaşan zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti ve derinliğe bağlı değişiminin saptanması amacıyla, çalışma sahasında sıvılaşma ve yanal yayılma etkilerinin yoğun yaşandığı beş lokasyonda (Şekil 1) yirmişer metre derinliğe sahip sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. SK-1, SK-2 ve SK-5 no.lu sondaj kuyularının bulunduğu yerde kum kaynaması ve sıvılaşma kaynaklı deformasyonlar gözlenirken, SK-4 no.lu sondaj kuyusunun bulunduğu yerde ise zemin malzemesi önemli oranda yanal yayılmadan kaynaklanan deformasyona uğradığı saptanmıştır. Sondaj kuyularında tespit edilen yeraltı su seviyesi değerleri 1.10 ile 1.30 m arasında değişmekte olup, bu denli sıg yeraltı su seviyesi derinliği dinamik yükler altında zemin davranışı değişimi için uygun koşulları

oluşturmaktadır. Bu sondajların yanı sıra, kum kaynamaları gibi zemin sıvılaşma izlerinin gözlemlendiği üç lokasyonda araştırma çukurları açılmış (Şekil 9b), sıvılaşma davranışı gösterme potansiyeline sahip seviyelerden (kohezyonsuz kumlu siltli kısımlardan) örnekler alınmıştır. Ayrıca, yanal yayılmanın tespit edildiği yerde gerçekleşen yenilme sonucu açığa çıkan zemin malzemesinden benzer amaçlarla örnekleme gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma çukurlarında yeraltı su seviyesi değerlerinin sondaj kuyularında olduğu gibi oldukça sıg ve sıvılaşma için uygun koşulları oluşturacak şekilde 0.9 ile 2.3 arasında değiştiği saptanmıştır (Şekil 9b). Benzer şekilde bölgede daha önce Akil vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen jeoteknik çalışmada ise yeraltı su seviyesi derinliğinin 0.65 ile 3.5 m. arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir.

Sondaj kuyularında her 1.5 metrede bir standart penetrasyon deneyi gerçekleştirilmiş, SPT tüpü ile alınan örselenmemiş örnekler tane boyu dağılımı ve kıvam limitlerinin belirlenmesinde kullanılmış olup elde edilen sonuçlar ve değişim aralıkları Tablo 1'de verilmiştir. Sıvılaşmaya uğrayan bu zeminlerin sınıflamaları için Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması Sistemi (USCS) dikkate alınmıştır. Ayrıca, her sondaj kuyusunda UD tüpleri ile alınan temsili örneklerin birim hacim ağırlık ve makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir (Tablo 1). Tablo 1'de verilen makaslama dayanım parametrelerinden de anlaşılacağı üzere, söz konusu UD tüpleri ile alınan bu örneklerin alındığı seviyelerin kohezyonlu zeminler olduğu değerlendirilmiştir. SK-1, SK-2 ve SK-3 no.lu lokasyonlarda alınan siltli kum (SM) ve killi kum (SC) olarak sınıflandırılan örnekler üzerinde gerçekleştirilen doğrudan makaslama deneylerinde kohezyon değerlerinin 7.8 kPa ile 32.4 kPa arasında, içsel sürtünme açısı değerlerinin ise de 14°-21° arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. SK-4 ve SK-5 no.lu sondaj kuyularında alınan yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılan örneklerin üç eksenli sıkışma deneyi (UU) ile belirlenen ortalama kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin sırasıyla 53 kPa ve 6° olduğu saptanmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında, SK-1, SK-2, ve SK-5 no.lu sondaj kuyularının bulunduğu noktalarda sıvılaşma kaynaklı kum kaynamaları ve zemin deformasyonları gözlenmiştir. SK-1 no.lu sondajın ilk 10 metresinde siltli kum (SM), 10.45-16.00 metreleri arasında killi çakıl (GC) ve daha sonra yüksek plastisiteli kil (CH) şeklinde değişim göstermektedir. SK-2'nin ilk 6 metresinde siltli kum (SC), 6-11 metre arası siltli kum daha sonra killi kum ve siltli kum (SM) şeklinde devam etmiştir. Ancak, deprem kaynaklı yoğun deformasyonların kaydedildiği

SK-5 no.lu sondaj kuyusunda alınan örneklerin tamamı düşük ve yüksek plastisiteli kil (CL ve CH) olarak sınıflandırılmıştır. Sıvılaşmanın gözlemlendiği bu lokasyonların SM olarak sınıflandırılan seviyenin dışında kalan kısımların likit limit değerleri %42.6 gibi ortalama bir değer ile %33.8 ile %56.3 arasında değişim göstermekte olup, plastik limit değerleri ise %21.5 ortalama bir değer ile %17.6 ile %25.9 arasında değişmektedir. Yanal yayılmanın yaşandığı SK-4 no.lu sondajın ilk 13 metresindeki örnekler yüksek plastisiteli kil (CH) ve daha sonra kuyu tabanına kadar düşük plastisiteli kil (CL) olduğu belirlenmiştir. Bu lokasyonun kıvam limitleri oldukça yüksek değerlerde olup, likit limit değerinin %61.2'e kadar çıkmaktadır. Kum kaynaması gibi göstergelerin tespit edildiği yerlerde açılan üç ayrı araştırma çukurundan alınan temsili örnek üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, bu zeminlerin killi kum (SC) olduğu ve likit limit değerlerinin 31.4 ile 35.5 ve plastik limit değerlerinin ise 19.7 ile 21.7 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Araştırma çukurlarında alınan örneklerin tane boyu dağılım grafikleri ise Şekil 9a'da sunulmuştur. Şekil 9a'da da anlaşılacağı üzere, sıvılaşan zeminler önemli oranda çakıl ve ince tane boyu malzeme içermekte olup, Tsuchida (1970) tarafından önerilen sınırların da dışına çıkabilmektedir.

Seed vd. (1983), Wang (1979) tarafından sunulan Çin'deki verileri temel alarak deprem sarsıntılarının sonucu killi zeminlerin önemli oranda dayanım kaybına maruz kaldığını belirtmişlerdir. Bu araştırmaya göre, kil içeriği (<0.005 mm) <%15, likit limit (LL) <%35 ve su içeriği >0.9×LL koşullarının sıvılaşma için kriter alınabileceğini vurgulamışlardır. Ancak, Bray vd. (2004) LL > 35 olan çok sayıda zeminin orta derecede sıvılaşma duyarlı olduğunu tespit ettiğinden, LL < 35 koşulunun mutlak bir standart olarak kullanılmasının doğru

Tablo 1. Örneklerin kıvam limitleri, birim hacim ağırlık ve makaslama dayanım parametreleri.**Table 2.** Consistency limits, unit weight and shear strength parameters of the samples.

Yanal Y.: yanal yayılma sonucu açığa çıkan zeminden alınan örnek; LL: likit limit; PL: plastik limit; NP: kohezyonsuz seviyeler; γ : birim hacim ağırlık; İTB: ince tane boyu (200 no.lu eleği geçen); c: kohezyon; ϕ : içsel sürtünme açısı; ^a: doğrudan makaslama deneyi ile belirlenmiştir, ^b: üç eksenli sıkışma deneyi (UU) ile belirlenmiştir;

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	γ (kN/m ³)	Kil (%)	Silt (%)	Çakıl (%)	İTB (%)	LL (%)	PL (%)	USCS	c (kPa)	ϕ (°)							
SK-1	SPT-1	1.50-1.95	17.60																
	UD-1	2.50-3.00											5.7	23.3	NP	SM			
	SPT-2	4.50-4.95											2.6	19.6	NP	SM			
	SPT-3	6.00-6.45	10.3										17.5	NP	SM				
	SPT-4	7.50-7.95	4.7										25.2	NP	SM				
	SPT-5	9.00-9.45	21.2										14.8	NP	SM				
	SPT-6	10.50-10.95	6.1										19.9	NP	SM				
	SPT-7	12.00-12.45	40.6										25.8	37.4	18.6	GC			
	SPT-8	13.50-13.95	12.3										17.2	44.6	29.5	39.1	19.9	GC	
	SPT-9	15.00-15.45	12.8										17.4	38.9	30.2	37.7	18.4	GC	
	SPT-10	16.50-16.95	47.1										38.1	1.3	85.2	54.6	25.2	CH	
	SPT-11	18.00-18.45	42.9										35.0	2.1	77.9	55.1	24.6	CH	
SPT-12	19.50-19.95	50.2	38.1	0.9	88.3	56.3	25.9	CH											
SK-2	SPT-1	1.50-1.95	17.90																
	SPT-2	3.00-3.45											2.5	29.9	34.4	19.3	SC		
	UD-1	4.00-4.50											5.1	33.3	35.2	17.9	SC		
	SPT-3	4.50-4.95	4.7										35.1	33.9	18.8	SC			
	SPT-4	6.00-6.45	9.4										27.9	36.1	19.0	SC			
	SPT-5	7.50-7.95	2.2										23.3	NP	SM				
	UD-2	8.00-8.50	5.1										25.1	NP	SM				
	SPT-6	9.00-9.45	1.9										22.3	NP	SM				
	SPT-7	10.50-10.95	4.7										24.4	NP	SM				
	SPT-8	12.00-12.45	5.6										19.9	NP	SM				
	SPT-9	13.50-13.95	11.2										30.4	33.8	18.6	SC			
	SPT-10	16.50-16.95	7.4										29.9	37.2	19.6	SC			
SPT-11	18.00-18.45	15.8	33.9	34.4	17.6	SC													
SPT-12	19.50-19.95	11.3	35.2	35.3	19.9	SC													
SK-3	SPT-1	1.50-1.95	18.20																
	SPT-2	3.00-3.45											2.5	34.2	36.4	20.3	SC		
	UD-1	4.00-4.50											4.2	37.1	36.1	22.2	SC		
	SPT-3	4.50-4.95	1.7										33.8	37.2	21.3	SC			
	SPT-4	6.00-6.45	8.4										40.2	39.1	19.6	SC			
	SPT-5	7.50-7.95	6.5										34.2	33.8	18.5	SC			
	SPT-6	9.00-9.45	1.6										41.3	34.0	19.5	SC			
	SPT-7	10.50-10.95	3.3										35.2	35.9	17.7	SC			
	SPT-8	12.00-12.45	5.1										29.9	36.2	19.2	SC			
	SPT-9	13.50-13.95	1.7										34.0	37.2	18.8	SC			
	SPT-10	16.50-16.95	9.4										28.6	35.2	19.5	SC			
	SPT-11	18.00-18.45	10.3										37.2	34.4	18.8	SC			
SPT-12	19.50-19.95	5.7	38.3	33.9	17.7	SC													
SK-4	SPT-1	1.50-1.95	18.50																
	UD-1	2.50-3.00											0.0	94.2	58.4	25.2	CH		
	SPT-2	3.00-3.45											0.0	91.2	60.3	24.6	CH		
	SPT-3	4.50-4.95											0.0	97.2	57.2	25.2	CH		
	SPT-4	6.00-6.45											0.0	94.4	60.1	25.8	CH		
	UD-2	7.00-7.50											0.0	93.3	59.9	24.4	CH		
	SPT-5	7.50-7.95											0.0	90.8	58.8	25.0	CH		
	SPT-6	9.00-9.45											0.0	92.6	57.7	24.9	CH		
	SPT-7	10.50-10.95											0.0	94.0	61.2	26.2	CH		
	SPT-8	12.00-12.45											0.0	94.7	60.3	25.8	CH		
	SPT-9	13.50-13.95											0.0	93.9	58.8	25.0	CH		
	SPT-10	15.00-15.45											3.8	70.6	44.4	22.2	CL		
	SPT-11	16.50-16.95											5.4	68.8	45.1	21.6	CL		
SPT-12	18.00-18.45	7.2	74.2	43.9	23.3	CL													
SPT-13	19.50-19.95	4.6	71.3	45.3	20.2	CL													
SK-5	SPT-1	1.50-1.95	18.30																
	UD-1	2.50-3.00											5.1	69.3	47.0	23.0	CL		
	SPT-2	3.00-3.45											32.3	36.3	3.5	68.6	43.3	22.2	CL
	SPT-3	4.50-4.95											47.9	37.2	1.2	85.1	53.2	25.1	CH
	SPT-4	6.00-6.45											40.8	36.9	1.1	77.7	45.1	24.4	CL
	UD-2	7.00-7.50											38.4	44.9	1.1	83.3	41.2	23.3	CL
	SPT-5	7.50-7.95											36.3	32.4	3.8	68.7	44.4	22.8	CL
	SPT-6	9.00-9.45											52.3	37.9	0.0	90.2	55.9	25.3	CH
	SPT-7	10.50-10.95											37.7	41.8	2.2	79.5	45.1	24.2	CL
	SPT-8	12.00-12.45											35.9	29.6	5.7	65.5	47.2	23.3	CL
	SPT-9	13.50-13.95											32.0	29.2	1.6	61.2	44.9	22.7	CL
	SPT-10	15.00-15.45											30.8	37.1	2.2	67.9	43.0	21.2	CL
	SPT-11	16.50-16.95											33.4	38.8	3.0	72.2	42.8	20.8	CL
SPT-12	18.00-18.45	32.0	36.5	5.8	68.5	44.1	22.2	CL											
SPT-13	19.50-19.95	25.0	32.2	9.2	57.2	41.8	21.0	CL											
AÇ-1							31.4	19.7	SC										
AÇ-2							35.5	19.8	SC										
AÇ-3							33.0	20.6	SC										
Yanal Y.							31.8	21.7	SC										

olmadığını belirtmişlerdir. Nitekim, Menzer (2009) "1994 Northridge, 1999 Kocaeli ve 1999 Chi-Chi depremleri sonrasında oluşan zemin yenilmeleri düşük plastisiteli silt-kil karışımlarının üzerlerinde bulunan yapıya ciddi hasar verebilecek miktarda boşluk suyu basıncı üretebildiğini ve bu karışımların birim deformasyon altında yumuşama davranışı sergilediğini" vurgulamıştır. Söz konusu bu depremlerde elde edilen bu sonuçlar sonraki yıllarda ince tane boyu içeriği yüzdesinin daha yüksek olduğu zeminlerin sıvılaşabilirliğini kapsayan araştırmaların artmasını sağlamıştır (Menzer, 2009). Önceki depremlerde ve ilgili bilimsel çalışmalarda elde edilen bu sonuçlara benzer şekilde, bu çalışma kapsamında da kum kaynamasının gözlemlendiği noktalarda açılan araştırma çukurlarından alınan zeminlerin LL değerlerinin % 35 gibi değerlere ulaşmalarına rağmen, deprem sırasında önemli düzeyde sıvılaşma davranışı ve/veya bu sismik dalgalar karşısında önemli oranda dayanım kaybına uğrayarak deformasyon gösterdiği saptanmıştır. Benzer yüksek kıvam limiti değerleri sıvılaşmanın gerçekleştiği SK-1 ve SK-2 ile deprem kaynaklı yoğun deformasyon ve binalarda oturmanın gözlemlendiği SK-5 no.lu sondaj kuyularının bulunduğu yerlerden derlenen örneklerde de tespit edilmiştir.

Standart Penetrasyon Deneyi Temel Alan Sıvılaşma Analizleri

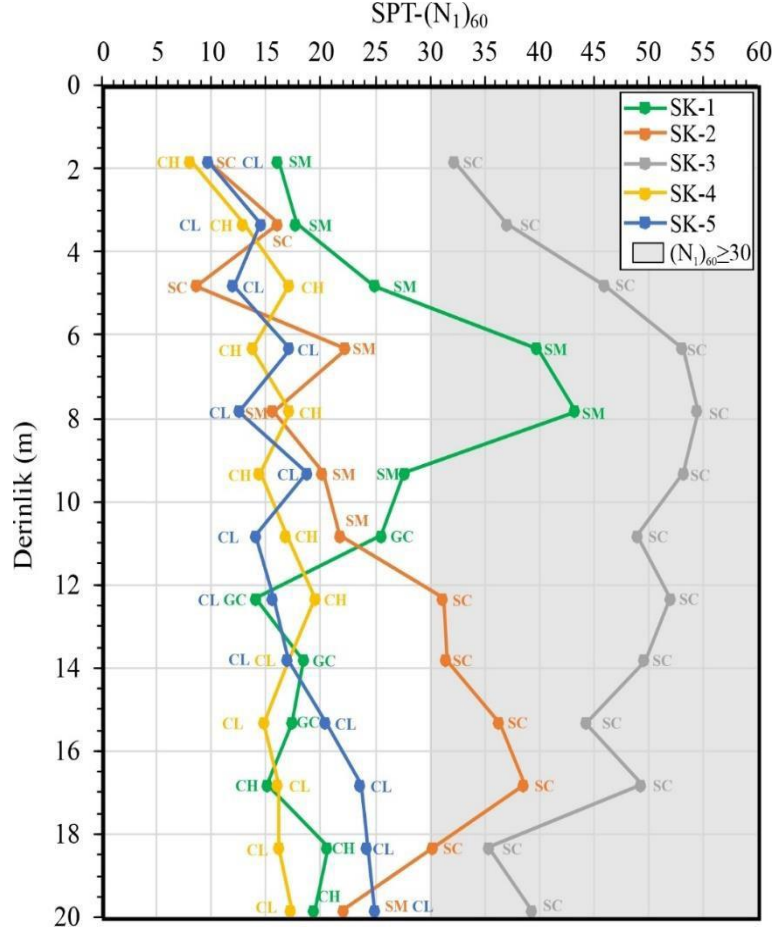
Yapılan SPT deneylerinde elde edilen düzeltilmiş $SPT-(N_1)_{60}$ değerlerinin derinliğe bağlı değişim grafikleri ve ilgili derinliklerde alınan zemin örneklerin USCS göre zemin sınıfları Şekil 10'da verilmiştir. Çalışma alanı zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde SPT verileri ile tane boyu dağılımı verilerini esas alan ve Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen, zamanla Seed

(1979), Seed ve Idriss (1982), Seed vd. (1985), Seed ve DeAlba (1986) ve son olarak Youd ve Idriss (2001) tarafından modifiye edilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde "tekrarlı gerilim

oranı (CSR)" kullanılmakta olup, depremde meydana gelen gerilimler ile zeminde gelişen ortalama tekrarlı makaslama geriliminin (τ_{av}), tekrarlı gerilimlerin meydana gelmesinde önce zemine etki eden ilk düşey gerilmeye (σ'_0) oranı olarak tanımlanmaktadır.

Sıvılaşma değerlendirmesi için önerilen bütün ölçütler kullanıldıktan sonra, sıvılaşma ihtimaline sahip herhangi bir zeminde sıvılaşmanın meydana gelip gelmeyeceğinin belirlenmesinde, tekrarlı dayanım oranının ($CRR_{7.5}$) depremin neden olduğu tekrarlı gerilim oranına (CSR) bölünmesi ile elde edilen ve sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (F_L) olarak tanımlanan parametre kullanılmaktadır. Bu sıvılaşma analiz yöntemi ($(N_1)_{60} < 30$ koşulu için geçerli olup, ($(N_1)_{60} \geq 30$ olduğu durumlarda sıvılaşma olgusunu sağlayacak boşluk suyu basıncını meydana gelebileceği belirtilmiştir (Youd ve Idriss, 2001). Sıvılaşma potansiyeline sahip güncel çökellerin yanal ve düşey yöndeki ani litolojik değişimleri F_L parametresinin oldukça noktasal değerlendirme yapmasına neden olmakta ve bu parametre deprem esnasından zemin malzemesinin büyük ölçekte nasıl bir davranış sergileyeceği konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, Iwasaki vd. (1982) zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesinde F_L temel alan Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (I_L) kavramını önermişlerdir.

Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (F_L) ve Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (I_L) değerleri proje sahasındaki sondaj lokasyonları için belirlenmiştir. Sıvılaşma potansiyeli indeksi parametresinin hesaplamasında Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen ölçütlerin yanı sıra Sonmez ve Gokceoglu (2005) tarafından yapılan öneriler de dikkate alınmıştır.



Şekil 10. SPT- $(N_1)_{60}$ değerlerinin derinliğe bağlı değişimi ve ilgili derinliklerde alınan örneklerin USCS'e göre zemin sınıflamaları.

Figure 10. Depth-dependent variation of SPT- $(N_1)_{60}$ values and USCS based soil classifications of the samples taken at the related depths.

Gerçekleştirilen bu analizlerde SK-3, SK-4 ve SK-5 no.lu sondajların bulunduğu yerlerde sıvılaşma riski derecesi “çok düşük” çıkmıştır. Ancak, SK-1 ve SK-2 no.lu sondaj kuyularında analizlere tabi tutulan seviyelerin zeminlerin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (F_L) değerleri 0.13 ile 0.69 arasında değişmektedir. Bu iki lokasyonun sıvılaşma potansiyeli indeksi değerlerinin (I_L) 20-42 arasında değişmekte olup, sıvılaşma riski derecesinin “çok yüksek” olduğu saptanmıştır.

SONUÇLAR

Bu araştırmanın amaçları kapsamında yapılan sondaj çalışmaları, araştırma çukuru, örselenmiş ve örselenmemiş zemin örneklerinin derlenmesi, uygun arazi ve laboratuvar deneylerinin yanı sıra arazi çalışmaları sonucunda ulaşılan genel verilerin bir bütün analizleri sonucu elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yapılan değerlendirme ve analizler aşağıda özet bir şekilde sunulmuştur:

- Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) çalışma alanının merkezinden geçmesi açısından önemli olup, Gölbaşı ilçesinin depremselliğini ve zemin dinamiğini genel olarak K55D uzanımlı 90 km uzunluğunda ve önceki çalışmalarda önemli sismik boşluklardan biri olarak değerlendirilen Gölbaşı-Türkoğlu segmenti etkilemektedir.
- Gölbaşı-Türkoğlu segmentinin de kırıldığı Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw 7.8) ve Kahramanmaraş-Elbistan (Mw 7.7) depremleri aynı gün içerisinde 9 saat ara ile gerçekleşmiş olup, bütün deprem bölgesinde olduğu gibi, gevşek güncel alüvyonal çökeller üzerinde kurulu olan Adıyaman Gölbaşı yerleşim alanı içerisindeki yapılaşma açısından da oldukça yıkıcı sonuçlar doğurmuştur. Bölgedeki en yoğun hasar göl kıyı şeridinin güneyi ile ilçe merkezinde geçen Balkar- Erkenek karayolu arasında gerçekleşmiştir.
- İlçedeki hasarların inşaat kalitesinden kaynaklanan binaların doğrudan yıkılması ile zemin sıvılaşması sonrası taşıma gücü kaybı ve sonrasında oluşan yanal yayılmadan kaynakladığı saptanmıştır. Çalışma alanındaki zemin sıvılaşma olgusu genel olarak kum kaynaması, deprem sonrası oluşan çatlaklardan zeminin yukarı doğru çıkarak sığ derinliklerde kalmasından kaynaklanan zemin deformasyonları şeklinde gözlenmiştir. Dinamik yükler altında zeminlerde gerçekleşen bu davranış değişikliği yapıların yan yatması, eğilmesi, batması ile yanal yayılmadan kaynaklanan kütle hareketleri ve göl kıyı çizgisi değişimi ile sonuçlanmıştır. Ancak, yapılan arazi gözlemlerinde, deprem sonrası Gölbaşı-Türkoğlu segmentinde oluşan yüzey kırıklarındaki atım değerlerinin yaklaşık 4 metre civarında olmasına karşın, kaya birimlerin üzerinde doğrudan inşa edilen ve çoğunlukla az katlı binalarda herhangi bir hasar tespit edilmemiştir.
- Çalışma sahasında yanal yayılmanın gerçekleştiği yerlerde deprem öncesi ve deprem sonrası uydu görüntülerini kullanarak, yatay yanal yer değiştirmenin
 - 2.8 m. ile 12.6 m. arasında değiştiği saptanmıştır. Yanal yayılma sonucu göl kıyı çizgisinde değişim, zeminde bloklar halinde yenilme ve göle yakın geçen tren raylarında önemi oranda hasar ve deformasyonlar meydana gelmiştir.
- Kum kaynamaları ve sıvılaşma kaynaklı deformasyonların gözlemlendiği farklı lokasyonlarda üç araştırma çukuru ile üç sondaj kuyusu (SK-1, SK-2 ve SK-5) ve yanal yayılmanın olduğu yerde ise bir sondaj kuyusu (SK-4) kuyusu açılmıştır. Ayrıca, sıvılaşma kaynaklı herhangi bir deformasyonun gözlenmediği yerde ise bölgede sıvılaşan ve sıvılaşmayan zeminlerin karşılaştırmak amacıyla bir adet sondaj (SK-3) gerçekleştirilmiştir. Bu sondaj kuyularında ve araştırma çukurlarında yeraltı su seviyesinin sıvılaşma için uygun koşulları sağlayacak şekilde 0.9 ile 2.3 m. arasında değiştiği saptanmıştır.
- Kum kaynamalarının gözlemlendiği Balkan otel yanında açılan SK-1 no.lu sondaj kuyusunun ilk 10 metresinde siltli kum (SM) daha sonra killi çakıl (GC) ve yüksek plastisiteli kil (CH) ile karşılaşmıştır. Kum kaynamaları, zemin deformasyonları, binalarda yan yatma ve batma gibi mühendislik sorunların yaşandığı Yeşilay sitesi içerisinde açılan SK-2 no.lu sondaj kuyusunda killi ve siltli kum (SC, SM) gibi zemin profili ile karşılaşmıştır. Ancak, deprem sonrası binalarda oturma ve yan yatma ile yol ve kaldırımlardaki yoğun deformasyonların kaydedildiği SK-5 no.lu sondaj kuyusunun tamamında ise düşük ve yüksek plastisiteli kil (CL ve CH) olarak sınıflandırılan zeminler tespit edilmiştir.

Sıvılaşma riskinin beklenmediği ancak düşük SPT-(N₁)₆₀ değerlerine sahip SK-5 no.lu lokasyonda gözlenen bu durumun, deprem sırasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının etkisiyle zeminin taşıma kapasitesinde meydana gelen azalmadan kaynaklandığı düşünülmüştür. Kum kaynamasının olduğu yerlerde açılan araştırma çukurundan alınan temsili örneklerin de killi kum (SC) olduğu belirlenmiştir.

- Yanal yayılmanın yaşandığı SK-4 no.lu sondaj kuyusunun ilk 13 metresinde yüksek plastisiteli kil (CH) ve daha sonra düşük plastisiteli kil (CL) tespit edilmiş olup, sıvılaşmaya yatkın herhangi bir zemin seviyesi saptanmamıştır. Söz konusu bu durum, oldukça düşük SPT-N darbe sayılarının da elde edildiği bu lokasyonda daha derinlerde bir sıvılaşmanın veya dinamik yükler altındaki zeminin makaslama dayanım parametrelerinde meydana gelen azalmadan kaynaklanan bir şev duraysızlığının olabileceğini göstermektedir.

- Kum kaynamasının gözleendiği noktalarda açılan araştırma çukurlarından alınan zeminlerin LL değerlerinin % 35 gibi değerlere ulaşmalarına rağmen, Kahramanmaraş depremleri sırasında önemli düzeyde sıvılaşma davranışı ve dayanım kaybına uğrayarak deformasyon gösterdiği belirlenmiştir. Aynı zemin sorunları yüksek kıvam limiti değerlerine sahip SK-1, SK-2, ve SK-5 no.lu sondaj kuyularının bulunduğu yerlerde de saptanmıştır.

- Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının (F_L) ve sıvılaşma potansiyeli indeksi (I_L) değerleri proje sahasındaki sondaj lokasyonları için gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu analizlerde yanal yayılma ve sıvılaşmadan kaynaklı zemin deformasyonların gözleendiği SK-4 ve SK-5 no.lu sondaj lokasyonlarında sıvılaşma riski derecesi "çok düşük" elde edilmiştir.

Sıvılaşma ve sıvılaşma kaynaklı kütle hareketlerin gözleendiği bu lokasyonlarda elde edilen bu sonuçların, sıvılaşma analizlerinde kullanılan yöntemlerdeki belirsizlik ve sınırlamaların anlaşılması açısından yararlı olacağı değerlendirilmiştir.

KATKI BELIRTME

Bu çalışma Harun Ünal tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilen yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akıl, B., 2006. Gölbaşı (Adıyaman) Beldesi İmar Planına Esas Jeoteknik Etüt Gerektiren Alanların (JEGA) Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Makine ve Sondaj Dairesi Başkanlığı, Jeoteknik Şube Müdürlüğü, Rapor No: İLB-I/02-007-002. 252 s.
- Akıl, B., Akpınar, K., Üçkardeşler, C., Araz, H., Sağlam, M., Ecemiş, B. ve Uran, Ş.B., 2008. Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan Gölbaşı (Adıyaman) yerleşim alanındaki zeminlerin jeoteknik özellikleri ve değerlendirilmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 51 (1), 43-57.
- Andrews, D.C.A., Martin, G.R., 2000. Criteria for liquefaction of silty soils, Proc. of the 12th World Conf. on Earthquake Engineering, Auckland, NZ. Paper 0312, 2000.
- Athanasopoulos, G.A., Kechagias, G.C., Zekkos, D., Batilas, A., Karatzia, X., Lyrantzaki, F., Platis, A., 2020. Lateral spreading of ports in the 2014 Cephalonia, Greece, earthquakes. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 128, 105874. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.105874

- Bardet, J.P., Kapuskar, M., 1993. Liquefaction sand boils in San Francisco during 1989 Loma Prieta earthquake. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 119, No. 3, 543-562. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:3(543)
- Bray, J.D., Sancio, R.B., Reimer, M.F., Durgunoglu, T., 2004. Liquefaction Susceptibility of Fine-grained Soils. *Proc. 11th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Inter. Conf. on Earthquake Geotech. Engrg.*, Berkeley, CA, Jan. 7-9, Vol. 1, pp. 655-662.
- Christensen, S.A., 1993. Ormond earthquake liquefaction reconnaissance report. *Bulletin of The New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 26 (3), pp. 312-328. DOI: <https://doi.org/10.5459/bnzsee.26.3.312-328>
- Demirtaş, R., Yılmaz, R., 1996. Seismotectonics of Turkey, "Preliminary approach to earthquake forecasting based on long-term variations in seismic activity and present seismicity." *Publ. Of Ministry of Public Works and Settlement*, 95, June 1996, Ankara
- Elgamal, A.W., Adalier, K. ve Amer M., 1993. Liquefaction During the October 12, 1992 Egyptian Dahshure Earthquake. *Proceedings of Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, St. Louis, Missouri, June 1-4, Paper No. 14.18.
- Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R., Emoto, K., 1986. Study on liquefaction induced permanent ground displacements, *Association for the Development of Earthquake Prediction in Japan*, Tokyo.
- Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fay (DAF) Jeoloji Atlası 1/100.000 Ölçekli. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yayınları.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. ve Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, *Proceedings of 2nd International Conference on Microzonation*, pp. 1319-1330, Seattle (USA).
- Kramer, S.L., 2013. Lateral Spreading. In: Bobrowsky, P.T. (eds) *Encyclopedia of Natural Hazards. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_215.
- Menzer, P., 2009. Assessment of Liquefaction Susceptibility of Fine Grained Soils. Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 167 p.
- Numata, A., Mori S., 2004. Limits in the gradation curves of liquefiable soils. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, Paper No. 1190.
- PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), 2013. Some Observations of Geotechnical Aspects of the February 28, 2001, Nisqually Earthquake in Olympia, South Seattle, and Tacoma, Washington. *Soil Liquefaction and Ground Failure*. Accessed December 9, 2013, <http://peer.berkeley.edu/publications/nisqually/geotech/liquefaction/distribution/>.
- Reitman, N.G., Briggs, R.W., Barnhart, W.D., Thompson Jobe, J.A., DuRoss, C.B., Hatem, A.E., Gold, R.D., Akçiz, S., Koehler, R.D., Mejstrik, J.D., Collett, C., 2023, Fault rupture mapping of the 6 February 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, earthquake sequence from satellite data: U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/P985I7U2>.

- Şanverdi, A., 1992. Gölbaşı (Adıyaman) İmar Planına Esas Jeolojik Etüt Raporu, İller Bankası 10. Bölge Müdürlüğü.
- Şanverdi, A., 2005. Gölbaşı (Adıyaman) İmar Planına Esas Jeolojik Etüt Raporu, İller Bankası 10. Bölge Müdürlüğü.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. MTA Rap. 8174, 394.
- Seed, H.B., 1968. The Fourth Terzaghi Lecture: Landslides During Earthquakes Due to Liquefaction. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol, 94, No, SM5, 1053-1122 pp.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., Arango, I., 1983. Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 109, No. GT3, pp 458-482.
- Seed, H. B., 1979. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 105, 201-255.
- Seed, H.B., De Alba, 1986. Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands, American Society for Precision Engineering Conference on Use of In-Situ Testing in Geotechnical Engineering, Spec. No. 6, New York (USA).
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquake, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 134 pages.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. ve Chung, R.M., 1985. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, pp. 1425–1445.
- Sonmez, H., Gokceoglu, C., 2005. A liquefaction severity index suggested for engineering practice, Environmental Geology, Vol.48, pp. 81-91.
- Tsuchida, H., 1970. Evaluation of liquefaction potential of sandy deposits and measures against liquefaction induced damage. Proceedings of the annual seminar of the Port and Harbour Research Institute, 1970, (3-1)-(3-33)(in Japanese).
- Wang, W. S., 1979. Some Findings in Soil Liquefaction. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China.
- Yönlü, Ö., 2012. Doğu Anadolu fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç Kuvaterner aktivitesi. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 439s.
- Youd, T. L., Idriss, I.M., 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, pp. 297–313.